

Sierpinski毯式分形微带天线多频工作本质探讨

曹文杰 徐向民* 邢晓芬

(华南理工大学电子与信息学院, 广州 510640)

摘要 能用作手机内置天线的Sierpinski毯式分形微带天线是目前研究的热点。利用同轴线的简化模型建立了适用于同轴馈电微带天线分析的FDTD模型。为了减少时间复杂度,采用Prony算法对FDTD时域波形进行外推。最后实验探讨了Sierpinski毯式分形微带天线的多频工作本质。

关键词 Sierpinski分形结构 多频段天线 时域有限差分法 Prony

中图分类号 TN820.15; **文献标识码** A

传统的微带贴片天线要实现双频或多频工作需要使用多个辐射单元的天线,或电抗性加载贴片天线或者多频介质谐振天线,这些方法都增加了天线的复杂性^[1]。分形概念的出现,使得设计结构简单的多频工作的微带天线成为可能。一般来说具有分形结构的物体都有比例自相似性和空间填充性这两大特点,把分形的这两大特点应用到天线设计上,这两个特性则转换为天线的多频段特性和尺寸缩减特性,就可得到性能优越的新型天线。而Sierpinski毯式分形微带天线^[2]主要应用在无线和个人移动通信中,是目前的研究热点。本文主要研究了Sierpinski毯式分形微带天线的多频段工作本质。

FDTD作为一种电磁场的数值计算方法,在计算微带贴片天线的特性上具有突出优点。为了解决软件仿真中网格数受限的问题,本文建立了适用于任何同轴馈电微带天线分析的FDTD模型;为了减少时间复杂度,采用Prony算法对FDTD时域波形进行外推,探讨Sierpinski毯式分形微带天线的多频特性。

1 FDTD+Prony 建模

FDTD (Finite-Difference Time-Domain Method)

2005年8月10日收到

第一作者简介:曹文杰,男,硕士,工程师,研究方向:电磁兼容技术,电磁学数值计算。

* 通讯作者简介:徐向民(1972—),男,博士,高级工程师,研究方向:无线通信,电磁学数值计算。

是在1966年由K.S.Yee第一次提出直接将有限差分方式代替Maxell时域旋度方程中的微分式,得到关于场分量的有限差分式,用具有相同电参量的空间网格去模拟被研究物体,选取合适的场初始值和计算空间的边界条件,可以得到包括时间变量的Maxell方程的四维数值解。

在Yee氏网格中,电场和磁场各分量在空间的取值点被交叉放置,每个网格点上的电场(或磁场)仅与它相邻的四个磁场(或电场)分量及上一时间步该点的场值有关,通过时间迭代,可以模拟出收敛情况下的天线参量^[3]。

1.1 同轴线简化模型

同轴线的FDTD模拟一般采用阶梯剖分的方法,或在同轴线区域采用圆柱坐标,在其它区域采用直角坐标,通过网格重叠的过渡区域进行数据的交换,达到区域融合的目的。但这些方法都增加了计算的复杂性。为了简化计算模型,使天线区域和同轴线区域合二为一,本文采用了同轴线的简化模型——矩形同轴体^[4]。矩形同轴体如图1所示,用4个网格(2×2)来模拟内导体,用36个网格(6×6)来模拟外导体。同轴线内参考面Z0处的电压U就等于电场沿内导体到外导体的路径积分,电流I则等于内导体外推半个网格的磁场的环路积分。在此简化模型中,U和I的计算公式如式(1)。另外,为了满足同轴线的特性阻抗等于50 Ω,在同轴线中填充介电常数为1.212的媒质。

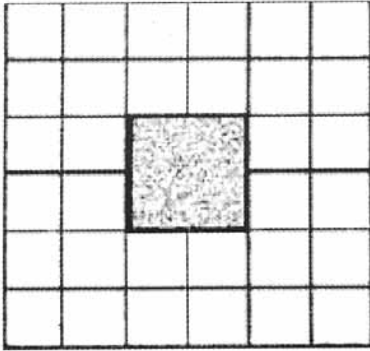


图1 同轴线矩形网格图

$$\begin{cases} U = \int_l E(x, y, z_0) dl \\ I = \oint_c H(x, y, z_0) dp \end{cases} \quad (1)$$

