

一种分析探针加载微带天线的局部共形 FDTD 法

崔俊海, 钟顺时

(上海大学通信工程系, 上海 200072)

摘要: 提出一种局部共形时域有限差分法(LCFDTD), 对短路探针加载的小型微带贴片天线进行了精确的数值分析. 该方法对任意尺寸和位置的同轴探针和短路探针都可精确模拟, 并且可用来模拟多探针加载情况. 计算结果和实验结果相一致, 证明了本文方法的有效性.

关键词: 微带天线; 时域有限差分法; 探针加载; 输入阻抗

中图分类号: TN822.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2002)06-0916-03

A Locally Conformal FDTD Method for Analyzing Pin Loaded Microstrip Antennas

CUI Jun hai, ZHONG Shun shi

(Dept. of Communication Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: A locally conformal finite difference time domain (CFDTD) method is presented for the accurate analysis of pin loaded microstrip patch antennas. This approach can accurately model the feed probe and the shorting pin with variable positions and dimensions and can be used in modeling multi pin loaded case. The calculated results are compared with measured ones, showing good agreement.

Key words: microstrip antennas; FDTD method; shorting pin loaded; input impedance

1 引言

随着移动通信业务的发展, 无线通信设备功能越来越复杂, 体积越来越小, 因此作为无线收发前端设备的天线, 也要求实现小型化. 微带天线作为一种体积小、重量轻、剖面薄的天线, 越来越受到重视. 而微带天线通过加载短路探针, 还可进一步减小天线尺寸^[1]. 这是一种较复杂的辐射结构, 而且其输入阻抗明显受同轴探针和短路探针的尺寸及位置的影响^[2]. 为获得良好的匹配, 两者的间隔往往很近, 通常只有一到几个毫米, 增加了分析的复杂性. 为了精确分析这种结构, 需采用一种严格的理论分析模型. 时域有限差分法(FDTD)是一种可供选择的、较好的方法. 这种方法是 Y S Yee 于 1966 年首次提出的^[3], 在计算电磁场的各个领域都得到了广泛的应用. 为了模拟复杂的电磁结构, 逐步发展了几种广义的 FDTD 法, 包括一般曲线坐标系 FDTD 算法, 可变网格尺寸 FDTD 算法和回路积分 FDTD 算法等^[4-9]. 这些算法可以相对精确地模拟各种复杂的辐射和散射结构, 但对于每种具体的结构, 网格的划分都非常复杂, 很难得到通用的分析计算程序. 因此对于不同的结构, 仍有必要寻找方便而又实用的理论分析模型和算法.

本文提出一种局部共形时域有限差分法(LCFDTD), 用来分析短路探针加载微带贴片天线. 对于此问题, 传统的 FDTD 处理方法是把探针等效为细线结构, 这就很难反映出馈电探

针和短路探针的相互耦合作用; 若采用子域网格划分技术, 将圆柱形探针模拟为方形, 也不够精确. 本文方法相当精确地考虑了馈电探针和短路探针的具体尺寸和位置, 空间步长可以灵活选择. 下面首先介绍这种天线的结构和理论计算公式, 然后给出计算结果和实验结果.

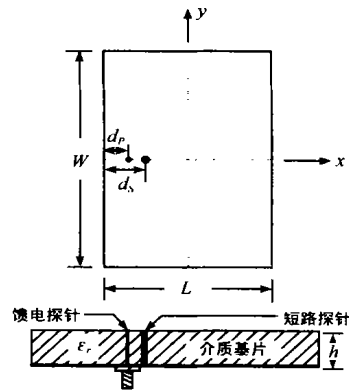


图 1 短路探针加载微带贴片天线

2 天线结构与理论公式

短路探针加载微带天线的结构如图 1 所示. 矩形贴片的尺寸为 $L \times W$, 介质基片的相对介电常数为 ϵ_r , 厚度为 h . 天线采用同轴探针馈电, 探针的导体半径为 r_p ; 为了降低谐振频

