

天线罩介质对圆形贴片天线辐射特性影响的分析

邢 欣¹ 张 梅²

(1. 中信华南(集团)建筑设计院, 广州 510600; 2. 广东工业大学 计算机学院, 广州 510090)

摘要: 应用 FDTD 法进行全波分析, 采用理想匹配层吸收边界条件, 对圆形贴片和同轴线的微带部分采用共形技术, 在求解出的谐振频率与实验结果吻合的条件下, 求解辐射方向图, 着重讨论该介质性质和尺寸变化方向图中主极化和交叉极化的特性。

关键词: 时域有限差分法; 辐射方向图; 微带贴片天线; 谐振频率

中图分类号: TN455 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7081(2001)05-0416-03

微带贴片天线因其具有低剖面和小型化特点, 在现代通信设备中应用前景广阔。其辐射特性是能得到宽瓣方向图, 最大辐射方向在平面的法线方向, 容易实现线极化或圆极化。实际应用中, 出于防护或隐蔽的需要微带贴片天线通常要外加天线罩, 这样的介质层改变了微带结构的有效介电率, 造成天线的谐振频率偏离和天线方向图增益变化。因此, 覆盖介质层的影响不应忽视。文献[1]中就以实验分析了天线罩介质对 4GHz 频段圆形贴片天线谐振频率的影响。笔者采用时域有限差分法对它进行了全波的模拟与分析, 近 10 年来 FDTD 在分析微带问题中已有大量的应用。

1 建模及仿真参数设置

图 1 中地平面为有限面积 $75\text{mm} \times 75\text{mm}$, 厚度 2.4mm 。衬底介质 $\epsilon_r = 2.2$, 厚度 $h = 1.59\text{mm}$, 辐射贴片 R 为 13.4mm , 50Ω 同轴线以探针馈电, 同轴线外导体与接地平面连接, 内导体延伸至贴片, 同轴线内外导体半径分别为 $a = 0.8\text{mm}$ 和 $b = 1.8\text{mm}$, 馈点沿 $-x$ 方向偏离圆贴片中心 $R/3(4.5\text{mm})$ 。分别就覆盖层介电常数 ϵ_c 为 $2.2, 5.0, 10.8$, 厚度 d 为 $0.4h, 1h, 1.6h, 2h, 2.4h$ 的情况进行分析。

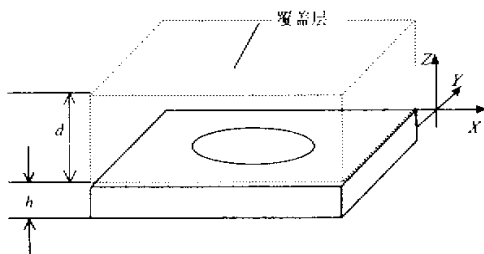


图1 具覆盖罩圆形贴片天线

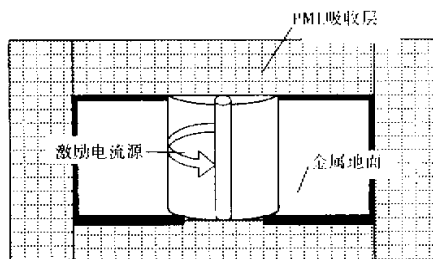


图2 同轴探针馈电端及吸收边界

Berenger 的完全匹配层吸收边界条件, 因精度高、反射误差小在近年被广泛应用, 采用的 PML 边界条件层数为 4, 阶数 2, 容许误差 10^{-5} 。贴片为圆形, 同轴线探针及内壁亦呈圆柱形, 传统的 FDTD 算法将不再适用, 应用文献[2]推出的非正交网格, 网格边界可与实际目标边缘匹配, 为节省运算空间, 其他部分仍采用直角坐标。天线为谐振结构, 而且计算区域有限, 准确剥离反射波形至关重要, 否则影响

收稿日期: 2001-06-23.

基金项目: 广东工业大学自选项目(95302).

作者简介: 邢 欣(1961—), 男, 工程师。

谐振频率的确定. 为精确求解 S 参数进行两次模拟, 一次是仅含小面积地平面的同轴馈电模型的运行 (网格数 $9 \times 9 \times 4$), 如图 2. 目的是为了提取记录面上标准入射电压波形 $V_z(t)$. 另一次是整体模型的运行, 两次模拟的 PML 吸收层均设置于上下、左右、前后共 6 个面上.

