

一种新型超宽带平面天线的 FDTD 分析

刘培国, 刘克成, 何建国, 尹家贤, 张光甫

(国防科技大学电子技术系, 长沙 410073)

摘要: 本文分析了一种具有超宽带特性的平面喇叭天线的阻抗和辐射特性。这种平面喇叭采用了新型的平衡馈电方式, 结构简单, 性能良好。采用时域有限差分方法(FDTD)分析天线时, 吸收边界采用了完全匹配层技术(PML), 并用环路径分方法(CP)处理了喇叭脊间窄缝, 计算结果与实测数据比较, 两者十分吻合。

关键词: 超宽带; 天线; 时域有限差分方法

中图分类号: TN820 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112(2000)06-0086-03

FDTD Analysis of an Ultra-Wide Band Planar Antenna

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

(Department of Electronic Technology, NUDT, Changsha 410073, China)

Abstract: The impedance and radiation characteristics of an ultra-wide band planar horn antenna are analyzed theoretically and calculated using FDTD method in this paper. This horn antenna is characterized with U-balun, simple construction and perfect performance. Perfectly Matched Layer(PML) technique is applied as absorbing boundary conditions, and Contour-Path Method(CP) is used to conform to the curved slot between the two ridges in FDTD simulation. Good agreements between calculated and measured results are obtained.

Key words: ultra-wide band antenna, FDTD method

1 引言

用于窄脉冲辐射、接收的超宽带天线, 是瞬态场、目标识别、隐身与反隐身的一项关键技术, 目前这类天线主要有各种振子^[9]、TEM喇叭^[1, 2, 7, 8]以及它们的变形^[3~6]等, 它们各具特点, 也各有缺点。例如振子类天线具有一维小尺寸的结构特点, 但其辐射在其垂直轴平面内是无方向性的。喇叭类天线可以实现比较强的方向性, 但结构上是三维的; 同时, 这两类天线为达到宽带匹配, 一般要加载吸波材料, 这样必然降低了效率。这些缺点限制了这两类天线的使用范围。我们研制了一种新型超宽带平面天线, 结合了这两类天线的优点, 降低结构维数, 实现较强的方向性和较高的效率。

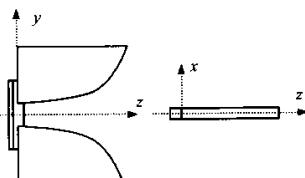


图1 天线结构

2 天线结构

这种天线由两个扇面构成, 同轴探针馈电, 具有一维(x

方向)小尺寸的平面结构特点。它可以等效为一个变形的对称振子, 相当于振子在 z 方向展成平面, 使得其上的电流沿 z 方向流动, 增强 z 方向的辐射, 同时在展开过程中渐变为喇叭状, 由渐变形状及 y 向尺寸控制 $y \approx$ 平面内的方向性。这种新型超宽带平面天线的关键在于平衡馈电装置U型巴伦的设计。U型巴伦一方面平衡馈电, 避免不对称辐射, 另一方面可以抑制天线的后向辐射、增强前向辐射, 提高辐射的前后比, 保证天线的单向辐射性。同时, U型巴伦还有利于阻抗匹配。结果表明即使天线尺寸在低频端不足半波长, 但其辐射仍然具有5dB左右的前后比, 而且在数个倍频的带宽内不作任何加载, 电压驻波比小于1.7。由于这种天线的平面结构, 它不仅可以用于固定的电子系统, 而且更适合于用在移动系统上, 如车载、机载系统等等。

3 天线的 FDTD 模型

基于Yee网络并结合完全匹配层(PML)技术的时域有限差分(FDTD)方法, 已经得到了广泛的应用。这里也采用FDTD分析这种天线。为建立准确、有效的FDTD模型, 必须注意以下几点。

3.1 不规则网格处理

Yee网格与天线边界不能重合的地方出现不规则网格,

这里采用环路积分(CP)方法进行处理. 例如, 对于图 2 脊间不规则网格, 作如下处理:

