

矩形微带贴片天线的 FD-TD 电磁仿真^{*}

陈雅娟, 龙云亮

(中山大学无线电电子学系, 广东 广州 510275)

摘要: 运用时域有限差分法(FD-TD)实现了对矩形微带贴片天线电磁特性的仿真. 详尽地介绍了仿真软件中 FD-TD 算法的具体实现并给出了对矩形微带贴片天线在时域和频域的电

关键词: 时域有限差分法; 矩形微带贴片天线; 电磁仿真

中图分类号: TN011.4; O174.5 **文献标识码:** A

微带天线是近年来发展非常迅速的一种新型天线, 对宽带微带贴片天线的研究得到愈来愈广泛的重视^[1]. 目前出现了许多分析微带天线的方法. 常用的有传输线法, 谐振腔模型法, 矩量法, 有限元法及时域有限差分法^[2]. 早在 1966 年 Kane S. Yee 用后来被称为 Yee 氏网格的空间离散式, 把带时间变量的 Maxwell 旋度方程转化为差分格式, 并成功地模拟了电磁脉冲与理想导体作用的时域响应^[3]. 这就诞生了后来被称作时域有限差分法(FD-TD)的一种新的电磁场时域计算方法.

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适合模拟各种复杂电磁结构, 用 FD-TD 的离散空间网点可以较精确的模拟微带天线(阵)的实际结构; ②易于得到计算空间场的暂态分布情况, 这既便于定性理解其工作的物理过程, 又便于得到供定量分析的有关电参量; ③通过一次时域计算, 即可得到一个频域上的天线参量(如输入阻抗、辐射图等)和宽频信息; (4)由于微带天线的几何结构尺寸一般不会出现比工作频带上的最短波长大很多, 因此不会出现需用巨额数量网格的问题, 亦即分析计算时不会出现存储量过大的问题. 这些明显的特点可使 FD-TD 法对微带天线进行精确的仿真分析.

1 矩形微带贴片天线的 FD-TD 仿真分析

进行数值分析的微带贴片天线结构如图 1 所示.

取空间步长分别为 $\Delta x = 0.389 \text{ mm}$, $\Delta y = 0.400 \text{ mm}$, $\Delta z = 0.265 \text{ mm}$, 时间步长为 $\Delta t = 0.441 \text{ ps}$. 计算的空间域为 $60 \times 100 \times 16$, 对于时间的计算域, 取 $8000\Delta t$ 以使计算频域分量时更加精确. 矩形贴片的大小为 $32\Delta x \times 40\Delta y$, 微带线的长度为 $50\Delta y$, 介质基板的厚度为 $3\Delta z$. 参考面设置在 $y = 20\Delta y$ 处. 参考点设置为参考面上微带线中心轴线下紧邻微带线的网格点处. 介质基板的相对介电常数 $\epsilon_r = 2.2$, 基板与空气分界面的介电常数 $\epsilon = (\epsilon_0 + \epsilon_0\epsilon_r)/2$. 激励源为高斯脉冲 $I_s = \exp[-(t - 102\Delta t)^2 / (34\Delta t)^2]$, 采用文献[4]的设置方法, 避免了电

* 基金项目: 教育部高等学校骨干教师资助计划; 广东省自然科学基金资助项目(950079)

收稿日期: 2000-02-22; 作者简介: 陈雅娟(1974~), 女, 硕士研究生.

壁和吸收边界的转换. 吸收边界条件采用 Mur 一阶吸收边界条件^[9].

2 时域仿真解

FD-TD 不但可以获得任意时刻下场分量在计算域内的空间分布情况, 还能得到域内任意一点处场的时间变化波形.

图 2 所示为参考点处的电场 E_z 随时间变化的图形, n 为时间步长.

波形的第一个负脉冲表示入射波在馈带与贴片交界处(相当于从高阻向低阻过渡)的反射, 其余的各负脉冲是贴片末端(相当于开路面)的各次反射. 它们表现出微带天线在有限的能量激励下减幅振荡的特性.

微带线中心轴线为 $(22, j, 3), 0 \leq j \leq 100$, 图 3 所示为不同时间步长时, 轴线上电场波形的分布. 由图 3 看出, 入射波向 y 轴方向传播, 符合微带贴片天线准 TEM 波的传播特性. 传输波的幅值不断减少, 符合微带贴片天线的辐射特性. 传输波在吸收边界处, 能够较好地吸收, 证明 Mur 一阶吸收边界条件能够符合时域求解的要求.

