

文章编号: 1001-2486 (2000) 01-0028-03

加脊喇叭天线的时域分析*

刘培国, 刘克成, 何建国, 张光甫

(国防科技大学电子科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

摘要: 采用了结合完全匹配层 (PML) 吸收边界的时域有限差分方法 (FDTD) 分析了加脊喇叭天线的时域特性。利用环路积分方法 (CP) 处理曲线金属边界和脊间窄缝, 计算了天线的阻抗以及口径场的幅相分布, 结果表明, FDTD 法分析天线时域特性是非常有效的。

关键词: 天线; 时域有限差分方法; 完全匹配层

中图分类号: TN820 文献标识码: A

Analysis of Ridged Horn in Time Domain

LIU Pei-guo, LIU Ke-cheng, HE Jian-guo, ZHANG Guang-fu

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The impedance and radiation characteristics of ridged horn are calculated by using the FDTD method with PML absorbing boundary condition and CP method on treatment of curve PEC boundary and slot between ridges. The amplitude and phase for antenna field are given, and results show that this method is perfect.

Key words: antenna; FDTD; PML

FDTD 是将麦克斯韦方程的两个旋度方程用对差分近似偏导, 并在时序上依次计算空间电磁场的一种数值计算方法, 通过时频转换, 也可以在频域中计算分析。FDTD 具有非常强的边界模拟能力, 特别是完全匹配层技术 (PML) 的完善, 使 FDTD 的应用范围大大提高。

1 分析方法

1.1 加脊喇叭的结构

加脊喇叭天线结构如图 1 所示, 这里分析的加脊喇叭为两次张角变化的加脊喇叭, 第一次张开的角度比较大, 而且馈电端的脊间缝隙很小, 这种喇叭具有频带宽、恒波束的特点。

1.2 计算空间的设置

FDTD 分析天线时的计算空间如图 2 所示, 整个计算空间为包围喇叭的立体空间, 空间网格为标准的 Yee 网格, 每个网格的尺寸为 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$, 时间步长为 Δt , 为了使计算收敛, 必须保证:

$$\max(\Delta x, \Delta y, \Delta z) \leq \frac{\lambda}{10} \quad (1)$$

$$\Delta t \leq \frac{1}{c \left[\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta z^2} \right]} \quad (2)$$

其中, c 为光速, λ 为波长。吸收层采用 Berenger 的 PML 技术, 为了保证一定的精度, PML 层的厚度为 6~

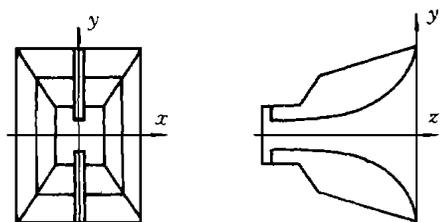


图 1 加脊喇叭天线结构

Fig. 1 Horn framework

* 收稿日期: 1999-06-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (69682012)

作者简介: 刘培国 (1969), 男, 讲师, 在职博士生。

8层, 喇叭距离 PML 层不小于十个网格。

1.3 不规则网格的处理

由于脊间距离比较小和喇叭壁有斜边, 计算空间分格时会产生不规则网格, 根据环路积分方法 (CP), 分别作如下处理。对于图 3(a) 脊间不规则网格:

$$H_z^{n+\frac{1}{2}}(i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}, k) = H_z^{n-\frac{1}{2}}(i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}, k) + \frac{\Delta t}{\mu_0 \Delta x \Delta y} \{ [E_y^n(i+1, j+\frac{1}{2}, k) d - E_y^n(i, j+\frac{1}{2}, k) \Delta y] - [E_x^n(i+\frac{1}{2}, j+1, k) - E_x^n(i+\frac{1}{2}, j, k)] \Delta x \} \quad (3)$$

$$H_z^{n+\frac{1}{2}}(i+\frac{3}{2}, j+\frac{1}{2}, k) = H_z^{n-\frac{1}{2}}(i+\frac{3}{2}, j+\frac{1}{2}, k) + \frac{\Delta t}{\mu_0 \Delta x} [E_y^n(i+2, j+\frac{1}{2}, k) - E_y^n(i+1, j+\frac{1}{2}, k)] \quad (4)$$

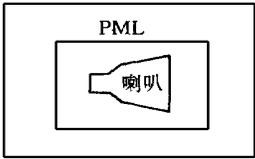
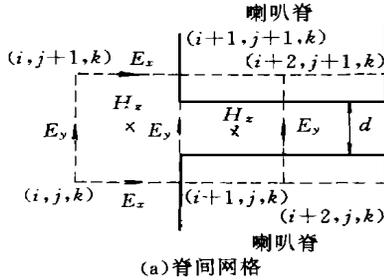
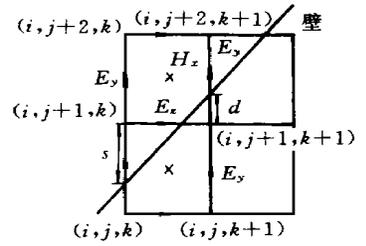


