

# 具覆盖层微带贴片天线的时域有限差分法分析

邢 欣<sup>1</sup>, 张 梅<sup>2</sup>

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

**摘要** 采用时域有限差分法模拟了具有覆盖层微带贴片天线的瞬态特性,为实现含多种介质复杂结构天线的分析应用理想匹配层吸收边界条件和网格共形技术模拟同轴线的馈电,求解出与实验结果有极好的吻合的谐振频率,并进一步求解辐射方向图,讨论了不同介质覆盖和空气隙对微带贴片天线谐振频率和辐射特性的影响.

**关键词** 辐射方向图, 微带贴片天线, 谐振频率, 时域有限差分法

中图分类号 :TN455

文献标识码 :A

文章编号 :1007-716X(2001)03-0040-06

微带贴片天线因具有小型化、低轮廓、易制造和共形、方向性好、馈电方式灵活、极化制式多样化、成本低且容易与其它印刷有源电路集成一体化等特点而在印刷天线类中受到重视。低剖面和小型化特点,使其在现代通信设备中应用前景广阔。实际应用中出于环境防护或其它需要微带贴片天线通常要外加覆盖层以掩盖,或特殊气候条件下形成的冰雪层等,这样的介质层改变了微带结构的有效介电率,将使天线的谐振频率偏离和天线方向图增益变化。因此,研究覆盖介质导的影响在现实中就显得极为重要。覆盖层微带贴片天线的结构复杂,文献 1 的作者还提出应考虑覆盖层与贴片之间存在的空气间隙,用共形映射法推导出确定此类薄衬底天线谐振频率的公式,与实验值比较结果较为吻合,但我们认为在这种情况下,为了准确分析多层介质,应该使用全波分析法,能提供更精确的模拟结果,时域有限差分法是一种最有效的手段,它直接求解麦克斯韦方程,可计算比较复杂的金属和介质结构,通过严格的建模和参数设定,我们模拟的结果与实验值更加一致,在验证了模型的有效性之后,进一步求解出辐射方向图和频带宽度,初步探讨不同介质覆盖和空气隙对微带贴片天线谐振频率和辐射特性的影响,为设计和预测同类微带天线及阵列提供参考。

## 1 模型

微带贴片天线结构如图 1,覆盖层介电常数  $\epsilon_{r3}$  分别为 2.33, 2.94, 中间空气穴  $\epsilon_{r2} = 1.0$ , 高度分别为 3.5, 7.5, 12.8 mm, 衬底介质  $\epsilon_{r1} = 2.94$ , 厚度为  $h = 3.05$  mm, 辐射贴片  $W = 30.6$  mm,  $L = 22.7$  mm, 厚度不计, 地平面厚度为 1.5 mm, 宽度为辐射贴片的三倍, 同轴线探针馈电如图 2 所示, 同轴线外导体与接地平面连接, 内导体馈电直至贴片,  $50\Omega$  同轴线内外导体半径分别为  $a = 3.04$  mm 和  $b = 7$  mm, 馈点由常规矩形微带贴片天线馈电位置的方法确定。

---

收稿日期 2000-11-13

基金项目 广东工业大学自选项目(952010).

作者简介 邢欣(1961-)男, 工程师, 主要研究方向为电气技术.

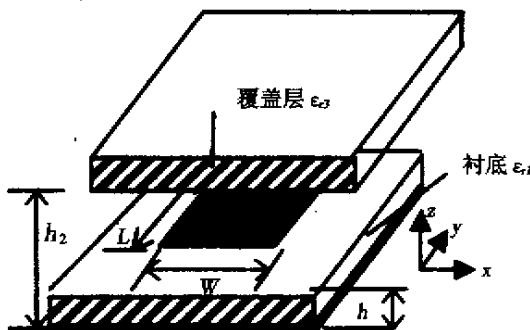


图1 含覆盖层微带贴片天线示意图

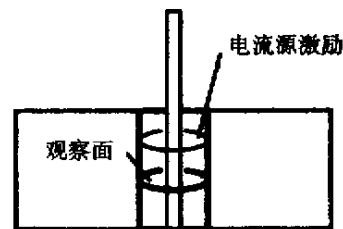


图2 地面和同轴馈电示意图

## 2 模型模拟算法

为精确提取  $S$  参数,进行了两次模拟,一次是仅含小面积地平面的同轴馈电模型的运行(网格数  $14 \times 14 \times 3$ ),目的是为了提取记录面上入射电压的标准参考数据  $V_2(t)$ 。另一次整体模型的运行。

