

文章编号 :1000-1670(2005)01-0076-04

宽带微带天线设计方法研究

车仁信 程 鑫 张坤武

(大连交通大学 电气信息学院,辽宁 大连 116028)*

摘 要 将时域有限差分法(FDTD)应用于宽带微带天线的分析设计,模拟微带天线的电磁辐射过程,从而得到天线的输入阻抗、带宽和方向图等特性。借助于 EMPIRE 软件,设计了一个宽带微带天线,其中心工作频率为 10.37 GHz,相对带宽达到了 21.7%。

关键词 时域有限差分法,宽带微带天线,EMPIRE

中图分类号:TN948.52 文献标识码:A

Design Method of Broadband Microstrip Antenna

CHE Ren-xin, CHENG Xin, ZHANG Kun-wu

(School of Electrical & Information Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China)

Abstract Finite-Difference Time-Domain (FDTD) is applied in analyzing and designing of a broadband microstrip antenna, the microstrip antenna radiation process is simulated, and the input impedance, bandwidth and radiation pattern of the antenna are obtained. By using EMPIRE software, a broadband microstrip antenna is designed with central frequency of 10.37 GHz and relative bandwidth of 21.7%.

Key words finite-difference time-domain method, broadband microstrip antenna, EMPIRE

微带天线是 20 世纪 70 年代出现的一种新型天线形式。由于微带天线具有体积小、重量轻、剖面低、制作简单、成本低等优点,近年来得到了充分的重视,但由于微带天线所固有的增益低、阻抗频带宽(一般频带只有 2~5%^[1])等缺陷,限制了其广泛应用。就如何展宽微带天线的频带,提高增益,人们尝试了多种分析设计方法。文献[2]中讲述了几种展宽微带天线带宽的方法:①增加介质基板的厚度。这种方法在空气动力性能及重量限制不太苛刻的场合是行之有效的,但将引起表面波损耗;②减小介质的相对介电常数 ϵ_r 。但 ϵ_r 变小将使所需要的基板尺寸加大,这是不希望的;③采用楔形或阶梯形基板。这种方法在 $VSWR < 2$ 的频带可达 25%~28%。但这种方法对装配误差很敏感,要求很精确的装配工艺。④采用非线性调整元件。这种方法是在天线的辐射端并联变容二极管,控制加到变容二极管的电压以控制天线的工作频率,从而加大天线的工作频率范围,这种方法并不增加天线的瞬时阻抗带宽。

本文研究了时域有限差分法对于微带天线分析设计的应用,在建立天线的初步模型的基础上,应用美国 Imst 公司的 empire 软件,提出了一种便于应用的宽带微带天线的设计方法。以最基本的矩形微带天线作为研究平台,仿真结果表明,其天线工作带宽可达到 21.7%。

1 FDTD 算法应用

时域有限差分法(Finite-Difference Time-Domain Method)的基本思想是将空间分割为许多小立方

* 收稿日期 2004-09-13

基金项目 辽宁省教育厅科学研究计划资助项目(2004D024)

作者简介 车仁信(1956-),女,副教授,硕士。

体^[34], 电磁场的六个分量在空间的取样点分别放在立方体的边沿和表面中心点上, 电场与磁场分量在任何方向始终相差半个网格步长, 使得在每个坐标平面上每个电场分量的四周由磁场分量环绕, 同时每个磁场分量的四周由电场分量环绕, 如图 1。

由于电磁场分量在空间网格中的这种配置, 当空间出现介质突变面时, 可以使突变面上场分量的连续性条件自然得到满足, 因而为一些复杂结构的电磁场计算问题带来很大方便。

用该理论分析微带天线, 考虑非时变、线性、各向同性媒质填充的区域, 由 Maxwell 旋度方程

$$\nabla \times \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E} + \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}, \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\rho \mathbf{H} - \mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (1)$$

