

一种顶部加载型 Sierpinski 垫片天线的分析

肖光国，朱守正

(华东师范大学 信息学院 无线电物理, 上海 200062)

摘要: 将分形几何应用于天线设计可以产生具有多频段或小型化特征的分形天线。传统的多频段分形天线 Sierpinski 垫片天线由于是有限次迭代生成的, 它存在截取效应低端谐振频率比值几乎是其几何相似性因子的两倍, 从而限制了其实际应用。本文针对一种小型化的加载型 Sierpinski 垫片天线进行了有效的研究, 证实了加载对降低天线高端谐振频率的有效性, 同时分析了结构参数对其工作频段的影响并提出了增大天线张角的方式以进一步小型化天线。

关键词: Sierpinski 垫片天线; 多频段天线; 加载天线; 小型化

中图分类号: TN821⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-8329(2007)02-0025-04

Analysis of a Top-loaded Sierpinski Gasket Antenna

XIAO Guang-guo, ZHU Shou-zheng

(East China Normal University, Radio Physics, Shanghai 200062, China)

Abstract: Fractal geometry can be applied to antenna design to achieve multi-band or miniaturized fractal antennas. Traditional multi-band fractal antenna-Sierpinski gasket antenna can be obtained through a finite number of iteration with a result of truncation effect, leading to a ratio of lower resonant frequencies almost twice of its geometry similarity factor, which limits its practical application. A miniaturized loading Sierpinski gasket monopole antenna is investigated effectively in this paper to verify the availability of the loading element. Meanwhile, the effect of the geometry parameters on the working bands of the antenna is analyzed, and a new method of increasing the flare angle is proposed to miniaturize the antenna.

Key words: Sierpinski gasket antenna; multi-band antenna; loaded antenna; miniaturization

1 引言

分形天线是一种新型天线, 它将分形几何应用到天线的设计中, 完全不同于传统意义上的欧氏几何天线。分形结构内在的自相似特性可以转变为分

形天线的多频段特征, 典型的如 Sierpinski 垫片天线, 其空间自填充性则可以转变为天线的小型化特征, 如 Koch 分形天线。第一种多频段分形天线 Sierpinski 垫片单极子天线是由 C. Puente 首次提出的^[1], 其几何相似因子为 2, 结果发现分形结构的自相似特性可以转化为分形天线的多频段电磁工作

* 基金项目: 国家自然科学基金(60571064)及天线和微波国家重点实验室(514370201)资助。

作者简介: 肖光国, 男, 1982年出生, 江西峡江县人, 华东师范大学无线电物理专业在读硕士研究生。研究方向为无线技术和无线通信, 目前主要从事 MEMS 可重构分形天线的研究。

特性。然而实际制作的传统的 Sierpinski 垫片天线不可能是数学意义上无穷次迭代的产物而是经有限次迭代生成的,它本身存在截取效应,虽然高端谐振频率之比接近于几何相似因子,但低端的谐振频率的比值却远远大于其几何相似因子,大约是 3.5^[1,2]。此后针对分形天线的多频段应用人们展开了大量的研究,包括几何相似因子不为 2 的自仿射 Sierpinski 垫片天线,而且分析了不同馈电方式对天线性能的影响,但是低端谐振频率之比还是维持在 3.5 左右^[3,4]。这说明传统的 Sierpinski 垫片天线的低端谐振频率之比是不可控的,这极大地限制了 Sierpinski 垫片天线的多频段应用,特别是当要利用其高端谐振点时,因为此时会造成一个比较大的天线系统。因此扰动传统的 Sierpinski 垫片天线结构以获得小型化多频段性能就成为了一个新的研究热点。

本文针对一种小型化多频段的加载型 Sierpinski 垫片天线进行了有效的研究,证实了加载对降低天线高端谐振频率的有效性,同时分析了结构参数对其工作频段的影响并提出了增大天线张角的方式以进一步小型化天线但不会改变天线的多频段工作特性。