(1) 激励源设置在同轴线内比地平面低一个网格, 选用 z 方向电流源软激励方式如图 2, 为调制高斯脉冲, 中心频率为 4 GHz, 最高频率为 5 GHz (其值为已衰减为峰值 $1/e$).

(2) 整体模型含同轴馈电部分, 计算区域为包围整个天线的长方体, 网格单元 $dx=dy=dz=0.8 \text{ mm}=\lambda_0/93$, 时间步长 $dt=1.334 \times 10^{-12} \text{ s}$. 网格数约为 $93 \times 93 \times (7 \sim 12)$ (z 方向随介质厚度不同变化).

(3) 记录同轴芯线四周磁场得电流波形 (见式(1)), 运行次数为 4000 次, 得总电流 $I_1(t)$ 和入射电流的标准波形 $I_2(t)$. $I_1(t)$ 与 $I_2(t)$ 的差值得反射电流 $I_r(t)$, $I_r(t)$ 和 $I_2(t)$ 经过付氏变换可得到频域值 $I_r(f)$ 和 $I_2(f)$, 通过式(2)求得反射系数幅度的分贝值.

$$I_r[(n-\frac{1}{2})\Delta t] = [H_x^{n+\frac{1}{2}}(i_0, j_c, k_0) - H_x^{n+\frac{1}{2}}(i_c, j_0+1, k_c)] - [H_y^{n+\frac{1}{2}}(i_0+1, j_0, k_0) - H_y^{n+\frac{1}{2}}(i_0, j_c, k_0)] \quad (1)$$

$$s_{11}(f) = 20 \times \lg \left(\left| \frac{I_r(f)}{I_2(f)} \right| \right) \quad (2)$$

(4) 读取 $S_{11}(f)$ 曲线 (见图 3) 的谷底值得谐振频率 f_r .

(5) 6 个辐射口面上的时域切向电磁场值在时间步进扫描过程中被记录, 时域解通过傅氏变换得到频域解, 采用等效原理对辐射表面积分得到对应谐振频率 (实验值) 的辐射方向图.

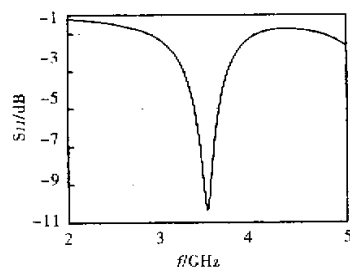


图 3 S_{11} 与频率对应曲线示例

图 4 为模拟结果与实验值对比图, 无覆盖时谐振频率为 4.22 GHz, 介电常数越低, 模拟结果越接近实验值; 模拟值变化趋势与实验值一致, 即随着覆盖层介电常数增大, 谐振频率降低; 同种类介质厚度增大, 谐振频率亦会降低. 这与文献 3 中讨论的矩形贴片的结论相符合, 说明模拟结果可靠. 另外, 这样的频率偏移对具有窄带特点的微带贴片天线是不能忽略的.

图 5 是无覆盖时 H 面 ($\phi=0^\circ$ 即 $Y-Z$) 和 E 面 ($\phi=90^\circ$ 即 $X-Z$) 主极化、交叉极化相对 dB 值方向图, H 面 θ 分量为主极化, E 面以 ϕ 分量为极化

(微带天线由于应用中安装位置的不同而造成 H 和 E 面的定义不同). 圆形微带贴片天线的主模 TM_{01} , 在垂直于天线平面的方向取得最大的辐射, 由于 $2R < \lambda_0/2$, 所以方向性较弱. 图 6 就 3 种覆盖介质分别在不同厚度下方向图最大增益的变化情况进行总结 (以无覆盖模型为参考), 介电常数愈大影响愈明显, 主要的变化趋势是提高增益, 以 $0.5h$ 左右的厚度效果较佳, 当 $\epsilon_r=10.8$ 增量可达 2.1 dB. 高 ϵ_r 材料以适当的覆盖厚度可在特定的频带获得高增益^[3], 这说明了覆盖层 ϵ_r 的值和高度可以进行优化, 从而提高增益和效率. 图 6 和图 7 则表示交叉极化分量的变化, 以 $\theta=0^\circ$ 主极化的值为参考, 交叉极化在 H 面弱, 在 E 面较强, E 面最大值的变化幅度较大, 介电常数愈大波动愈明显, 在厚度为 $0.5h$ 左右范围内 E 和 H 面的值均下陷, 与主极化互补, 可以理解为分配在主模的能量加强, 引起交叉极化的其他模