微带线及贴片是一种非均匀介质结构,电磁波在不同区域传播速度不同,是色散传输系统,需要一种能适应一定速度范围的吸收边界条件,所以两次模拟均采用理想匹配层边界条件,层数4,阶数2,容许误差  $10^{-5}$ 。

### 2.1 同轴馈电入端模拟

此类天线为谐振结构,馈电部分模拟是否适当,对准确求解反射波形至关重要,影响谐振频率的确定。在具体的算法中特别采用了以下技术:

1)激励源设置在同轴线内,选用+Z方向电流源激励如图2,为调制高斯脉冲,中心频率为3GHz,最高频率为10GHz(其值为峰值的  $1/e$ )。

2)使用阶梯网格共形同轴馈电内外导体和介质的圆柱部分,其它部分仍是直角坐标。

### 2.2 整体结构的模拟

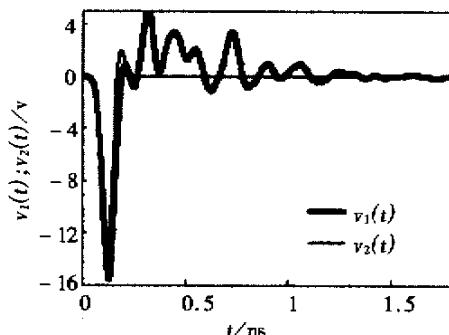
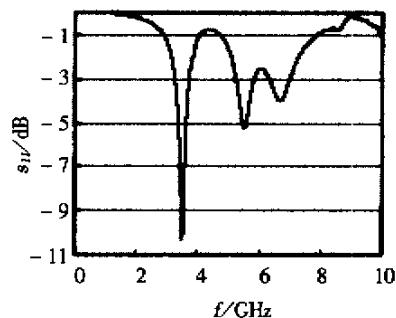
设定计算区域为包围整个天线的长方体,整体模型含同轴馈电部分,选择网格单元: $dx = dy = dz = 0.75 \text{ mm} = \lambda_0/100$ ,时间参数: $dt = 1.251 \times 10^{-12} \text{ s}$ ,网格数约为  $128 \times 97 \times 39$ (Z方向随空气穴高度不同而变化),运行次数为  $3000 \times dt$ ,得总电压  $V_1(t)$ 、 $V_2(t)$ ,波形见图3。 $V_1(t)$ 减  $V_2(t)$ 得反射电压  $V_{re}(t)$ , $V_{re}(t)$ 和  $V_2(t)$ 对立叶变换之后得幅度  $|V_{re}(f)|$  和  $|V_2(t)|$ ,通过式(1)求得反射系数幅度的分贝值:

$$S_{11}(f) = 20 \lg \left[ \frac{|V_{re}(f)|}{|V_2(f)|} \right] \quad (1)$$

由  $S_{11}(f)$  曲线(见图4)的最低值取得谐振频率  $f_{rl}$  和频带宽度。

时间步进扫描过程中,记录6个辐射口面上的时域切向电磁场值,离散付里叶变换将它们转换民相应FDTD法求得的谐振频率频域值。采用惠更斯等效原理,对辐射表面求积分,转换得远场区电场值而得方向图。

程序以C++编程,在PC机(Intel Pentium 500A,128M RAM)上运行,工作平台Linux RedHat 6.0系统,由网格数目不同运行时间2~12h不等,求解方向图的运行单独进行。

图 3 总电压  $V_1(t)$  与入射的参考电压  $V_2(t)$ 图 4  $S_{11}$  反射系数与频率的关系

### 3 结果讨论

根据  $S_{11}(f)$  曲线最低点求解的谐振频率  $f_{r1}$  及频带宽度见表 1 ,精度比文献 [1] 公式法得出的谐振频率  $f_{r2}$  明显提高 ,从而验证了 FDTD 建模的正确性 ;可见介质的覆盖使谐振频率降低 ,在一定范围内 ,空气间隙减少使谐振频率呈大致降低的趋势 ;微带天线的缺陷是频带窄 ,表 1 中的结果与这一结论吻合 ,但介质的覆盖可使带宽增长 ,覆盖介质越靠近贴片就越明显 .

