

正方形嵌套分形多频印刷对称振子天线

林澍^{1,2}, 蔡润南², 黄冠龙², 张雪莹²

(1. 哈尔滨工业大学 电子科学与技术博士后科研流动站, 黑龙江 哈尔滨 150080;
2. 哈尔滨工业大学 电子与信息工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要:设计了一类具有正方形嵌套结构的新型分形多频对称振子天线。振子由一系列相似的正方形单元嵌套组成。天线能够同时工作于多个频率,这些频率涵盖了 WLAN 系统所要求的 2.4 GHz/5.2 GHz/5.8 GHz 三个频率,采用三维电磁仿真软件 CST MWS® 软件进行了仿真研究,得到了平衡微带线馈电的对称振子天线的模型。制作了天线实物并进行测试,实验结果与仿真结果吻合较好,验证了设计思路的正确性,该类天线还具有较小的尺寸,且设计思路易于推广到其他形式的嵌套结构中,在多频天线领域具有广泛的应用。

关键词:多频天线;分形天线;印刷天线;平衡微带线;嵌套结构

中图分类号: TN828.6

文献标识码: A

文章编号: 0258-7998(2011)11-0128-03

Multiband printed dipole antenna with square-nested fractal

Lin Shu^{1,2}, Cai Runnan², Huang Guanlong², Zhang Xueying²

(1. Electronic Science and Technology Post-doctoral Research Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China
2. School of Electronics and Information Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: A kind of novel multiband dipole antenna with square-nested fractal are proposed and designed, which are nested with a series of similar square elements. The antenna can synchronously operate in multiple frequencies, covering the three required frequencies, 2.4 GHz/5.2 GHz/5.8 GHz, for WLAN application. The antenna is simulated by CST MWS®, a 3-dimension full-wave electromagnetic simulator, then model of the proposed antenna fed by balanced microstripline has been obtained. Finally, prototype of the antenna has been manufactured and measured in anechoic chamber. The results well match the simulated, which verifies the feasibility of design idea. Moreover, these antennas are miniature and the design idea can be easily applied into other types of nested structure, the features of which make the proposed antennas have promising application in multiband fields.

Key words: multiband antenna; fractal antenna; printed antenna; balanced microstripline; nested structure

随着无线通信技术的发展,信道容量不断扩充,传输速率不断提高,不同的运行体制之间越来越相互兼容,服务方式也越发灵活,使无线通信的工作频段一再上拓。从 GSM900/1800 到 CDMA、GPRS 及 2.4 GHz 的蓝牙通信系统以及 2.4 GHz/5.2 GHz/5.8 GHz 的 WLAN 系统,这些不同系统之间的互联互通就需要多频天线。连同对设备的小型化集成化的要求,于是提出了对小尺寸、多频带、集成化天线的迫切需求。

当前的研究表明,实现天线多频特性的方法主要包括多单元谐振^[1]、槽缝^[2]及探针加载^[3]、分形^[4]等,其中分形作为实现多频特性的新方法越来越受到人们的关注,

多频分形天线以其小型化、易制作等优势逐渐被广泛提出和应用,近年来比较典型的分形天线有 Sierpinski 分形天线、树状分形天线、矩形自相似天线等。

本文设计出一类具有正方形嵌套结构的多频天线,为平衡微带线馈电的双面印刷的对称振子天线,制作了印刷多频天线实物并对其进行测量。通过对实验结果与仿真结果的比较分析,证明该多频天线设计思路是正确的。将该天线与已有的多频天线进行比较,说明正方形嵌套天线具有小型化的特点,可以广泛地应用在多频通信系统中。

1 天线设计

1.1 天线结构

正方形嵌套分形天线由多环分形天线^[1]演化而来，其辐射单元由多个正方形的环嵌套得到，由此得到了新型正方形嵌套天线，如图 1 所示。两种天线均可视为将正方形或者圆形的金属片掏空形成金属环，然后由大到小依次嵌套而得到。以此为基础，就可以进行正方形嵌套对称振子天线的设计，如图 2 所示。图 2 中的方案包括两部分，一是辐射部分即两个正方形嵌套振子，二是馈电部分即平衡微带线，采用这种馈电方式解决了对称振子的平衡馈电问题。天线为双面印刷电路板形式，深色部分为导体，介质材料为厚度为 1.5 mm 的 FR4 介质材料，其相对介电常数为 4.4。