将电场分量与磁场分量差半个步长取样。于是, 利用一阶导数的二阶中心差分近似, 忽略高次项可导出旋度方程磁场的 FDTD 公式:

$$H_x[i, j, k, n+1] = D_{aHx}[i, j, k] H_x[i, j, k, n] + D_{bHx}[i, j, k] \left\{ \frac{E_z[i, j, k+1, n] - E_z[i, j, k, n]}{\Delta z} - \frac{E_y[i, j+1, k, n] - E_y[i, j, k, n]}{\Delta y} \right\} \quad (3)$$

$$H_y[i, j, k, n+1] = D_{aHy}[i, j, k] H_y[i, j, k, n] + D_{bHy}[i, j, k] \left\{ \frac{E_x[i+1, j, k, n] - E_x[i, j, k, n]}{\Delta x} - \frac{E_z[i, j, k+1, n] - E_z[i, j, k, n]}{\Delta z} \right\} \quad (4)$$

$$H_z[i, j, k, n+1] = D_{aHz}[i, j, k] H_z[i, j, k, n] + D_{bHz}[i, j, k] \left\{ \frac{E_x[i, j+1, k, n] - E_x[i, j, k, n]}{\Delta y} - \frac{E_y[i+1, j, k, n] - E_y[i, j, k, n]}{\Delta x} \right\} \quad (5)$$

式中: $D_{aHw} = \frac{2\mu - \rho\Delta t}{2\mu + \rho\Delta t} \Big|_{Hw \text{ 所在空间位置}}$, $D_{bHw} = \frac{2\Delta t}{2\mu + \rho\Delta t} \Big|_{Hw \text{ 所在空间位置}}$, $\sigma, \varepsilon, \rho, \mu$ 分别为微带天线介质基片、金属贴片、周围空气的电导率、介电常数、磁阻率、磁导率。

利用对偶原理, 可以直接从磁场 FDTD 公式得到电场的 FDTD 公式。当 $n=0$ 时刻电磁场的初值和媒质参数给出后, 由磁场 FDTD 公式, 根据 n 时间步的电场值和磁场值求得 $n+1$ 时间步空间所有点的磁场分量; 由电场 FDTD 公式, 根据 n 时间步的电场值和 $n+1$ 时间步的磁场值求得 $n+1$ 时间步空间所有点的电场分量; 如此迭代, 可获得任何时刻空间所有点的电磁场值。

由以上分析知, 时域有限差分方程是 Maxwell 旋度方程的一种近似, 当在计算机的存储空间对电磁波的传播进行模拟时, 为了避免数值不稳定, 取时间步长 Δt 相对网格空间步长 $\Delta x, \Delta y$ 和 Δz 必须有界,

$$\Delta t \leq \frac{1}{c \sqrt{\frac{1}{(\Delta x)^2} + \frac{1}{(\Delta y)^2} + \frac{1}{(\Delta z)^2}}} \quad (6)$$

对微带天线计算时, 可采用 Gaussian 脉冲信号激励, 因为 Gaussian 脉冲信号的频谱也是 Gaussian 函数, 可提供较宽频带。

$$f(n\Delta t) = \begin{cases} e^{-[(n-n_0)/n_{\text{decay}}]^2} & \text{Gaussian 脉冲} \\ e^{-[(n-n_0)/n_{\text{decay}}]^2} \sin(2\pi f_0(n-n_0)\Delta t) & \text{带通 Gaussian 脉冲} \end{cases} \quad (7)$$

$$A(\omega) = \sqrt{\pi} n_{\text{decay}} \Delta t \exp[-(n_{\text{decay}}^2 \Delta t^2 \omega^2 / 4)] \quad (8)$$

作为一种电磁场的数值计算方法, 时域有限差分法在计算微带贴片天线的特性上具有一些很突出的优点: ① FDTD 的离散空间网点可以较精确的模拟复杂微带天线(阵)的实际结构; ② 易于得到天线辐射场的暂态分布情况, 便于定性理解天线工作的物理过程; ③ 通过时域计算值的傅立叶变换, 可获得频

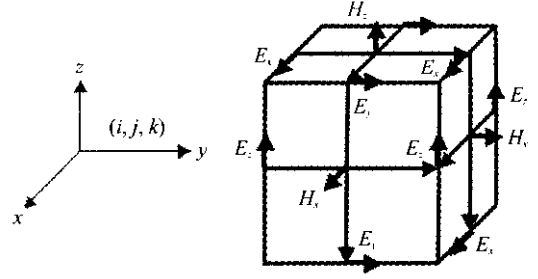


图 1 FDTD 法网格示意图

域上的天线参量,如输入阻抗、辐射图等信息;④由于微带天线的几何结构尺寸一般会比工作频带上的最短波长大很多,因此不会出现需用大量网格的问题,计算时也就不会出现存储量过大的问题。