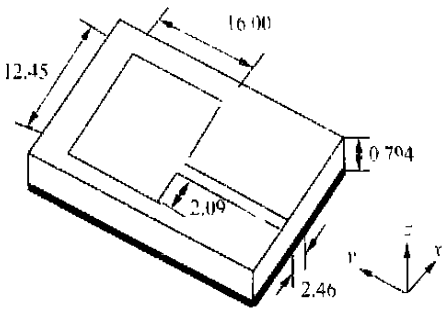


图 1 矩形微带贴片天线的结构图(单位:mm)

Fig. 1 The structure of the rectangular microstrip antenna

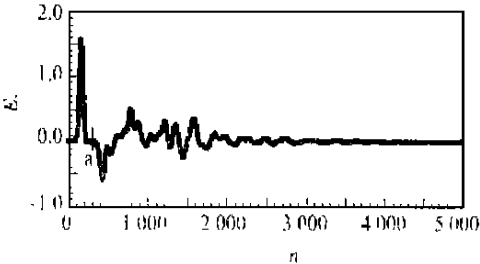


图 2 参考点 E_z 随时间的变化曲线

Fig. 2 The curve of the reference point E_z changing with the time

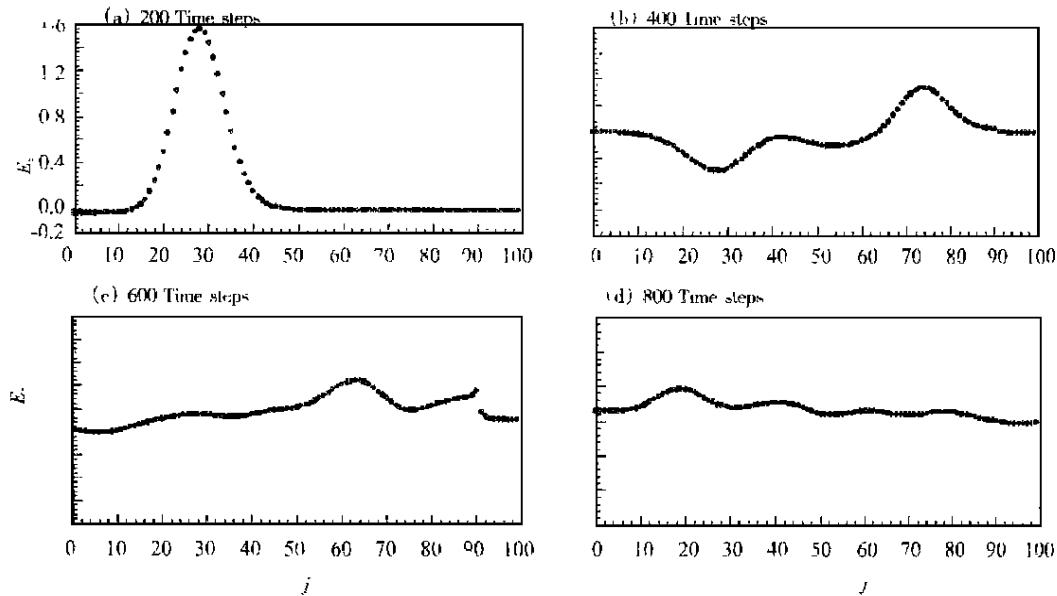


图 3 轴线电场分布图

Fig.3 The chart of the axes' electric field

3 频域仿真解

频域解是时域解通过傅氏变换得到的结果，包括计算域中任意场点谱特性和某一频率下场的空间分布。通过求工作频率下天线的近区场以及贴片表面的电流分布，可以进一步求得天线的方向图。

由图 2 所示，以点 a 为界，将原波形分割为入射脉冲 $V_i(t)$ 及反射脉冲 $V_r(t)$ 两部分，再分别进行傅氏变换，则由反射项和入射项的比值求出激励源范围内反射系数 S_{11} 的频率特性

$$S_{11}(\omega) = \frac{V_r(\omega)}{V_i(\omega)}$$

(1)