2 顶部加载型 Sierpinski 垫片单极子天线结构

本文所要分析的顶部加载式 Sierpinski 垫片单极子天线结构如图 1(b)所示^[5],相似的天线结构在 [5]中出现过,它采用同轴馈电,虽然也呈现出多频段工作特性,但却需要添加一个微带匹配网络增加了天线的复杂度。而这里将直接采用微带线馈电,从后面的讨论结果可以看到在不需要任何匹配电路的情况下天线就可工作在三个频段。加载式天线张角为 60°,总高度 h 为 18.2mm,底部为高度为 h_1 ($h_1 = 12\text{mm}$)的一阶 Sierpinski 垫片而顶部是宽度为 0.15mm 的加载线元。出于比较目的这里还列出了一个等高的传统二阶 Sierpinski 垫片天线,其形成过程就是连续两次在等边三角形中去掉一个倒立的缩放因子为 1/2 的三角形,如图 1(a)所示。上述天线以及后面将要研究的天线全都印制在厚度为 0.2mm,长宽分别为 108.7mm 和 46.6mm 的 Rogers RO4003 介质基底上(介电常数为 3.38,损耗角正切为 0.0027),并且全部采用长度为 88.7mm 的微带线

在天线底端馈电,微带线的宽度设计成具有 50 Ω 的特征阻抗。

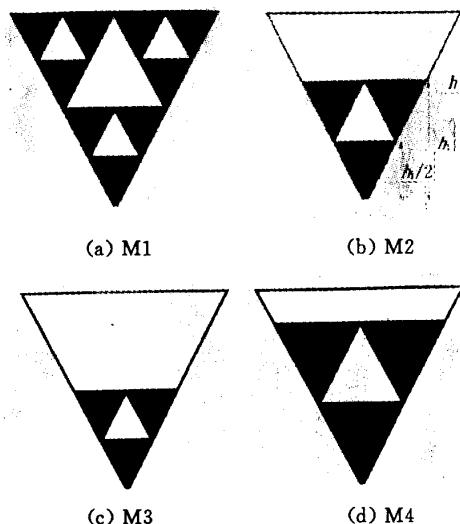


图 1 天线结构图,张角为 60°

图 1(a)为传统二阶 Sierpinski 垫片天线,图 1(b)为加载型 Sierpinski 垫片天线, $h = 18.2\text{mm}$,底部的一阶 Sierpinski 垫片高度 $h_1 = 12\text{mm}$,图 1(c)为加载型 Sierpinski 垫片天线, $h_1 = 9\text{mm}$,图 1(d)为加载型 Sierpinski 垫片天线, $h_1 = 15\text{mm}$ 。

3 一阶 Sierpinski 垫片高度对加载天线性能的影响

将天线 M2 底部一阶 Sierpinski 垫片的高度由原来的 12mm 改为 9mm 和 15mm,如图 1(c)和(d)所示,天线总高度保持不变。出于简化天线上的所有导体都假定为厚度为零的理想导体并采用 Ansoft 公司的三维全波高频电磁场仿真软件 HFSS 对图 1 中的四个天线进行计算,仿真得到的输入回波损耗(S11)如图 2 所示,天线的所有谐振频率都归纳在表 1 中。从图 2 中可以看到所有加载式天线都有三个谐振点,虽然只能观察到二阶 Sierpinski 垫片天线低端的两个谐振频率,但其第三谐振点经过计算也总结在表 1 中。观察表 1 可以发现所有天线的第一谐振点几乎相同,大约为 2.4GHz,这说明由于天线的总高度保持不变,加载的方法是不能用来降低天线的第一谐振点的。对这些天线而言,周长约为 63.5mm,稍大于半波长 62.5mm,与文献[2]、[6]中天线周长稍大于第一谐振点半波长的结论极其一