表 1 FDTD 计算谐振频率  $f_{r1}$  与公式法计算谐振频率  $f_{r2}$  和实验值对比

$\epsilon_{r3}$	空气间隙 ( $h_2 - h$ ) mm	$f_{r1}/\text{GHz}$	实验值	$f_{r1}$ 与实验值 误差/GHz	VSWR < 2 频 宽/%	$f_{r2}/\text{GHz}$	$f_{r2}$ 与实验 值误差/GHz
2.33	3.5	3.453	3.456	0.003	8.11	3.452	0.004
2.33	7.5	3.4794	3.498	0.0186	7.94	3.473	0.025
2.33	12.8	3.5012	3.523	0.0218	7.71	3.486	0.037
2.94	3.5	3.463	3.475	0.012	8.09	3.436	0.039
2.94	7.5	3.4962	3.492	-0.0042	8.01	3.465	0.027
2.94	12.8	3.4978	3.517	0.0232	6.87	3.483	0.034
1.0			3.508		6.69		

图 5 和图 6 分别是 H 面( $\phi = 0^\circ$  即 X-Z )和 E 面( $\phi = 90^\circ$  即 Y-Z )主极化相对 dB 值方向图( E 面为方便显示只表示  $-48^\circ \sim +48^\circ$  的范围 ),H 面以  $\phi$  分量为主极化 ,E 面以  $\theta$  分量为主极化 . 由于  $W, L < \lambda_0/2$  ,所以方向性较弱 . 以无介质覆盖天线为参考 ,介质覆盖时 7.5 mm、3.5 mm 的空气间隙使 H、E 面的增益逐渐降低 ,平均增益分别最多相差 0.83 dB 和 1.48 dB ,在最大辐射方向( $\theta = 0^\circ$ )最大降低了 1.05 dB ;当空气间隙增大为 12.8 m 增益反而升高 ,H、E 面分别增长 0.40 dB 和 0.11 dB ,在最大辐射方向( $\theta = 0^\circ$ )增长 0.19 dB ;可以理解为空气间隙( $\epsilon_{r2} = 1.0$ )与介质  $\epsilon_{r3}$  形成多层覆盖被等效为高  $\epsilon$  材料 ,在间距适当的时候可在特定的频带获得高增益<sup>[2]</sup> ,这说明覆盖层  $\epsilon_{r3}$  和气隙高度是可以进行优化从而提高增益和效率 . 但从表 2 和图 5、图 6 中发现 ,以同一种介质覆盖而言方向图增益和频带宽度成反比关系 .