图 2 FDTD 分析天线时的计算空间

Fig. 2 Calculating space for FDTD



(a) 脊间网格



(b) 喇叭斜边处网格

图 3 不规则网格

Fig 3 Irregular grids

对于图 3(b) 喇叭壁处不规则网格:

$$H_x^{n+\frac{1}{2}}(i, j+\frac{1}{2}, k+\frac{1}{2}) = H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, j+\frac{1}{2}, k+\frac{1}{2}) + \frac{2\Delta t}{\mu_0 \Delta z (\Delta y - s) (\Delta y + d)} \cdot \{ [E_y^n(i, j+\frac{1}{2}, k+1) \cdot (d + \Delta y) - E_y^n(i, j+\frac{1}{2}, k) \cdot (\Delta y - s)] + E_z^n(i, j, k+\frac{1}{2}) \Delta z \} \quad (5)$$

$$H_x^{n+\frac{1}{2}}(i, j+\frac{3}{2}, k+\frac{1}{2}) = H_x^{n-\frac{1}{2}}(i, j+\frac{3}{2}, k+\frac{1}{2}) + \frac{2\Delta t}{\mu_0 \Delta z (\Delta y - d) (\Delta y + s)} \cdot \{ [E_y^n(i, j+\frac{3}{2}, k+1) \cdot (\Delta y - d) - E_y^n(i, j+\frac{3}{2}, k) \cdot (\Delta y + s)] - E_z^n(i, j+2, k+\frac{1}{2}) \Delta z \} \quad (6)$$

1.4 源的设置

喇叭的激励为在馈电点处的两脊间加时变的均匀电场, 设为

$$E_y^n(i, j, k) = E_y^n(i, j, k) + \sin(2\pi f n \Delta t) \quad (7)$$

上式右边的 $E_y^n(i, j, k)$ 为时域有限差分方法正常迭代出来的结果。

2 计算结果

2.1 输入阻抗

喇叭馈电点处的电流与电压可以通过馈电点处截面上的电磁场求出, 见图 4。

$$J = n \times H \quad I = \int_N J ds \quad (8)$$

$$Z_{in} = \frac{V}{I} \quad V = \int_{AB} E_y dt \quad (9)$$

上式中 n 为喇叭内壁上的单位法向矢量。

天线的驻波如图 5。

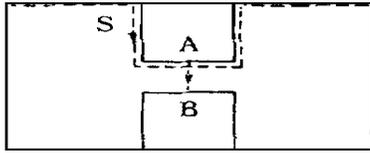


图4 馈电点处的喇叭截面
Fig. 4 Hom section of feeding point

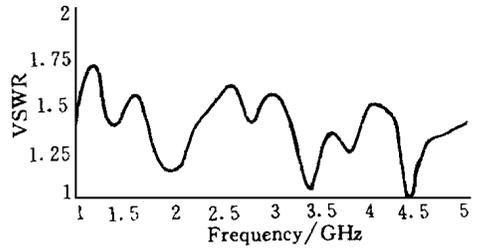


图5 天线的驻波
Fig. 5 VSWR diagram

2.2 口径场

按照式 (7) 计算喇叭的口径场如下, 其中喇叭口径尺寸为长 16.5 cm, 宽 17 cm, 馈电点到口径的距离为 16 cm。

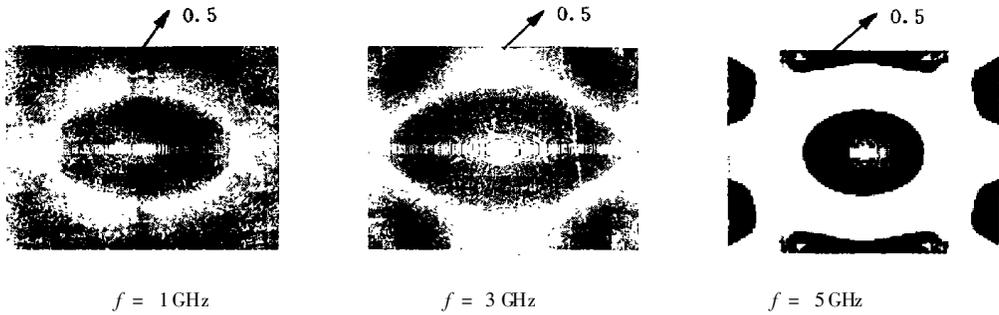


图6 天线口径场的等幅度图

Fig. 6 Amplitude distribution of aperture field

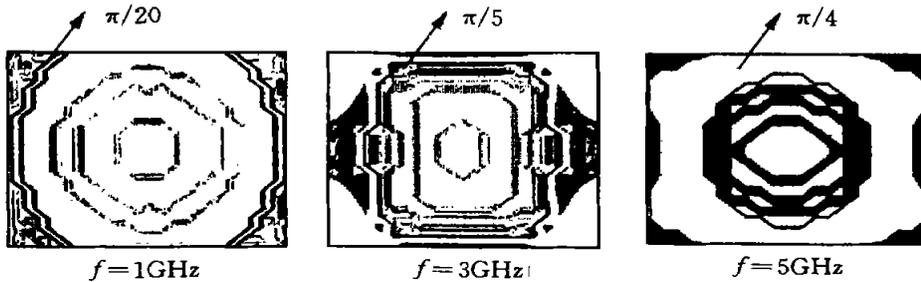


图7 天线口径场的等相位图

Fig. 7 Phase distribution of aperture field

图6、图7 均将数据进行了归一化处理 (图6 中心代表口径场幅度的归一化值“1”, 图7 中心口径场相位的归一化值“0”), 可见, 加脊喇叭的口径场具有较好的幅相分布。

参考文献:

[1] Berenger J P. A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves [J] . J. Computat. Phys., Oct. 1994.
 [2] Gedney S D. An Anisotropic Perfectly Matched Layer Absorbing Medium for the Truncation of FDTD Lattices [J]. IEEE Trans. AP 1996, 44 (12) .
 [3] Tirkas P A. Contour Path FDFD Method for Analysis of Pyramidal Horns With Composite Inner E-Plane Walls [J] . IEEE Trans. AP 1994, 42 (11) .
 [4] Bhattacharyya A K. Accurate Radiation and Impedance Characteristics of Horn Antenna-A Moment Method Model [J]. IEEE Trans. AP, 1996, 44 (4) .