致。从第二个谐振点开始,情况发生了变化,加载式天线明显比传统二阶 Sierpinski 垫片天线的谐振频率要低,传统二阶 Sierpinski 垫片天线由于截取效应的存在其低端谐振频率比值 f_2/f_1 已达到 3.91,远远高于其几何相似性因子 2,而所有加载式天线该比值只是稍大于该几何相似因子。随着 h_1 的增大加载式天线的第二个谐振频率有所下降但并没有明显地变化,这至少说明加载式天线的第二个谐振频率并不能简单地和底部一阶 Sierpinski 垫片的高度 h_1 相对应,从而也说明正是加载这种方式促成了天线第二个谐振频率的降低。传统的 Sierpinski 垫片天线高端谐振频率之比 f_3/f_2 几乎等于其几何相似因子 2,而加载式天线不管底部一阶 Sierpinski 垫片高度如何该值约为 1.8,比几何相似性因子还小,可进一步小型化天线。加载式天线的第三谐振点没有随着 h_1 增大而继续下降,可见加载元和一阶 Sierpinski 垫片相互作用会影响到天线的高端谐振频率与一阶 Sierpinski 垫片的对应性。另外虽然加载式天线在结构上已失去了自相似性,但其各个谐振点处的辐射方向图却极其相似,而且不同加载结构天线间也有相似的辐射特性,由于这不是本文所要讨论的重点,不作详细探讨。

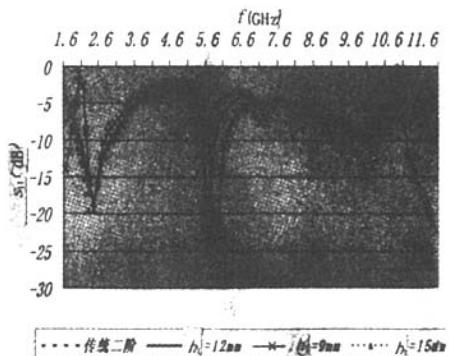


图 2 天线输入回波损耗(天线张角为 60°)

表 1 天线张角为 60°时天线的谐振频率

	M1	M2	M3	M4
f_1 (GHz)	2.3	2.4	2.4	2.4
f_2 (GHz)	9.0	5.6	5.8	5.5
f_3 (GHz)	17.9	10.2	10.0	10.1
f_2/f_1	3.91	2.33	2.42	2.29
f_3/f_2	1.99	1.82	1.72	1.84

4 天线张角对加载天线性能的影响

将图 1 中的四个天线的张角改为 90°并进行分析,天线高度等其它参数不变,如图 3 所示。天线同样采用 HFSS 仿真,结果如图 4 所示,表 2 总结了各天线的谐振频率。当天线张角增大为 90°时所有天线的第一谐振点也近似相同但都有所降低,这是因为电流主要集中在天线两侧窄的金属条带上^[2],当张角增大时,条带的长度会相应增大从而延伸了电流的有效路径长度。传统二阶 Sierpinski 垫片天线的 f_2/f_1 已下降至 3.27,低于一般的 3.5。加载对降低天线高端谐振频率的有效性在这里同样可以观察到,另外与张角为 60°的情况相比加载式天线低端谐振频率之比 f_2/f_1 稍有下降并更加接近于几何相似性因子 2,从而有更低的高端谐振点。 h_1 增大,天线的第二个谐振频率有所下降,但影响还是不大,同样我们可以看到加载式天线的第三谐振点下降幅度也很大。值得注意的是,当 h_1 增大为 15mm 时 f_3 突然增大(对张角为 90° 而言), f_3/f_2 也突然增至 2.56,这说明当张角和一阶 Sierpinski 垫片的高度足够大时,高端频率电流不再是简单地沿着天线两侧流动而倾向于朝多个方向流动,这样在经过比较短的路径后能量就全部辐射出去了。作为补充对天线张角为 30° 的情况也进行了研究,取 $h_1 = 12\text{mm}$,与张角为 60° 的情况相比,第一谐振点升至 2.8GHz 左右,第二谐振点已达到 8.2GHz, f_2/f_1 相应地增大为 2.93,这说明加载式天线如果采用小的张角加载是不能有效地降低天线的谐振频率的,只有大的张角才能用来实现低的高端谐振频率和天线的小型化。