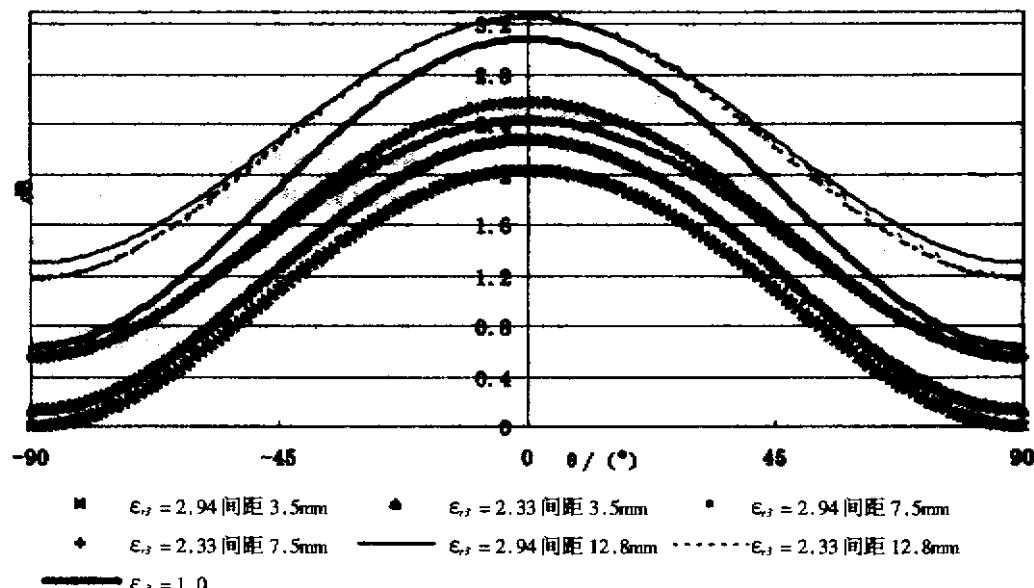


图 5 H面方向图

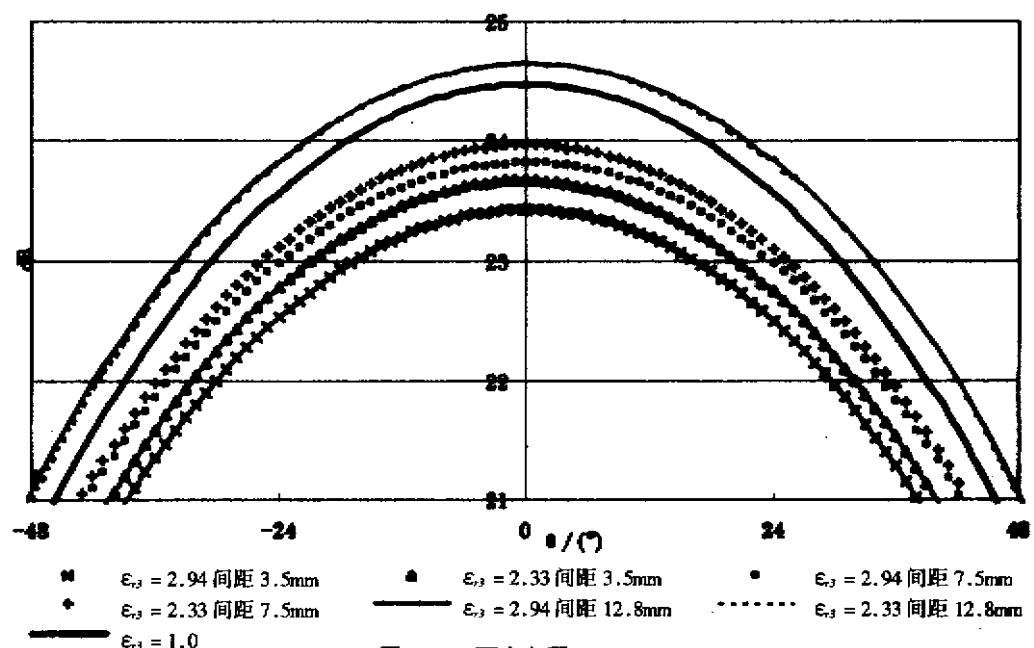
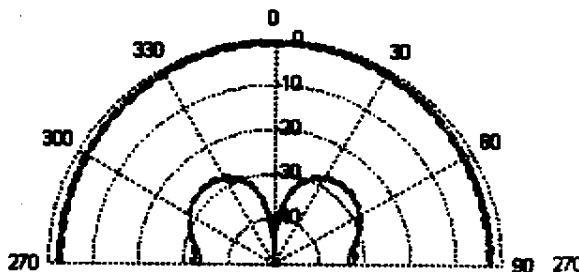


图 6 E面方向图

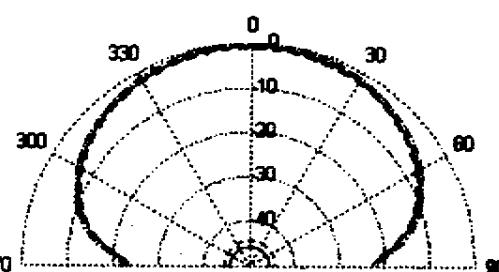
表 2 交叉极化鉴别率 X、交叉极化电平和平均值

	$\epsilon_{r3} = 2.94$ 间 距 3.5 mm	$\epsilon_{r3} = 2.94$ 间 距 7.5 mm	$\epsilon_{r3} = 2.94$ 间 距 12.8 mm	$\epsilon_{r3} = 1.0$	$\epsilon_{r3} = 2.33$ 间 距 3.5 mm	$\epsilon_{r3} = 2.33$ 间 距 7.5 mm	$\epsilon_{r3} = 2.33$ 间 距 12.5 mm
交叉极化鉴别率 X(dB)	43.062	45.117	48.888	42.608	43.373	45.158	50.839
E 面交叉极化电平(dB)	-38.523	-42.005	-48.546	-36.925	-39.116	-42.146	-52.455
H 面交叉极化电平(dB)	-20.220	-22.828	-28.354	-23.517	-21.519	-23.659	-29.668
E 面交叉极化平均值(dB)	4.364	2.873	0.023	5.327	4.070	2.781	-1.926
H 面交叉极化平均值(dB)	18.857	18.163	16.344	15.383	18.090	17.598	16.983