$V(t)$ 的计算取金属带下方中心处，即参考面中心线上法向电场的线积分。

图 4 所示为散射系数的计算结果，与文献 [6] 中的实验结果能够较好的吻合。低频的结果精确度较高，高频的谐振点与实验结果有一点偏移。

近区场的谱特性可以直接从时域场解变换求得，由于接地板的存在，运用镜像原理，贴片表面电流可按 $J = i_x \times 2H_t$ 得到。 H_t 为金属表面磁场切向分量，用它们上半网格点的数值表示。在得知表面电流的分布情况后，可以通过自由空间电流的格林函数

$$E(r) = -j \frac{\omega \mu}{4\pi} \frac{\exp(-jk_0 r)}{r} \iint_{s'} J(r') \frac{\exp(-jk_0 |r - r'|)}{|r - r'|} ds'$$

(2)

获得天线的远区方向图。其中， k_0 为波数， r 是原点到远区场点的位矢量， r' 是原点到 s' 表面上积分源点的矢量。在计算中可化为直角坐标进行积分，积分完后再变换成球坐标。

图 5 所示为本例中矩形微带贴片天线的方向图。

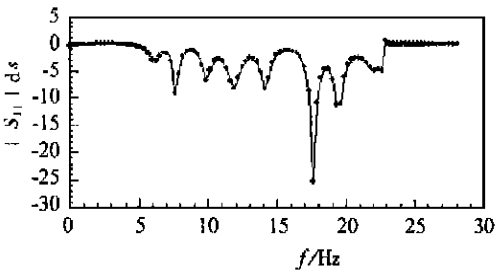


图 4 矩形微带贴片天线的 S_{11}
Fig. 4 S_{11} of the rectangular microstrip patch antenna

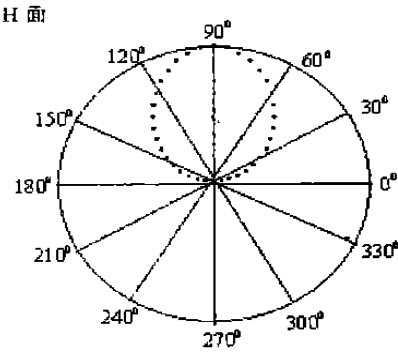
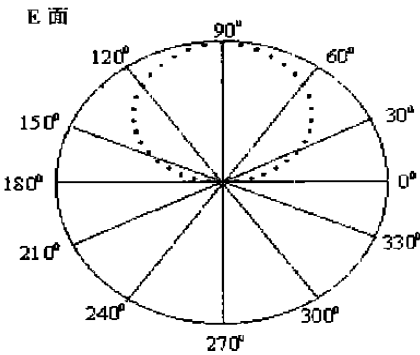


图 5 矩形微带贴片天线 E 面和 H 面辐射方向图

Fig.5 The radiating patterns in E-plane and H-plane of the rectangular microstrip patch antenna

4 结 论

宽带微带贴片天线的研究日益深入, 其应用范围也进一步拓宽. FD-TD 通过一次计算就可以得到微带贴片天线的宽频特性, 是目前用于分析微带贴片天线的行之有效的计算方法. 本文详细叙述了 FD-TD 对矩形微带贴片天线的电磁仿真. 软件仿真技术必将成为天线设计中方便、快速、有效的辅助手段.

参考文献:

- [1] 陈雅娟, 龙云亮. 宽带微带贴片天线的研究进展[J]. 电波科学学报, 1999, 14(3): 357~361.
- [2] 高庆本. 时域有限差分法[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [3] YEE K S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media [J]. IEEE Trans on AP, 1966, 14(3): 302~307.
- [4] ZHAO A P. A fast and efficient FDTD algorithm for the analysis of planar microstrip discontinuities by using a simple source excitation scheme[J]. IEEE Microwave and Guided Wave Letters, 1995, 5(10): 341~343.
- [5] MUR G. Absorbing boundary conditions for the finite-difference approximation of the time-domain electromagnetic field equations[J]. IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility, 1981, 23(4): 377~382.
- [6] SHEEN D M. Application of the three-dimensional finite-difference time-domain method to the analysis of planar microstrip circuits[J]. IEEE Trans on Microwave Theory and Techniques, 1990, 38(7): 849~857.

Electromagnetic Simulation for Rectangular Microstrip Antenna by FD-TD Method

*
CHEN Ya-juan, LONG Yun-liang

Abstract: The electromagnetic characteristics of rectangular microstrip antenna is simulated by using finite-difference time-domain (FD-TD) method. The application of the FD-TD simulation software is introduced in detail. The electromagnetic simulation results of the rectangular microstrip antenna are presented.

Keywords: FD-TD; rectangular microstrip antenna; electromagnetic simulation

* Department of Radio and Electronics, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China