当利用 FDTD 模拟微带天线的辐射场问题时,由于计算机内存有限,必须对计算区域截断,使计算区域有限。为模拟电磁波无反射地通过截断边界,向无限远处传播,在截断边界上必须满足吸收边界条件,希望 FDTD 法能够模拟动态范围与无反射暗室动态范围相比拟,而一般暗室可以获得低于 -70 dB 的有效无反射区。对于任何计算电磁学模型,这都是非常困难的,对微带天线的模拟,可应用 Berenger 提出的一种非物理的吸收媒质,称为完全匹配层(PML)^[4],该吸收媒质具有与外向散射波的入射角和频率均无关的波阻抗。这样可产生较小的边界反射。

2 仿真设计实例

微带天线的结构如图 2 所示。该模型通过同轴探针顶部附加小的平面电容片对微带天线进行馈电来补偿探针引起的电感。设电容片与贴片间介质的厚度为 h_2 ,并假定探针的高度和直径分别为 h_1 和 d ,电容片的直径为 D ,贴片长和宽分别为 L 和 W ,馈电位置、各层介质厚度和相对介电常数如图 2 所示。

用 empire 对上述方法所设计天线模型进行计算,并通过仿真结果对模型的尺寸进行调整优化,最后的天线参数如下: $L=6.5\text{ mm}$, $W=9.7\text{ mm}$, $\epsilon_{r1}=2.2$, $\epsilon_{r2}=2.6$, $h_1=2.1\text{ mm}$, $h_2=0.4\text{ mm}$, $d=0.4\text{ mm}$, $D=1.12\text{ mm}$, $\rho=1\text{ mm}$ 。天线的输入阻抗、反射系数、E 面和 H 面方向图以及最大方向性系数随频率变化的仿真结果如图 3 ~ 8 所示。