H 和 E 面主极化和交叉极化相对方向由于篇幅的关系没有全部列出, 图 7、8 为示意图, 从图中可以发现 H 面交叉极化分量较大, 在  $\pm 45^\circ$ 附近最大, 而 E 面交叉极化分量较小且较均匀。表 2 中交叉极化鉴别率 X 定义是最大辐射方向主极化和交叉极化之比, 交叉极化电平则是交叉极化最大值与主极化最大值之比。通过与无介质覆盖天线的比较, 介质覆盖使交叉极化鉴别率增加, 在 E 面降低天线交叉极化电平和平均值, 在 H 面提高天线交叉极化电平平均值, 但是可以发现 3.5 mm、7.5 mm 的空气间距使交叉极化电平升高, 而 12.8 mm 的空气穴使之降低。随着空气间距的加大 H、E 面的交叉极化鉴别率提高、交叉极化电平降低。

图 7 H 面主极化  $E_\theta$  和交叉极化  $E_\phi$  方向图

$\epsilon_{r3} = 2.33$  — 间距为 3.5mm;  
— 间距为 7.5mm; - · - 间距为 12.8mm

图 8 E 面主极化  $E_\theta$  和交叉极化  $E_\phi$  方向图

$\epsilon_{r3} = 2.33$  — 间距为 3.5mm;  
— 间距为 7.5mm; - · - 间距为 12.8mm

## 4 结语

本文对图 1 所示介质覆盖矩形微带贴片天线的谐振频率进行了数值计算, 其结果比文献 [1] 的计算结果更接近实验结果, 在确认了模型的准确性之后求解了频带宽度和辐射方向图, 着重分析了增益和交叉极化, 通过这种模拟证明时域有限差分法处理微带贴片天线是完全适合的。得出的结论对微带天线的计算及工程设计上有一定的意义。

## 参考文献 :

- [1] Jennifer T Bernhard, Carolyn J. Tousignant. Resonant Frequencies of Rectangular Antenna with Flush and Spaced Dielectric Superstrate[J]. IEEE Trans-AP, 1999, 47(2): 320-307.
- [2] 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. 169-172.

## FDTD Analysis of Microstrip Patch Antenna with Superstrata

XING Xin<sup>1</sup> ZHANG Mei<sup>2</sup>

( 1 . Architectural Design Institute of CITIC South China ( Group ) Guangzhou 510600 ,China

2 . Faculty of Computer , GDUT , Guangzhou , 510090 , China )

**Abstract** In order to analyze complicated antennas with several kinds of mediums , a microstrip patch antenna with superstrata is analyzed using FDTD method. A perfect matched layer technique is employed to form absorbing boundaries , and a contour path method to treat the feeding port of coaxial lines. Resonant frequency is calculated which is identical with the test result. Furthermore a radiation pattern for the antenna is predicted , and effects of different dielectric layers and air gaps on the antenna resonant frequencies and radiation characteristics are analyzed.

**Key words** radiation pattern ; microstrip patch antenna ; resonant frequency ; FDTD method

( 上接第 39 页 )

### 参考文献 :

- [ 1 ]Karen Ketler. Case-based reasoning an introduction[ J ]. Expert Systems with Applications. 1993( 6 ) 3-8.  
[ 2 ]王以华 李名尧 等 .现代模塑成型手册[ M ].上海 :上海交通大学出版社 ,1993 :116-122.

## Study on Plastic Injection molding Design Based on CBR

SHAN Fang<sup>1</sup> ,CHEN Pu<sup>2</sup> ,LI Mei-cun<sup>1</sup>

( 1 . College of Technocrats ,Guangzhou University ,Guangzhou 510091 ,China ;

2 . Guangdong University of Technology ,Guangzhou 510643 ,China )

**Abstract** A design system based on case-based reasoning for plastic injection mold is proposed. Discussion on case expression , case retrieval and case learning in this system is conducted.

**Key words** injection molding design ;Case-based reasoning ;CAD

## 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>