

# 覆盖层和空气隙对微带贴片天线影响的研究

张梅\* 邢欣

(广东工业大学计算机学院 广州 510090)

【摘要】应用时域有限差分法模拟同轴线馈电贴片天线的瞬态特性，分析了具覆盖层和空气隙的微带贴片天线，提取出谐振频率结果与实验结果吻合较好。求解了带宽和辐射方向图，并讨论了介质覆盖和空气隙对天线谐振频率和辐射特性的影响。

关键词 微带贴片天线；谐振频率；时域有限差分法；辐射方向图；网格共形  
中图分类号 TN455

微带贴片天线因具有小型化、方向性好、馈电方式灵活、剖面低、成本低且容易与其他印刷电路集成等优点而受到学者的重视<sup>[1]</sup>。对于低剖面特点，不仅可安装在飞行器上使其具有良好的空气动力学特性，而且也可用于手提无线电设备中，故研究这类微带天线具有重要的意义，且在工程上有良好的应用背景。微带贴片天线在实际应用场合通常需要外加覆盖层，覆盖层与贴片之间便会形成一定大小的空气间隙，因而改变微带结构的有效介电常数，会使天线的谐振频率偏离，当频率偏离谐振时，电抗分量急剧变动而出现失配，结果使天线辐射能量降低，天线本身贮存能量增大，使天线效率降低。因此，研究覆盖介质层及其空气隙对谐振频率、带宽和方向图的影响就显得极为重要。覆盖层微带贴片天线的结构比较复杂，已有学者分别采用传输线法、矩量法等研究其谐振特性<sup>[2,3]</sup>，文献[4]进一步提出了应考虑空气间隙的存在，采用共形映射法推导出确定此类天线谐振频率的公式，并与实验值比较，结果较为吻合，故严格的电磁场全波分析是较好的解决方案，能提供更精确的模拟结果。时域有限差分法因直接进行时域计算、程序简单容易实现、通用性好、直观而形象、便于记录数据的特点而成为首选。它通过准确的建模和参数设定，可求出与实验值更加一致的结果，在此正确模型的基础上进一步求解出辐射方向图。本文探讨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，为设计和预测同类微带天线及阵列打下基础。

## 1 模型说明

薄衬底的微带贴片天线结构如图1~3所示，模型参数如下：辐射贴片 $W=30.6$  mm,  $L=22.7$  mm, 厚度为0。地平面厚度为1.5 mm, 宽度为辐射贴片的三倍。衬底介质厚度 $h=3.05$  mm, 相对介电常数 $\epsilon_{r1}=2.94$ , 覆盖层介电常数 $\epsilon_{r3}$ 分别为2.33和2.94。中间空气穴 $\epsilon_{r2}=1.0$ , 高度 $h_2-h$ 分别为3.5、7.5、12.8 mm。原模型采用同轴线探针馈电如图4所示，同轴线外导体与接地平面连接，内导体馈电至贴片，50  $\Omega$ 同轴线内外导体半径分别为 $a=3.04$  mm和 $b=7$  mm。由常规矩形微带贴片天线馈电位置的方法确定相应的馈点。

## 2 算法

### 2.1 同轴馈电模型

由于微带贴片天线为谐振结构，馈电部分模拟是否适当对准确求解反射波形至关重要<sup>[5]</sup>，进而影响匹配点的确定。本文采用了以下技术：

2000年12月4日收稿

\*女 38岁 大学 讲师

- 1) 使用阶梯网格共形同轴馈电内外导体和介质的圆柱部分, 其他部分仍是直角坐标;
- 2) 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 $V_2(t)$ ;
- 3) 为防止传输波色散, 两次模拟均采用理想匹配层边界条件, 层数为4, 阶数为2, 允许误差为 $10^{-5}$ 。