率, 在同轴探针的附近加了一短路探针, 半径为 r_s . 其工作原理可以用简单的电路理论来解释^[10]. 为了精确计算其性能参数, 可以采用 FDTD 法. 但从图 1 结构可以看出, 此结构中探针尺寸和贴片尺寸相比要小得多, 而探针的影响又非常显著, 必须精确模拟. 当采用均匀网格划分时, 网格尺寸必须非常小, 将占用大量计算机内存, 花费大量的计算时间; 而采用子域网格划分技术, 也不能精确模拟探针的圆柱形结构. 已有的共形 FDTD 算法^[4-9] 很难直接用于分析此问题. 本文提出一种局部共形时域有限差分法方案, 可对其进行精确的数值分析. 其平面网格划分如图 2 所示.

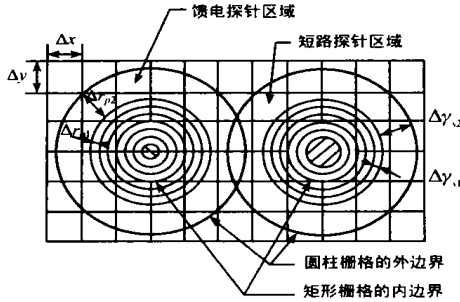


图 2 局部内共形 FDTD 栅格示意图

矩形贴片和整个辐射空间用矩形坐标网格进行划分. 其尺寸沿 \hat{x} 和 \hat{y} 方向分别为 Δx 和 Δy . 馈电探针和短路探针区域用圆柱坐标进行划分, 沿 \hat{r} 和 θ 方向的网格尺寸分别为 $\Delta r_p, \Delta \theta_p$ 和 $\Delta r_s, \Delta \theta_s$ (下标 p 指馈电探针, s 指短路探针). 在 \hat{z} 向, 为了精确模拟介质基板厚度, 矩形坐标和圆柱坐标采用相同的 Δz . 为了精确模拟馈电探针和同轴探针的尺寸同时又能保证解的稳定性, 圆柱坐标的网格采用了非均匀网格, 也就是说将 Δr_p 和 Δr_s 分别分成 $\Delta r_{p1}, \Delta r_{p2}$ 和 $\Delta r_{s1}, \Delta r_{s2}$. 其中 Δr_{p1} 和 Δr_{s1} 根据馈电探针和短路探针的实际尺寸灵活选择, Δr_{p2} 和 Δr_{s2} 的值取得与 Δx 和 Δy 相当, 这样做的好处是可以保证圆柱坐标和矩形坐标相互插值时保证稳定性. 共形的圆柱网格和矩形网格有一部分重叠, 其边界上的电场和磁场通过插值得到. 本文中用到了两种类型的插值. 第一种是圆柱坐标与矩形坐标之间的插值, 具体方案可参见参考文献[6]; 第二种插值是圆柱坐标系中不同径向空间步长 Δr_{p1} 和 Δr_{p2} 或 Δr_{s1} 和 Δr_{s2} 之间的插值. 这类插值公式可以利用积分形式的 Maxwell 方程推出^[8].

本文方法有更多的自由度选择网格尺寸来模拟天线的实际结构. 最大时间步长受矩形和圆柱坐标系下有限差分法稳定性条件的限制, 实际计算中应选择较小的一个值作为可取时间步长的上限.

在同轴线中靠近微带贴片的任意位置, 记录下电压和电流随时间的变化 $V(t)$ 和 $I(t)$:

$$V(t) = \int_L \mathbf{E}_{\text{coax}}(x, y, z_0) \cdot d\mathbf{O} \quad (1)$$

$$I(t) = \oint_C \mathbf{H}_{\text{coax}}(x, y, z_0) \cdot d\boldsymbol{\varphi} \quad (2)$$

式中积分路径 L 为同轴线内导体到外导体的直线段, 积分路径 C 为包围同轴线内导体的任一封闭曲线. 知道了同轴

线中电压和电流分布之后, 其输入阻抗和反射损耗可用下面公式计算^[11]:

$$Z_{in}(\omega) = \frac{\mathcal{F}[V(t)]}{\mathcal{F}[I(t)]} \quad (3)$$

$$\Gamma(\text{dB}) = 20 \lg \left| \frac{Z_{in}(\omega) - Z_0}{Z_{in}(\omega) + Z_0} \right| \quad (4)$$

式中 $\mathcal{F}[\cdot]$ 为 Fourier 变换, Z_0 为同轴线的特性阻抗.