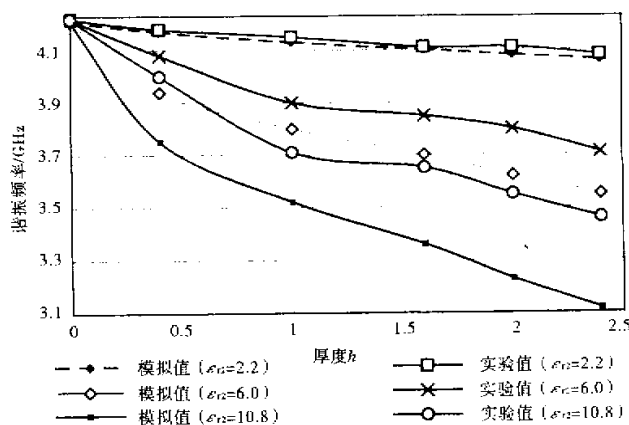


图 4 模拟值与实验值的比较

式能量减弱;覆盖介质厚度超过 $1.6h$ 交叉极化有较大幅度的增大。

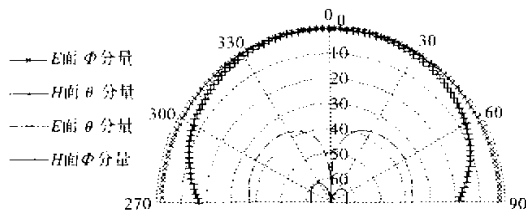


图5 无介质覆盖频率4.22 GHz方向图

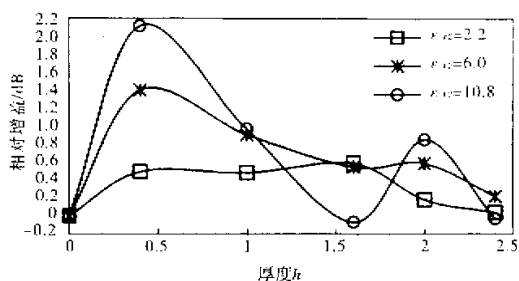


图6 不同覆盖介质厚度变化对方向图最大增益影响

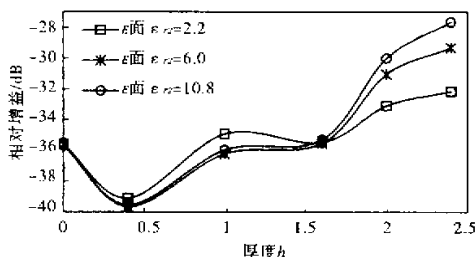


图7 覆盖介质厚度变化对E面交叉极化分量最大增益影响

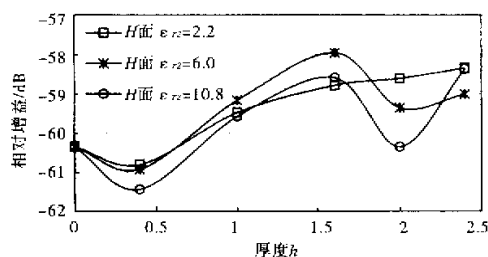


图8 覆盖介质厚度变化对H面交叉极化分量最大增益影响

参考文献:

- [1] Sami H. Al-Charchafchi M, Raimi Ibrahim. An experimental investigation of flat radome-loaded microstrip patch antennas[J]. Microwave Journal, 1997, 40: 100~109.
- [2] Holland R. Finite difference solutions of maxwell's equations in generalized nonorthogonal coordinates[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1983, 30: 4589~4593.
- [3] 钟顺时. 微带天线理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991.

[责任编辑 王迎春]

Analysis of Effect of Radome Dielectric on Radiation Characteristics of Disk Patch Antenna Radiation Characteristic

Xing Xin¹ Zhang Mei²

(1. Architectural Design Institute of CITIC South China (Group), Guangzhou 510600, China; 2. College of Computer Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract A microstrip disk patch antenna with radome is simulated using FDTD method for dielectric effect on radiation; perfect matched layer technique is adopted to form absorbing boundary, contour path technique is adopted to treat feeding port of the coaxial line and the disk patch; resonant frequency is calculated; the numerical result of the model is identical with experimental result. Furthermore, radiation pattern of the antenna is predicted. The effect of different dielectric layer and different thickness on the antenna radiation characteristics (copolarization and cross-polarization) is discussed.

Keywords FDTD method; radiation pattern; microstrip patch antenna; resonant frequency

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>