

文章编号 : 1001-2486 (2000) 01-0028-03

# 加脊喇叭天线的时域分析<sup>\*</sup>

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  $\Delta t$ ，为了使计算收敛，必须保证：

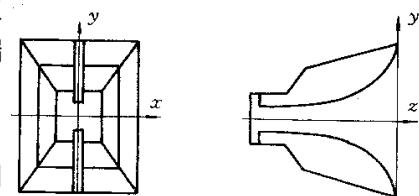


图 1 加脊喇叭天线结构

Fig. 1 Horn framework

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

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

其中  $c$  为光速， $\lambda$  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

\* 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:

$$H_z^{n+\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2}, k) = H_z^{n-\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2}, k) + \frac{\Delta t}{u_0 \Delta x \Delta y} [E_y^n(i + 1, j + \frac{1}{2}, k) - E_y^n(i, j + \frac{1}{2}, k)] + \frac{1}{2} \Delta y] - [E_x^n(i + \frac{1}{2}, j + 1, k) - E_x^n(i + \frac{1}{2}, j, k)] \Delta x \quad (3)$$

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

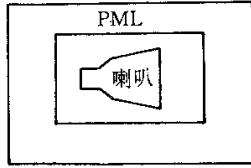


图 2 FDTD 分析天线时的计算空间

Fig. 2 Calculating space for FDTD

对于图 3(b) 喇叭壁处不规则网格:

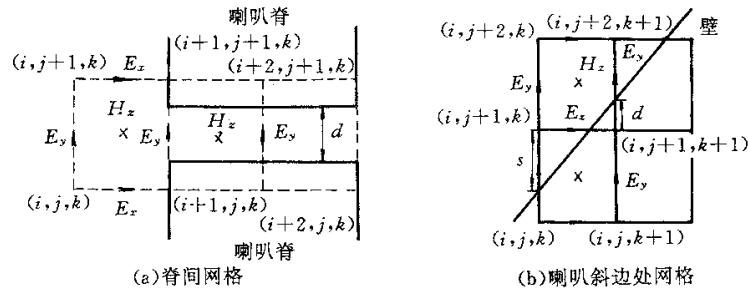


图 3 不规则网格

Fig. 3 Irregular grids

则网格:

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

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

### 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。

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

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

上式中  $\mathbf{n}$  为喇叭内壁上的单位法向矢量。

天线的驻波如图 5。

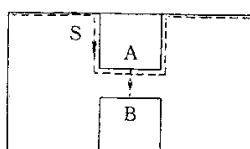


图4 馈电点处的喇叭截面

Fig.4 Horn section of feeding point

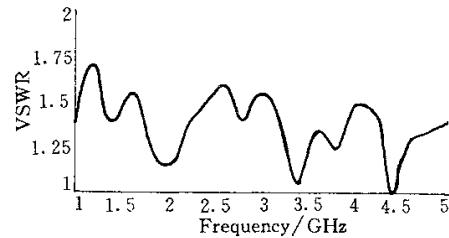


图5 天线的驻波

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。

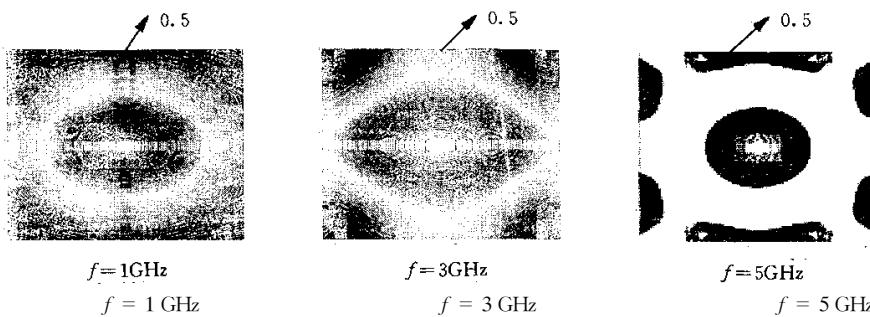


图6 天线口径场的等幅度图

Fig.6 Amplitude distribution of aperture field

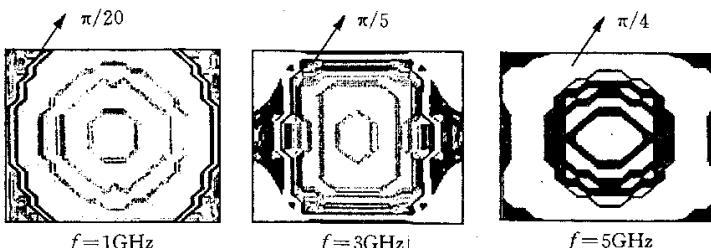


图7 天线口径场的等相位图

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 A4(12).
- [3] Tirkas P A. Contour Path FDTD Method for Analysis of Pyramidal Horns With Composite Inner E-Plane Walls[J]. IEEE Trans. AP 1994 A2(11).
- [4] Bhattacharyya A K. Accurate Radiation and Impedance Characteristics of Horn Antenna-A Moment Method Model[J]. IEEE Trans. AP , 1996 A4(4).

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



### 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

### 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

### 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>