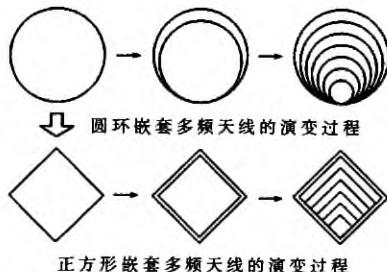


图 1 正方形嵌套分形天线的演变过程

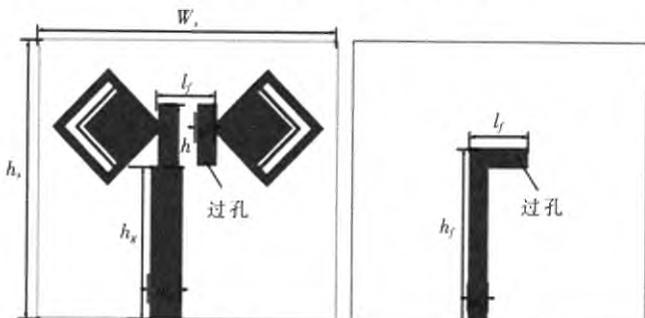


图 2 正方形嵌套对称振子印刷天线结构图

1.2 天线馈电结构特点

一般测试馈电采用的 SMA 接头是同轴线形式，是一种非平衡的馈电结构，对于对称振子而言需要平衡馈电，平衡微带线^[5]是一种平衡结构的传输线，已经广泛应用于印刷型的对称振子馈电中，参考文献[6]中的馈电结构引入了分流式平衡器，这种方法会使天线的带宽变窄，不适用于超宽带和多频天线的馈电。本文提出的同轴线-准微带线-平衡微带线馈电方法解决了这一问题。如图 3 所示，准微带线的宽度与其地板宽度相差不大，而平衡微带线则是由两个宽度相同的金属带条正对着印刷在介质板的两侧。通过准微带线的过渡，与对称振子的两极相连的传输线为平衡微带线，从而使馈电达到了平衡。印刷型的对称振子多数情况下印刷在介质板的两侧，这会引起对称振子两极不共轴，破坏方向图的对称性，为防止这一情况出现，将对称振子的两极印刷

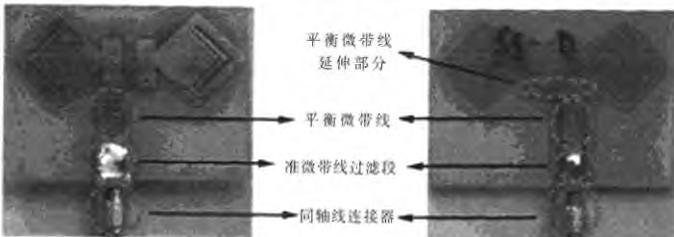


图 3 正方形嵌套对称振子天线的馈电结构

在介质板的同侧，一极与同侧的平衡微带线的一支直接相连，另一极与印刷在介质板另一侧的平衡微带线的另一支通过延长段和金属化的过孔相连，由于两个振子馈电顶点的距离较近，并且介质板很薄，所以延长段和金属过孔并不能引入较大的附加相移和阻抗变化，这时对称振子的两极电位是等幅反相的。

2 天线仿真与实验结果

这种天线最终的辐射单元为三个正方形嵌套单元，将实现三频特性。通过仿真获得的天线尺寸为： $l_1=12 \text{ mm}$ ， $l_2=9.2 \text{ mm}$ ， $l_3=8.2 \text{ mm}$ ， $l_4=7.6 \text{ mm}$ ， $l_5=7.3 \text{ mm}$ ， $w_g=5 \text{ mm}$ ， $h_g=22 \text{ mm}$ ， $w_i=45 \text{ mm}$ ， $h_i=40 \text{ mm}$ ， $w=3 \text{ mm}$ ， $h=9 \text{ mm}$ ， $h_f=25 \text{ mm}$ ， $w_f=3 \text{ mm}$ ， $l_f=9 \text{ mm}$ 。其中 $l_1 \sim l_5$ 分别为由外至内嵌套正方形的边长，根据以上参数制作了天线实物。天线的仿真与实测结果列于图 4 中，仿真得到的天线工作频带分别为：2.29 GHz~2.71 GHz、5.12 GHz~5.25 GHz 和 5.75 GHz~5.97 GHz，相对带宽分别为：16.8%，2.5% 和 3.75%，实测的天线工作频带为：2.37 GHz~2.76 GHz 和 4.99 GHz~6.21 GHz，相对带宽为 15.2% 和 21.8%，从图中还可以看出，天线在 H 面辐射方向近似全向，仿真与实测结果相吻合。

由于实际天线介质材料和实验条件的影响，测试所得到的反射系数与仿真结果还会有一定的差异，因为测试所得的反射系数的降低，导致了以 5.2 GHz 和 5.8 GHz 为中心频点的工作频带合并，结果使 4.99 GHz~6.21 GHz 范围内的反射系数均低于 -10 dB，但还是可以从图 4(a)中看出这一频率范围内出现了两个谐振频率，出现这一问题的原因是由于介质板的损耗导致的，由于本文所采用的介质材料为 FR4 基板，这种材料的损耗正切为 10^{-2} 数量级，与常用的 Rogers 材料的损耗正切 10^{-3} 量级相比，属于损耗较大的介质材料，所以在辐射体输入端反射的通过馈线传输到馈电端口的功率降低，使反射系数降低，即主要是由馈线的介质损耗造成了反射系数降低；另外，有耗介质材料必然具有色散特性，频率越高色散特性越明显，实际的介质材料还具有不均匀性，在实验中 SMA 接头和天线馈线的焊接处的不连续性也会影响到反射系数，上述三个方面的共同作用就会造成实测的反射系数对应的谐振频率与仿真值有偏差的问题。