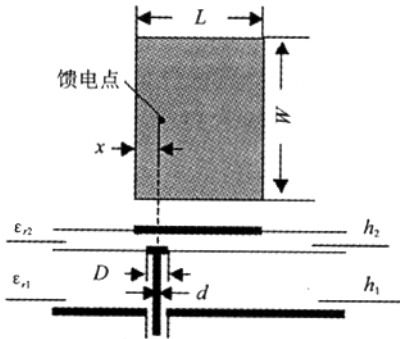


图 2 双层宽带微带天线示意图

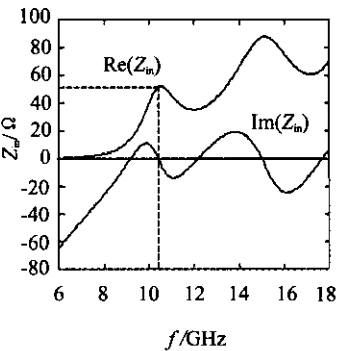


图 3 天线的输入阻抗曲线

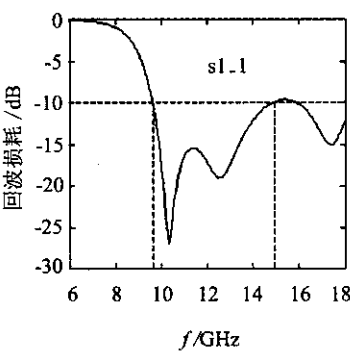


图 4 天线反射系数曲线

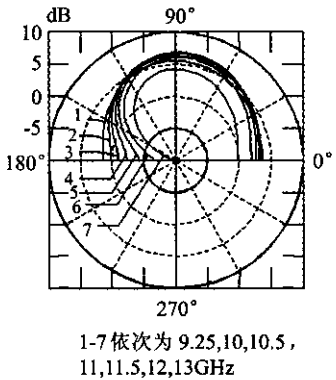


图 5 天线 E 面方向图随频率的变化

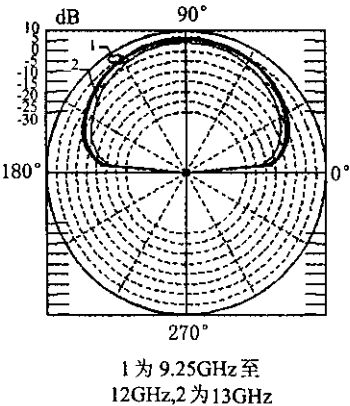


图 6 天线 H 面方向图随频率的变化

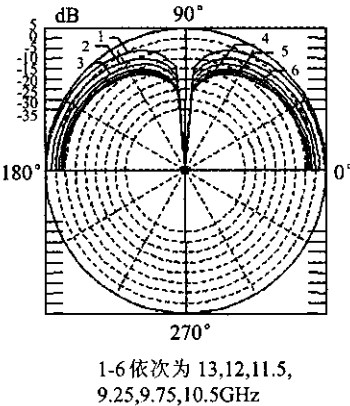


图 7 H 面交叉极化方向图随频率的变化

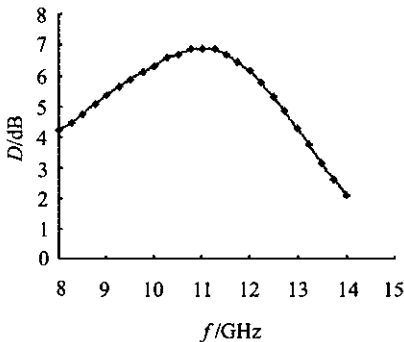


图 8 天线方向性系数随频率变化曲线

由图 3 可以看出,贴片的第一谐振点为 10.44 GHz,并且天线在这个频率点的输入阻抗为 51.5 Ω.由图 4 可知,回波损耗(反射系数) |s₁₁| ≤ -10 dB 的阻抗带宽为 5.25 GHz,因此中心频率取为 12.26 GHz,则相对带宽为 42.8%.

由图 5 可以看出随着频率的升高,E 面最大辐射方向(90°)的方向系数先增大后又减小,在 10.5 GHz 附近取得最大值,与前述输入阻抗特性的谐振点基本吻合,方向图形状在 12 GHz 以上有较大的畸变.而由图 6 看出从 9.25 GHz 到 12 GHz 天线 H 面方向图基本没有多大改变,到 13 GHz 就有较明显的改变,方向系数减小.由图 5、图 6 还可以看出在 10.5 GHz 天线 E 面半功率波束宽度(HPBW)为 81.2 度,H 面半功率波束宽度为 117.3 度.参考文献[1]对半功率波束的理论计算公式为:

$$\theta_{BE} = 2\arccos\left(\frac{1}{2 + k_0 W}\right)^{\frac{1}{2}}$$

(9)

$$\theta_{BH} = 2\arccos\left(\frac{7.03}{3k_0^2 L^2 + k_0^2 h^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

(10)

将所设计的参数代入可得:θ_{BE} = 89.6° θ_{BH} = 114.6°,说明对微带天线半功率波束的模拟仿真结果与参考文献[6]中的理论公式计算结果相近.

由图 7 可以看出随着频率的升高 H 面交叉极化分量先降低后升高,在 10.5 GHz 附近最低.频率为 11.5 GHz 时,在 40°方向极化隔离度减小到 7 dB,所以如果天线工作频率范围取为 9.25 GHz 到 11.5 GHz,H 面波束宽度取为 80°,则天线的最小极化隔离度为 7 dB.由此说明,所设计的天线在一定程度上减小了天线极化隔离度.

图 8 是天线的最大方向性系数在 8 GHz 至 14 GHz 的频率范围内的变化曲线图,先增大后减小,最大值在 11 GHz 附近,为 6.88 dB.由于已由图 7 知道 11.5 GHz 以上交叉极化分量较高,所以,最后频率范围取为 9.25 GHz 到 11.5 GHz,方向性系数波动 1.24 dB,中心频率为 10.37 GHz,带宽为 21.7%.

3 结 语

如何对宽带微带天线进行分析设计,一直是人们研究的热点.基于 FDTD 模拟微带天线的辐射过程,通过仿真结果,调整天线模型尺寸结构,找到满足要求的天线参数.这种方法设计速度快、准确性高,对天线分析设计特别对结构复杂天线分析设计来说,是一种方便、快速、有效的方法.

参考文献:

[1] Carve Keith R, Mink James W. Microstrip antenna technology[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1981, AP-29(1): 2-24.

[2] 杨明忠, 张 钧. 微带天线理论与工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.

[3] 葛德彪, 闫玉波. 电磁场时域有限差分法[M]. 西安: 西电出版社, 2002.

[4] Blischke M A, Chen K M, Rothwell E J. Broadband analysis of a single post-fed circular patch antenna[J]. URSI Radio Science Meeting Abstracts, 1989(6): 32.

[5] Newman E H, Pozar D M. Electromagnetic modeling of composite wire and surface geometries[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1978, AP-26(6): 784-789.

[6] Fong K S, Puse H F, Withers M J. Wideband multilayer coaxial-fed microstrip antenna element[J]. Electronics Letters, 1985, 21(11): 497-499.

[7] 鲍尔 I J. 微带天线[M]. 梁联倬译. 北京: 电子工业出版社, 1986.

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，一直致力和专注于微波、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>