本文采用时间上比较平滑、频谱宽度比较容易设定的高斯脉冲作为激励源,使用Mur一阶吸收边界条件^[5],当电压和电流达到收敛后,对其进行离散傅立叶变换,就可以得到输入阻抗和天线的反射系数。

1.2 适用于 FDTD 波形外推的 Prony 算法

Prony^[6]算法是用 n 个指数项的指数曲线来拟合 $2n$ 个数据样本,当数据样本个数大于 $2n$ 时,是在最小二乘意义下实现的。

Prony模型是由 n 个具有任意振幅、相位、频率和衰减因子的指数函数的组合,样本数为 N 。令

$$y(kT) = \sum_{i=1}^n B_i z_i^k \quad (k=0, 1, 2, \dots, N-1) \quad (2)$$

Prony算法的缺点是对噪声敏感,为了使Prony算法适用于FDTD时域波形外推,需去掉幅度相对较大的第一个回合波。在FDTD迭代过程中,时域波形是一个严格衰减并趋于零的过程,因此,Prony外推算法拟合出来的指数函数的衰减因子必须全部为负。为了保证所有的衰减因子为负,需去掉衰减因子大于或等于零的复函数。

2 Sierpinski 毯式分形微带天线的结构

分形的比例自相似性,即其局部与整体、局部与局部之间存在形式自相似性,在尺寸上具有一定的比例关系,使得分形天线具有多频段特性。本文

研究的Sierpinski毯式分形微带天线,为了满足3倍的谐振关系及几何结构的对称性,本文采用的标度因子为1/3,即每次迭代过程取各自剩余部分的1/3,理想的分形结构可以进行无数次迭代,Sierpinski毯式分形结构如图2所示。其中,中心贴片也称为主贴片,利用同轴线进行馈电,工作于主模;第二、第三层贴片也称为寄生贴片,利用电磁耦合进行馈电。

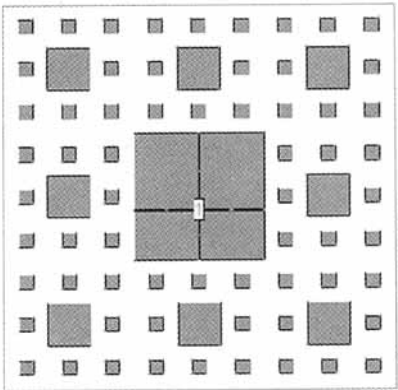


图2 Sierpinski毯式分形微带天线

3 结果分析

本文研究的Sierpinski毯式分形微带天线的工作主频为2.4 GHz,主贴片尺寸为29.7 mm×29.7 mm,选用相对介电常数 $\epsilon_r=4.2$ 的FR4材料做基板,厚度 $h=1$ mm。馈点距离主贴片中心6.6 mm。本文对0阶、1阶和2阶Sierpinski毯式分形微带天线进行了FDTD+Prony仿真分析,反射系数S11对比图如图3所示。

而根据腔模理论^[7],传统的方形微带天线的谱

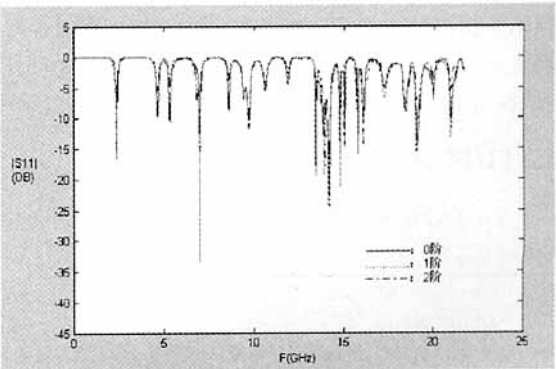


图3 0阶、1阶和2阶的反射系数对比图

振频率由下列公式求出:

$$f_m(\text{GHz}) = \frac{150}{a\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \sqrt{m^2 + n^2} \quad (3)$$

其中

$$\epsilon_{\text{eff}}(w) = \frac{1}{2} \left[\epsilon_r + 1 + (\epsilon_r - 1) \left(1 + \frac{10h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} \right] \quad (4)$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = \begin{cases} \epsilon_{\text{eff}}(w), m=0 \text{ 或 } n=0 \\ \epsilon_{\text{eff}}^2(w)/\epsilon_r, \text{ 其它} \end{cases} \quad (5)$$

$$a = w + 2|\Delta w| \quad (6)$$

$$|\Delta w| = \frac{0.412h\epsilon_{\text{eff}}(w) + 0.3w/h + 0.264}{\epsilon_{\text{eff}}(w) - 0.258w/h + 0.8} \quad (7)$$