激励源设置在同轴线内, 选用 $+z$ 方向电流源激励, 为调制高斯脉冲, 中心频率为3 GHz, 最高频率为10 GHz。

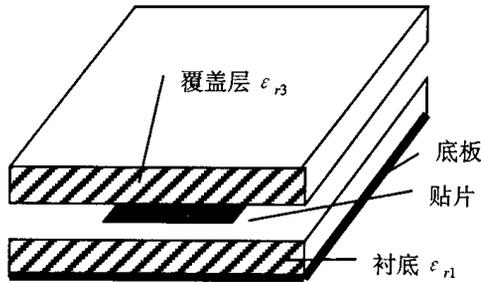


图1 具覆盖层微带贴片天线示意图

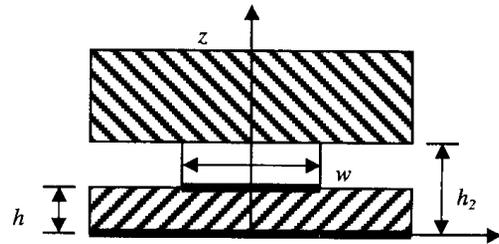


图2 贴片天线正面图

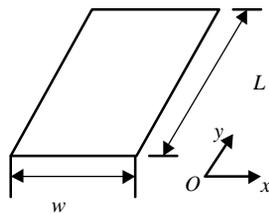


图3 辐射贴片示意图

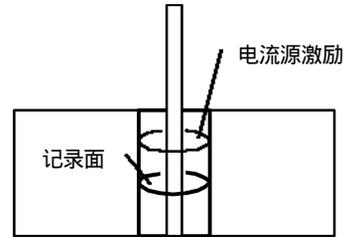


图4 地平面和同轴馈电示意图

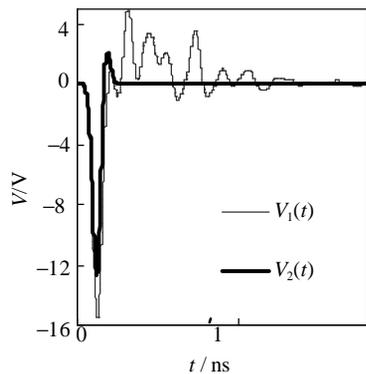


图5 总电压 $V_1(t)$ 与入射的参考电压

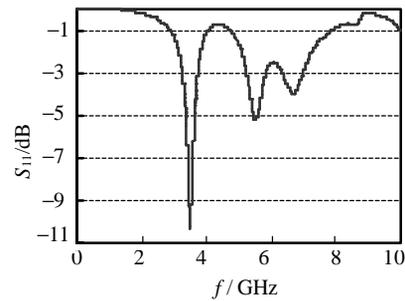


图6  $S_{11}$ 反射系数与频率的关系

## 2.2 整体结构的模拟

整体模型的运行包含同轴馈电部分, 界定计算区域为包围整个天线的长方体, 选择网格及时间参数如下:  $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.75 \text{ mm}$ ,  $\Delta t = 1.251 \times 10^{-12} \text{ s}$ 。网格数约为 $128 \times 97 \times 39$ ( $z$ 方向随空气穴高度不同在24~39之间变化), 运行次数为3 000  $\Delta t$ , 得到总电压 $V_1(t)$ ,  $V_1(t)$ 、 $V_2(t)$ 波形如图5所示。将 $V_1(t)$ 减 $V_2(t)$ 得反射电压 $V_{re}(t)$ ,  $V_{re}(t)$ 和 $V_2(t)$ 经傅里叶变换之后得 $V_{re}(f)$ 和 $V_2(f)$ , 通过式(1)求得反射系数的分贝值为

$$S_{11}(f) = 10 \lg \frac{V_{re}(f)}{V_2(f)} \quad (1)$$

由图6所示 $S_{11}(f)$ 曲线的最低值取得谐振频率 $f_{r1}$ 。

本程序以C++编程,在PC机(Intel Pentium 500A, 128M RAM)上运行,工作平台为Linux RedHat 6.0系统。因网格数目不同,其运行时间为2~12 h不等。

### 2.3 远场区方向图求解

在计算区域的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,通过离散傅里叶变换将其转换成相应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,转换远场区电场值得方向图。