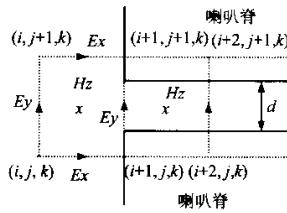


图 2 脊间不规则网格模型

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

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

3.2 同轴激励

准确模拟馈电结构, 对计算

天线的阻抗至关重要. 天线为同轴激励, 这里采用同轴网格与 Yee 网格的转换算法, 同轴线内 $i_s = JP$ 采用电压、电流模型, 天线阻抗由同轴内的电压电流计算^[10].

同轴线与 Yee 网格连接交界处:

$$I^{n+(1/2)}(JP + \frac{1}{2}) = \Delta z \left(H_x^{n+(1/2)}(i_a, \frac{1}{2}, k_a) - H_x^{n+(1/2)}(i_a, \frac{1}{2}, k_a - \frac{1}{2}) \right) - \Delta x \left(H_z^{n+(1/2)}(i_a + \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, k_a) - H_z^{n+(1/2)}(i_a - \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, k_a) \right) \quad (3)$$

$$H_z^{n+(1/2)}(i_a + \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, k_a) = H_z^{n-(1/2)}(i_a + \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, k_a) + \frac{\Delta t}{\mu_0 \Delta y} \cdot \left(E_z(i_a + \frac{1}{2}, 1, k_a) - \frac{2}{\Delta x \ln(\Delta x/a)} V^n(JP) \right) - \frac{2 \Delta t}{\mu_0 \Delta x \ln(\Delta x/a)} E_y(i_a + 1, \frac{1}{2}, k_a) \quad (4)$$

其中 a 是同轴线半径.

3.3 计算空间减缩

基于天线的结构对称性, 可以仅计算四分之一空间, 从而大大减小计算机的计算空间和存储空间, 提高计算速度.

4 计算与实验结果

4.1 输入阻抗

图 4 是天线未作任何加载的情况下输入端电压驻波比结果表明, 在很宽的频带内小于 1.7, 即使在低频端天线尺寸不足半波长, 天线也可以达到良好匹配.

4.2 方向图

由 FDTD 得到天线的时域辐射场, 再通过时域-频域变换

求出天线的频域方向图, 计算结果与实测天线方向图示于图 5. 由图 5 可见, 即使在频带低端, 天线辐射的前后比仍然大于 5dB. 且方向图的对称性较好, 所以 U型巴伦的作用是显著的.

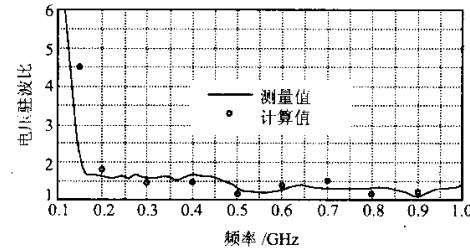


图 4 天线阻抗

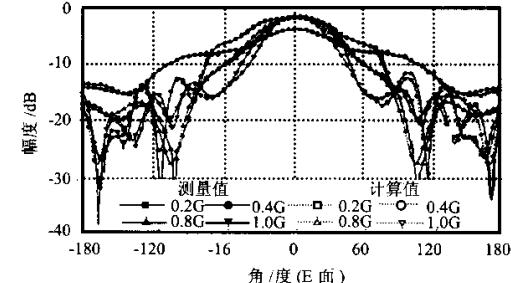
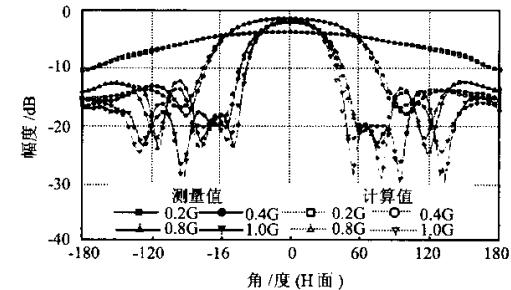


图 5 天线方向图

4.3 平面天线与其他天线的比较

表 1 列出了几种常用超宽带天线的性能参数, 除最后一栏数据外, 均引自参考文献 [11].

