

微带对数周期天线的 FDTD 分析

任 猛, 郑秋荣, 卢万铮, 曾越胜
(空军工程大学 电讯工程学院 陕西 西安 710077)

摘 要: 应用 FDTD 方法分析了一种电磁耦合微带对数周期天线的宽频带特性, 通过 FFT 得到天线的阻抗特性、反射损耗及增益等, 其结果对实际设计工作具有指导性意义。
关键词: 微带对数周期天线; FDTD; 宽频带; 电磁耦合
中图分类号: TN821+.6 文献标识码: B 文章编号: 1004-373X (2003) 09-085-03

Analysis of Microstrip Log-periodic Antenna by FDTD

REN Meng, ZHENG Qiurong, LU Wanzheng, ZENG Yuesheng
(Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, 710077, China)

Abstract: The broad-band characteristic of electromagnetically coupled microstrip log-periodic antenna is computed by FDTD. With FFT, the impedance, reflect loss and gain of this kind of antenna are acquired. The result is significative to instruct the design of antenna.
Keywords: microstrip log-periodic antenna; FDTD; broad-band; electromagnetically coupled

1 引 言

与普通微波天线相比, 微带天线因其体积小、重量轻、剖面薄, 便于实现圆极化, 易于制成与载体表面相共形的结构, 可用微带线馈电, 实现天线、馈电一体化, 适合于用印刷电路技术大批量生产而在现代无线电设备中获得了广泛地应用。但是微带天线有一个主要的缺点: 工作频带窄。为了克服这个缺点, 人们提出了许多展宽微带天线频带的途径^[1~3], 但是通过这些方法展宽的频带一般只能达到 30%~40%。P. S. Hall 于 1980 年提出微带对数周期天线^[4]并申请专利, 其后又进行了一系列的研究工作^[5~7], 证实了这种天线具有超宽频带特性, 可以实现多个倍频程的带宽。

微带天线中电磁结构复杂, 很难得出解析解, 微带对数周期天线采用多个贴片的叠层结构, 情况更加复杂。在设计中, 人们大多采用部分理论与实验手段相结合的方法, 通过多次实验性的尝试来确定天线的尺寸。这样做既浪费材料又浪费时间。如果使用某种数值计算方法来精确描述微带对数周期天线的电磁特性, 将能对实际设计工作进行有益的指导。而矩量法不适合计算对数周期天线^[8], 本文应用目前在电磁计

算领域最流行的、也是功能比较强大的电磁场数值计算方法——时域有限差分法 (FDTD)^[9,10] 分析电磁耦合微带对数周期天线, 激励源为 Gaussian 脉冲, 通过 FFT, 可求得天线的 S11、阻抗特性和增益等参数的宽频带特性。

2 计算方法

2.1 天线计算模型

电磁耦合微带对数周期天线的 FDTD 计算模型如图 1 所示。俯视图和侧视图:

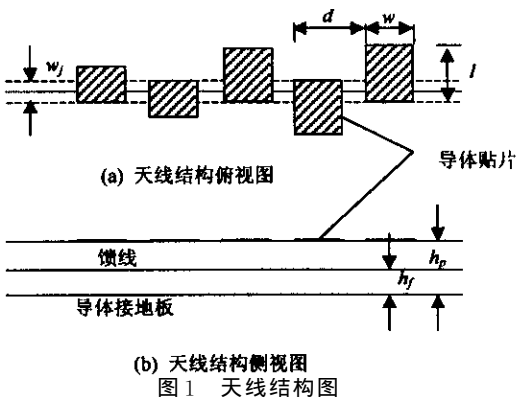


图 1 天线结构图

其中: 馈线置于上下两层介质之间, 通过电磁耦合激励贴片导体, 贴片与馈线的相对位置如图 1 (a) 所示, 实验证明^[5], 当贴片边缘与馈线边缘对齐时, 耦合最大, 这种馈电方式大多能获得宽频带的驻波比特性。各

贴片阵元的长度、宽度以及间隔沿阵列依次变化，其关系如下：

$$\frac{l_{n+1}}{l_n} = \frac{w_{n+1}}{w_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} = \text{对数周期比}$$

天线的具体尺寸参数如表1，介质基片的长宽为 $100 \times 30 \text{ mm}$ 。

表1 天线具体尺寸参数

对数周期比 τ	基片相对介电常数	阵列总单元数	馈线基片厚度 h_f/mm	贴片基片厚度 h_p/mm
1.05	2.55	9	1.0	2.0
馈线宽度 w_f/mm	最小单元间距 d_l/mm	最小贴片长度 l_l/mm	最小贴片宽度 w_l/mm	频率范围 /GHz
4.0	7.0	7.0	5.5	8~12