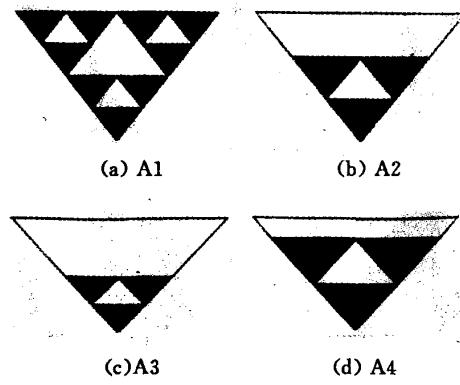


图 3 张角为 90° 时天线结构图

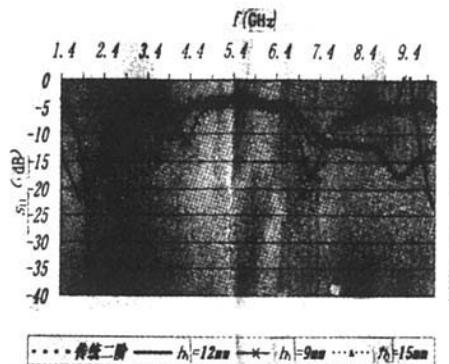


图 4 天线输入回波损耗,天线张角为90°

表 2 天线张角为90°时天线的谐振频率

	A1	A2	A3	A4
f_1 (GHz)	2.2	1.8	2.0	2.1
f_2 (GHz)	7.2	3.9	4.2	3.6
f_3 (GHz)	14.2	7.2	7.1	9.2
f_2/f_1	3.27	2.17	2.10	1.71
f_3/f_2	1.97	1.85	1.69	2.56

5 结语

分形天线作为一种新型的天线有着极大的研究价值和应用价值,国外针对分形天线已进行了大量的研究,其中有美国的 Fractal Antenna Systems 公司和西班牙的 UPC 大学以及 Fractus 公司。本文分析了一种加载型 Sierpinski 垫片天线,证实了加载对降低天线高端谐振频率的有效性,分析了结构参数对其工作频段的影响并提出采用增大天线张角的方式以进一步小型化天线,同时天线的多频段工作

特性没有受到任何影响,这个在通信设备要求日益小型化的今天显得尤为重要。

参考文献

- [1] C. Puente , J. Romeu , R. Pous , X. Garcia, and F. Benitez. Fractal multi-band antenna based on sierpinski gasket[J]. Electron. Lett. , vol. 32, pp. 1–2, Jan. 1996.
- [2] C. Puente , J. Romeu , R. Pous , and A. Cardama. On the behavior of the sierpinski multi-band fractal antenna[J]. IEEE Trans. Antennas Propagat. , vol. 46, pp. 517—524, Apr. 1998.
- [3] C. Puente , J. Romeu , R. Bartolome, and R. Pous. Perturbation of the sierpinski antenna to allocate operating bands[J]. Electron. Lett. , vol. 32, pp. 2186—2188, Nov. 1996.
- [4] C. T. P. Song , P. S. Hall, H. Ghafouri-Siraz. Sierpinski monopole antenna with controlled band spacing and input impedance[J]. Electron. Lett. , vol. 35, pp. 1036—1037, June. 1999.
- [5] Soler, J.; Romeu, J.. Dual-band Sierpinski fractal monopole antenna[A]. Antennas and Propagation Society International Symposium, 2000 [C]. IEEE. Volume 3, 16—21 July 2000 Page(s): 1712 — 1715 vol. 3.
- [6] George F. Tsachiris, Constantine F. Soras, Manos P. Karaboiakis, and Vassilios T. Makios. Analysis of a modified sierpinski gasket monopole antenna printed on dual band wireless devices [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat. , vol. 52, No. 10, pp. 2571 — 2578, Oct. 2004.

(收稿日期:2007-02-12)

请直接向本编辑部索取订单!

电话:029—85752097。

传真:029—85391720。



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)，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>