表 1 常用超宽带天线的性能、参数

参量	对称振子	双锥天线	TEM 喇叭	槽天线	本文天线
最高频率 (MHz)	1000	1000	1000	1000	1000
最低频率 (MHz)	140	200	80	340	150
增益	2~6	2~9	2~12	6~12	5~12
VSWR 带宽	10:1	5:1	12:1	10:1	10:1
方向图带宽	7:1	5:1	12:1	3:1	7:1
H 面方向图	余弦	设计	设计	设计	设计
E 面方向图	全向	全向	设计	设计	设计
馈电	同轴	同轴	同轴	耦合	同轴

本文设计的平面天线与槽天线形状上比较相似, 由表 1 可知, 在带宽、馈电方面明显优于槽天线, 与其他常用超宽带天线比较, 也具有突出的特点.

5 结论

这种平面喇叭结合了振子与 TEM 喇叭的特点, 具有较

好的阻抗、辐射特性,加之其平面结构,使之具有广泛的适用范围和较高的使用价值。

参考文献

- [1] Everett G. Farr Carl E. Baum. Impulse Radiating Antennas. Ultra-wide Band. Short-Pulse Electromagnetics Plenum Press, New York, 1995
- [2] R. Clark Robertson and Michael A. Mogran. Ultra-wide band impulse receiving antenna design and evaluation. Ultra-Wideband, Short-Pulse Electromagnetics
- [3] Erik H. Lenzing and R. A. Pastore Jr. Ultra-Wide band antenna for high-power operation ultra-wide band, Short-Pulse Electromagnetics
- [4] W. H. Darden and W. D. Burnside. An ultra-wide band antenna for pulsed application. Microwave Journal. 1993, 9 :136~143
- [5] Kurt L. Shlager Glenn S. Smith and James G. Maloney. Optimization of bow-tie antennas for pulse radiation. IEEE Trans. on AP Jul. 1994, 42(7):975~982
- [6] 刘克成、何建国、尹家贤、刘培国. 超宽带圆锥 TEM 喇叭天线的分析与设计. *微波学报*, 1995, 11(1):66~70
- [7] Liu Kecheng Hejianguo. Analysis and design of UWB TEM horn with waveform high fidelity. *Journal of NUDT*. 1994, 16(1)
- [8] 袁乃昌, 何建国等. 新型集成超宽带开槽天线的研制及其应用. *电子学报*, 1997, 25(9):43~46
- [9] James G. Maloney and Glenn S. Smith. Optimization of a conical antenna for pulse radiation: An efficient design using resistive loading. IEEE Trans. on AP Jul. 1993, 41(7):940~947

- [10] James G. Maloney Kurt L. Shlager and Glenn S. Smith. A simple FDTD model for transient excitation of antennas by transmission lines. IEEE Trans. on AP Feb. 1994, 42(2):289~299
- [11] Introduction to ultra-wideband radar systems. CRC Press Inc. 1995

刘培国 在职博士, 分别于 1990、1994 年毕业于国防科学技术大学获学士、硕士学位, 并留校任教至今, 获部级科研成果二等奖一项, 已在国内外杂志发表论文 10 余篇。研究兴趣为: 电磁场数值计算、目标特性、电磁兼容。

刘克成 1959 年毕业于哈军工, 现为国防科技大学教授, 电子学会高级会员, 多家杂志的审稿人, 出版专著三部, 获部级科研成果二等奖、三等奖十余项, 研究领域为: 天线、电磁散射、超宽带技术等。

何建国 博士, 国防科技大学教授, 电子学会高级会员, 出版专著三部, 在国内外杂志发表论文 20 余篇, 获部级科研成果二等奖、三等奖十余项, 研究领域为: 微波电路、超宽带技术、电磁兼容等。

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)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)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),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>