2.2 边界条件

这里采用的边界条件为 Taflove 边界条件^[11]和 Mei 边界条件^[12]的混合方法。

由 Mei 边界条件知，不理想的吸收边界对电场和对磁场的切向分量呈现出相反的剩余反射，因此可以将同样的吸收边界条件分别施加在电场和磁场的切向分量上，然后对其结果进行适当的加权平均，即可减小不理想边界引入的误差。

首先利用 Taflove 吸收边界条件计算 $E_z^n(M, j)$ ，然后利用正常的 FDTD 迭代公式计算 $H_y^{n+\frac{1}{2}}(M - \frac{1}{2}, j)$ 得 $H_y^{n+\frac{1}{2}(1)}(M - \frac{1}{2}, j)$ 。

其次使用同样的吸收边界条件直接计算 $H_y^{n+\frac{1}{2}}(M - \frac{1}{2}, j)$ 得 $H_y^{n+\frac{1}{2}(2)}(M - \frac{1}{2}, j)$ 。最后对二者进行加权平均：

$$H_y^{n+\frac{1}{2}}(M - \frac{1}{2}, j) = \frac{H_y^{n+\frac{1}{2}(1)}(M - \frac{1}{2}, j) + \rho H_y^{n+\frac{1}{2}(2)}(M - \frac{1}{2}, j)}{1 + \rho}$$

借上式结果重算：

$$E_z^n(M, j) = E_z^n(M - 1, j) + C_0 [H_y^{n+\frac{1}{2}}(M - \frac{1}{2}, j) - H_y^{n-\frac{1}{2}}(M - \frac{1}{2}, j)]$$

这样处理边界吸收问题清晰直观，易于编程计算。

2.3 分区处理和激励源的设置

由于这种电磁耦合微带对数周期天线结构的复杂性，在 FDTD 计算模型中包含 3 层介质（馈线介质基片、贴片介质基片、空气层），每一层中电场的表达式有所差别。激励源的设置对波是透明的，即：

$$\Psi^n(i, j, k_c) = \Psi^n(i, j, k_c) + \text{激励信号}$$

上式表明在激励点上的场值为背景场与原场线性叠加，这样既产生了所需的激励，又允许任意外向的散射波无反射地通过激励点儿传播，到达吸收边界后被吸收。这种设置模拟了一个无限远处的入射平面波和一个反射回无限远的散射波。因此，如果能对计算区域适当分区，将大大简化天线结构所带来的计算上的复杂性，使程序结构更加清晰流畅。

3 数值结果和分析

首先对计算空间进行剖分，采用均匀网格剖分技术， $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.25 \text{ mm}$ ，其中 Δx ， Δy ， Δz 分别是 x ， y ， z 方向上的空间网格长度。激励源为高斯脉冲：

$$g(t) = \exp\left[-\frac{(t - t_0)^2}{T^2}\right]$$

其中： $T = 50 \Delta t$ ， $t_0 = 120 \Delta t$ ， $\Delta t = 4.167 \times 10^{-13} \text{ s}$ ，采样点数 $N = 8192$ 。

根据 Fourier 变换理论，频率间隔 $d_f = \frac{1}{N \Delta t} = 0.29294 \text{ GHz}$ 。

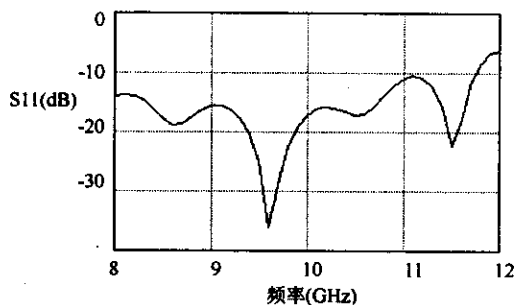


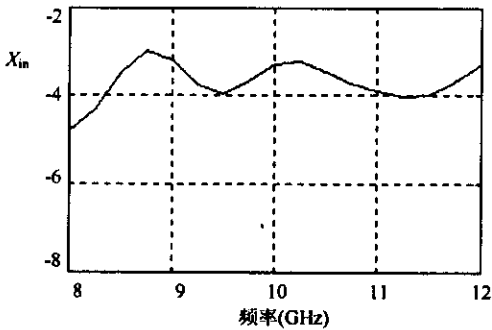
图2 天线的S11曲线

由数值结果可以判断这种天线的宽频带特性。图2中S11曲线在小于 -10.7 dB 的范围内有将近 3.7 G 的带宽，只是在高频端反射增加。天线的阻抗特性（图3）在整个计算频带内起伏不大，基本符合宽频带的要求。天线增益（图4）在所计算的17个频率点上保持 $8 \sim 12 \text{ dB}$ 的增益。天线在高频端产生不良特性的原因主要有2个：