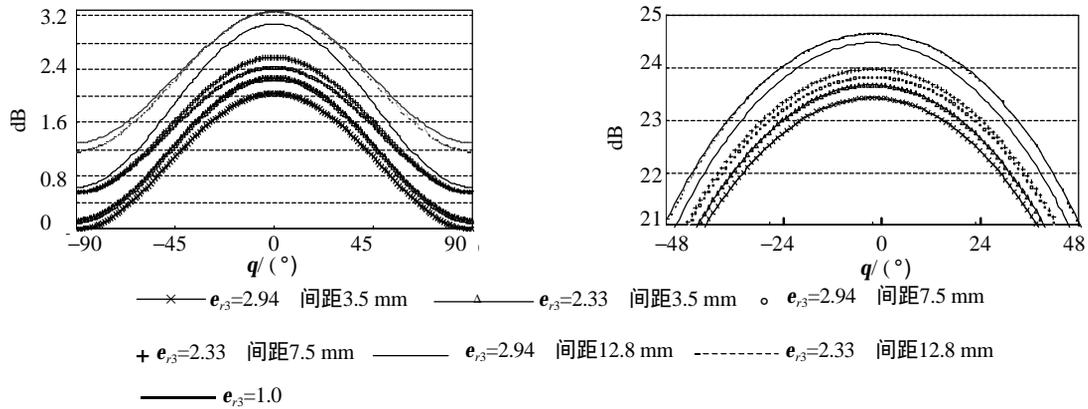


图7 H面方向图

图8 E面方向图

表1 FDTD 计算谐振频率  $f_{r1}$  和频宽以及公式法计算谐振频率  $f_{r2}$  和实验值

$\epsilon_{r3}$	空气间隙( $h_2-h$ )/mm	$f_{r1}$ /GHz	实验值/GHz	$f_{r1}$ 与实验值误差/GHz	VSWR<2频宽/(%)	$f_{r2}$ /GHz
2.33	3.5	3.453 0	3.456	0.003 0	8.11	3.452
2.33	7.5	3.479 4	3.498	0.018 6	7.94	3.473
2.33	12.8	3.501 2	3.523	0.021 8	7.71	3.486
2.94	3.5	3.463 0	3.475	0.012 0	8.09	3.436
2.94	7.5	3.496 2	3.492	-0.004 2	8.01	3.465
2.94	12.8	3.497 8	3.517	0.023 2	6.87	3.483
1.00			3.508		6.69	

### 3 结果讨论

谐振频率计算值及频带宽度如表1所示,  $f_{r1}$ 的精度比文献[3]公式法得出的谐振频率 $f_{r2}$ 明显提高,证明了该FDTD建模的正确性;介质的覆盖使谐振频率降低,在一定范围内,空气间隙的减小使谐振频率呈大致降低的趋势;微带天线最主要的缺点是频带窄,表1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。图7、图8分别是H面和E面主极化相对dB值方向图(E面为方便显示只表示-48°~+48°的范围),以无介质覆盖天线为标准,介质覆盖时7.5 mm、3.5 mm的空气间隙使H、E面的增益均降低,平均增益分别最多相差0.83 dB和1.48 dB,在最大辐射方向(0°)最大降低了1.05 dB;当空气间隙增大为12.8 mm增益反而增高,H、E面分别增长0.40 dB和0.11 dB,在最大辐射方向增长0.19 dB;可以理解为空气间隙与介质 $\epsilon_{r3}$ 形成多层覆盖等效为高 $\epsilon$ 材料,以适当的间距可在特定的频带获得高增益<sup>[6]</sup>,这说明对覆盖层 $\epsilon_{r3}$ 和气隙高度可以进行优化从而提高增益和效率。但从表1和图中发现,就同一种介质而言增益和带宽成反比。

## 4 结束语

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[4]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方向图;就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得出了一些有益的结论,说明时域有限差分法在处理微带贴片天线方面是可行、准确的;采用该方法还可仿真其他形状的介质覆盖微带贴片天线,对微带天线的计算及工程设计有一定的意义。

## 参 考 文 献

- 1 Xue Liangjin. Integrated circuits for millimeter systems. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1999, 28(4):346~352[薛良金. 毫米波系统中的集成电路. 电子科技大学学报, 1999, 28(4):346~352]
- 2 A Verma K, Bupal A, Rostamy Z, *et al.* Analysis of rectangular patch antenna with dielectric cover. IEICE Trans, 1991, E74: 1 270~1 276
- 3 Ramahi O M, Lo Y T. Superstrate effect on the resonant frequency of microstrip antennas. Microwave Opt Technol Lett, 1992, (5): 254~257
- 4 Bernhard Jennifer T, Tousignant Carolyn J. Resonant frequencies of rectangular microstrip antenna with flush and spaced dielectric duperstrates. IEEE Trans-AP, 1999, 47(2): 320~307
- 5 Yu Zhiyuan. A study of excitation source in FDTD calculation. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1998,27(1):43~46[喻志远. 时域有限差分法计算中源的研究. 电子科技大学学报, 1998, 27(1): 43~46]
- 6 钟顺时. 微带天线理论与应用. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991, 169~172

## FDTD Analysis of Microstrip Patch Antennae with Superstrates and Air Gap

Zhang Mei    Xin Xing

(College of Computer Engineering, Guangdong Polytechnic University Guangzhou 510090)

**Abstract** In this paper, the microstrip patch antennae are simulated with FDTD method to discuss the effect of superstrate and air gap. The resonant frequency are calculated as well. It is shown that the numerical results are identical with experimental results. The radiation pattern and bandwidth are also predicted and discussed.

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