3 数值和测量结果

对上述局部共形时域有限差分法 (LCFDTD) 模型, 用 FORTRAN 语言编制程序进行模拟, 并实际制作了天线进行测试. 天线的具体尺寸为 $L = 17.5 \text{mm}$, $W = 25 \text{mm}$, $r_p = 0.125 \text{mm}$, $r_s = 0.25 \text{mm}$, $d_p = 4 \text{mm}$, $d_s = 6.5 \text{mm}$, 所用的材料参数为 $\epsilon_r = 2.33$, $h = 2.35 \text{mm}$. 空间步长分别取为 $\Delta x = \Delta y = 0.5 \text{mm}$, $\Delta z = 0.5875 \text{mm}$, $\Delta r_{p1} = \Delta r_{s1} = 0.125 \text{mm}$, $\Delta r_{p2} = \Delta r_{s2} = 0.5 \text{mm}$, $\Delta \theta = 0.31416$, 时间步长取 $\Delta t = 0.2447 \text{ps}$, 激励源采用 Gauss 脉冲, 脉冲半宽度为 $T = 6.3621 \text{ps}$, 时延为 $3T$.

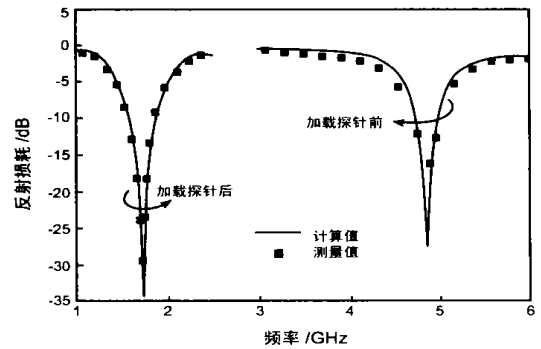


图 3 微带天线输入端反射损耗

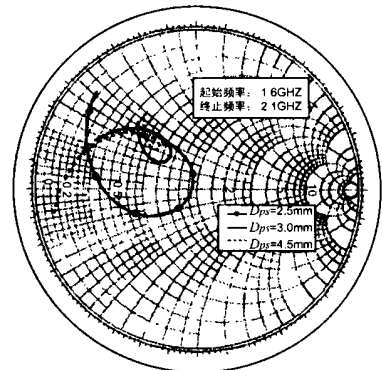


图 4 输入阻抗随 D_p 的变化

首先计算不加短路探针时微带天线的输入端反射损耗, 计算中对馈电探针采用局部共形网格进行划分, 计算结果如图 3 所示. 然后计算加载短路探针后天线输入端的反射损耗, 一起标在图 3 中. 可以看出, 天线在加载短路探针前谐振频率为 4.85GHz , 加载短路探针后谐振频率减小到 1.72GHz , 因此加载短路探针是一种降低谐振频率的行之有效的方法. 实际制作了一副天线, 采用 HP8510B 矢量网络分析仪进行测试, 测量的谐振频率在加载短路探针前后分别为 4.89GHz 和 1.688GHz . 计算值与测量值相比, 相对误差分别约为 1% 和

1.9%, 计算结果与测量结果吻合得较好, 证明了这种方法是有效的. 图 4 给出了馈电探针和短路探针之间的间距 D_{ps} 变化时输入阻抗的变化情况. 可以看出, 两者间距变小, 谐振频率降低, 等效于并联的电容越大, 输入阻抗在 Smith 圆图中向电容区移动, 这与文献[10]中的结论相同. 图 5 为短路探针直径变化时微带天线输入阻抗变化情况. 可以看出, 在馈电探针和短路探针间距固定的情况下, 增大短路探针的半径, 相当于并联一电感, 谐振频率升高, 阻抗曲线在 Smith 圆图中由电容区向电感区移动. 这些结论对实际设计这类天线有一定的指导意义.