式中 w, a, h 分别为方形微带天线中方形贴片的宽度、方形贴片的等效宽度和介质的厚度。 m 和 n 为非负整数。我们根据(3)式可以计算出0阶Sierpinski毯式分形微带天线的谐振频点为2.38、3.43、4.76、5.43、7.14、7.68、8.75、9.52、10.01、10.30、11.90、12.14、12.38、13.08、13.74、14.16、14.29、14.77、15.36、15.55、16.29、16.67、17.17、17.51、17.68、18.50、18.97、19.05、19.21、19.58、20.03、20.61、20.75和21.43 GHz。由图3读出0阶Sierpinski毯式分形微带天线,即普通的方形微带天线的谐振频点为2.38、4.67、5.33、6.98、8.57、9.36、9.67、10.60、11.83、13.32、13.78、14.10、14.78、15.00、15.29、16.04、17.26、18.37、19.00、19.68、19.91和20.92 GHz。对比仿真结果和腔模理论计算的结果发现,仿真所得的谐振频点都包括在腔模理论所预估的频率点之中,验证了本文FDTD+Prony模型的有效性和可取性。本文建立的FDTD+Prony模型适用于同轴馈电的任何复杂微带天线的仿真建模,相对与IE3D、HFSS、Microwave office等仿真软件,解决了它

们网格数受限的问题。

由图3看出0阶、1阶和2阶Sierpinski毯式分形微带天线的谐振频点基本吻合,DB数稍有偏差,寄生贴片增加了相应谐振点的反射系数大小。由此,我们可以得出Sierpinski毯式分形微带天线多频工作的本质。

(1)标度因子为1/3的Sierpinski毯式分形微带天线的多频工作特性不是由分形结构所引起,起主要作用的是主贴片。

(2)寄生贴片产生的影响主要体现在谐振频点的反射系数大小。

参 考 文 献

- 1 刘英,龚书喜,傅德民. 用于多频通信的微带分形贴片天线. 微波学报, 2001; 17(4): 76—79
- 2 Hara Prasad R V, Purushottam Y, Misra V C, *et al.* Microstrip fractal patch antenna for multiband communication. Electronics Letters, 2000; 36(14): 1179—1180
- 3 庞敏, 金吉成, 钟先信. MEMS层叠式微带贴片天线的FDTD分析. 微电子学, 2002, 32(6): 423—430
- 4 张文海, 钟顺时, 张需博. E型宽带微带天线的时域有限差分法分析. 上海大学学报, 2003; 9(2): 105—108
- 5 Sheen D M, Ali S M, Abouzahra M D, *et al.* Application of the three-dimensional finite-difference time-domain method to the analysis of planar microstrip circuits. Microwave Theory and Techniques, 1990; 38(7): 849—857
- 6 李伟. 调速侧电力系统稳定器实用化方法研究. 华北电力大学硕士学位论文. 2003: 22—32
- 7 Du Zhengwei, Gong Ke, Fu J S, Gao Baoxin. Analysis of microstrip fractal patch antenna for multi-band communication by FDTD. Electronics Letters, 2001; 37(13): 805—806

The Multiband Essence Discusses of the Sierpinski Carpet Fractal Microstrip Antenna

CAO Wenjie, XU Xiangmin, XING Xiaofen

(Electricity and Information Department, SCUT, Guangzhou 510640)

[Abstract] Sierpinski carpet fractal microstrip antenna is the research hotspot, which can be used as inner antenna of mobile telephone. The FDTD model of the coaxial probe-fed microstrip antennas is sets up using a simplified model of coaxial line. In order to reduce time complexity, Prony method is used to extrapolate time domain wave of FDTD. The experiment discusses the multiband essence of Sierpinski carpet fractal microstrip antenna.

[Key words] Sierpinski fractal structure multiband antenna finite-difference time-domain Prony

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 门视频培训课程和 1 本图书教材, 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 软件设计进行天线设计...

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>