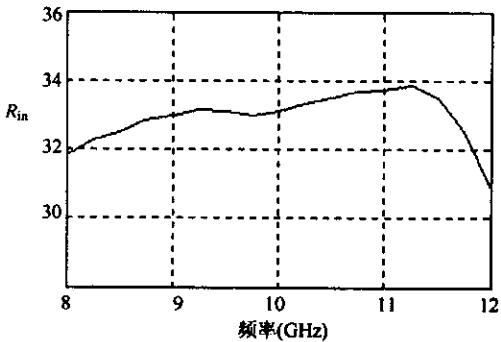
(1) 数值色散的结果，这是计算方法本身的不足之处；

(2) 计算模型与理想的微带对数周期天线之间有误差，理想的微带对数周期天线应该是所有与天线性能有关的因素都按对数周期比变化，例如介质厚度、贴片长宽和间距以及馈线宽度等；而计算模型的介质厚度是均匀的，这将使沿阵的耦合发生变化，频率升高

时波瓣发生畸变。



(a) 输入阻抗的虚部



(b) 输入阻抗的实部

图 3 天线的阻抗特性

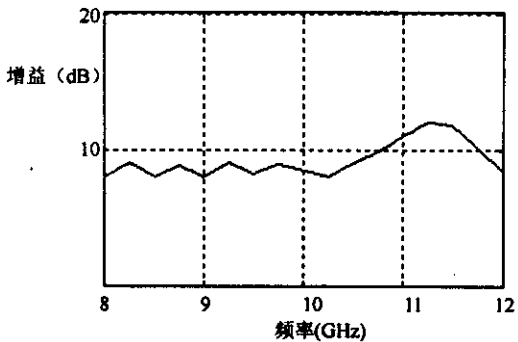


图 4 天线的增益

在实际天线制作中，通常采用分段成比例的办法去中和理想天线和模型结构。另外，在原设计基础上适当增加1~2个贴片可有效改善频带内的性能，实际中也是常常这样做的。

4 结 语

本文应用FDTD方法计算了一种电磁耦合微带对数周期天线，得到了这种天线的宽频带特性，对计算结果进行了分析并指出了存在误差的原因。这种数值结果能对实际设计工作进行有益的指导，从而能优化

天线的设计。

参 考 文 献

[1] 钟顺时. 矩形微带天线的带宽和宽频带技术[J]. 电子科学学刊, 1985, 2 (7): 212-221.

[2] Sabban A. A new broadband stacked two-layer microstrip antenna [J]. IEEE AP-S Int. Symp. Dig, 1983 (5): 63-66.

[3] Chen C H, Tulintseff A, Sorbello R M. Broad-band two-layer microstrip antenna [J]. IEEE AP-S Int. Symp. Dig, 1984, (6): 251-254.

[4] Hall P S. New wideband microstrip antenna using log-periodic technique [J]. Electron. Lett., 1980, 16 (4): 127-128.

[5] Hall P S. Multi-octave bandwidth log-periodic antenna array. IEE proc [J]. Pt. H, April, 1986, 33 (2): 127-136.

[6] Hall P S. Microstrip log-periodic antenna array with endfire beam [J]. Electron. Lett. August, 1987, 23 (7): 912-913.

[7] Hall P S. Microstrip antenna array with multi-octave bandwidth [J]. Microwave J, 1986 (3), 29: 133-138.

[8] 尹家贤, 刘克成, 等. 对数周期天线时域特性分析[J]. 电波科学学报, 2002, 17 (4): 378-380.

[9] Yee K S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media [J]. IEEE Trans on AP, 1966, 14 (5): 302-307.

[10] 葛德彪, 阎玉波. 电磁波时域有限差分方法[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.

[11] Kenneth Mei K, Jiayuan Fang. Superabsorption A method to improve absorbing boundary conditions [J]. IEEE AP, 1992, 40 (9): 1001-1010.

[12] Taflove A, Brodwin M E. Numerical solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time-development Maxwell's equations [J]. IEEE Tran on AP., 1975, 23 (8): 623-630.

作者简介 任 猛 男, 1978 年生于吉林, 现为空军工程大学电讯工程学院电磁场与微波技术专业硕士研究生。

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>