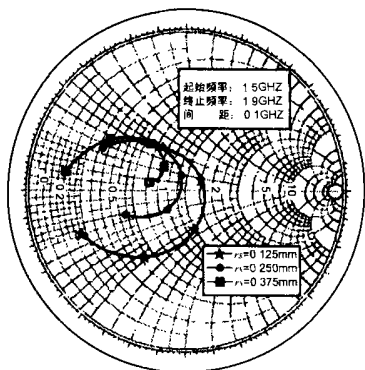


图 5 输入阻抗随短路探针尺寸的变化

4 结论

本文提出了一种局部共形时域有限差分法, 用来分析短路探针加载微带贴片天线. 计算结果和实验结果相一致, 并且解是稳定的. 这种方法考虑了馈电探针和短路探针的具体尺寸和位置, 空间步长可以灵活选择. 方法可以推广到计算多个短路探针加载的情况.

参考文献:

- [1] R B Waterhouse. Small microstrip patch antenna [J]. Electronics Letters, 1995, 31(8): 604- 605.
- [2] R B Waterhouse, S D Targonski, D M Kokotoff. Design and performance of small printed antennas [J]. IEEE Trans, 1998, AP- 46(11): 1629- 1633.
- [3] K S Yee. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell' s equations in isotropic media [J]. IEEE Trans, 1966, AP- 14(5): 302- 307.

- [4] R Holland. Finite difference solution of Maxwell' s equations in generalized nonorthogonal coordinates [J]. IEEE Trans, 1983, NS- 30(12): 4589- 4591.
- [5] S S Zivanovic, K S Yee, K K Mei. A subgridding method for the time domain finite difference method to solve Maxwell' s equations [J]. IEEE Trans, 1991, MTT- 39(3): 471- 479.
- [6] K S Yee, J S Chen, A H Chang. Conformal finite difference time domain (FDTD) with overlapping grids [J]. IEEE Trans, 1992, AP- 40(9): 1068- 1075.
- [7] K S Yee, J S Chen. Conformal hybrid finite difference time domain and finite volume time domain [J]. IEEE Trans, 1994, AP- 42(10): 1450- 1455.
- [8] K S Yee, J S Chen. The finite difference time domain and the finite volume time domain methods in solving Maxwell' s equations [J]. IEEE Trans, 1997, AP- 45(3): 354- 363.
- [9] S Dey, R M Mitra. A modified locally conformal finite difference time domain algorithm for modeling three dimensional perfectly conducting objects [J]. Microwave Opt Technology Letters, 1998, 17(6): 349- 352.
- [10] R B Waterhouse, S D Targonski, D M Kokotoff. Improving the mechanical tolerances and radiation performance of shorted patches [A]. IEEE APS Int Symp Dig [C]. 1997. 1852- 1855.
- [11] 崔俊海, 钟顺时. 一种新型小型化微带天线的全波分析 [J]. 电子学报, 2001, 29(6): 785- 787.

作者简介:



崔俊海 男, 1975 年 5 月出生于山东莱芜, 1997 年毕业于上海大学通信工程系, 同年免试推荐为本校电磁场与微波技术专业硕博连读生, 主要研究兴趣为: 无源、有源微带天线及电磁场的数值计算.



电磁场理论等.

钟顺时 男, 1939 年 9 月生于浙江瑞安, 上海大学通信与信息工程学院教授, 博士生导师, 中国电子学会会士, IEEE 高级会员. 1980~ 1982 年美国华盛顿大学和伊利诺伊大学访问学者. 在国内外发表论文 150 余篇, 著译 4 部, 获全国电子类优秀教材奖 2 项, 国家和省部级科技进步奖 7 项, 专利 2 项, 研究方向为天线、电磁兼容和