介质损耗和实验条件还会影响方向图的测试结果，具体体现在介质的不均匀性会导致天线方向图的不对

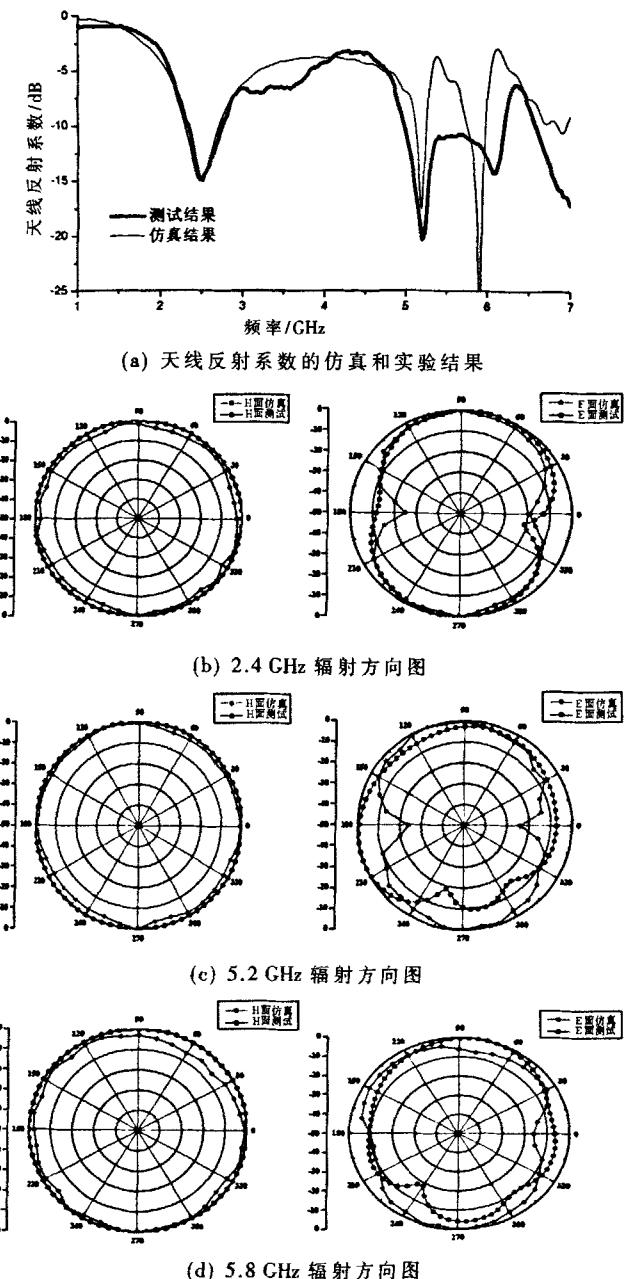


图 4 正方形嵌套分形对称振子天线的仿真与实验结果

称,位于天线底端的测试夹具会影响到天线 E 面和 H 面方向图的测试结果。但是对于本文所提出的天线来说,H 面的全向辐射特性是最重要的。测试结果表明,双极天线的 H 面不圆度均不超过 5 dB,这个结果是可以被接受的,尤其是在近距离无线传输的应用领域。

测试结果还表明,FR-4 介质材料在频率低于 4 GHz 的频率范围是可以获得和理想情况下的仿真结果类似的性能,当频率过高时,其性能将有较大下降,但在短距离无线传输的应用领域是可以满足天线实际要求的。

所设计的天线为水平极化的印刷型的平面天线,天线辐射体的最大尺寸与最低工作频率所对应的波长的比值 K 仅为 0.134,与表 1 中所列举的参考文献[2]设计

表 1 多频天线性能的比较

天线种类	天线工作频带/GHz	K 值	H 面方向图不圆度/dB
正方形嵌套分形	2.37 GHz~2.76 GHz	0.134	5
对称振子天线	4.99 GHz~6.21 GHz		
参考文献[2]中的天线	2.2 GHz~2.7 GHz 3.07 GHz~3.86 GHz 5.13 GHz~6.23 GHz	0.293	7

的全向多频天线相比,具有显著的小型化的特点,并且由于采用了平衡微带线这种印刷型传输线进行馈电,可以更容易地与通信系统进行集成,在 WLAN 领域将有着广泛的应用。

设计了一类新型正方形嵌套天线,该天线由不同大小的正方形环嵌套得到。通过 CST MICROWAVE STUDIO® 进行仿真研究,设计出了具有多个工作频带的采用平衡微带线馈电的嵌套正方形对称振子印刷天线,它的工作频带涵盖了 WLAN 系统所要求的 2.4 GHz/5.2 GHz/5.8 GHz 三个频率。制作了天线实物进行测试,天线实测结果与仿真吻合较好,而且在主极化方向上的尺寸较小,易于集成,可广泛应用于 WLAN 系统中。

参考文献

- [1] SONG C T P, HALL P S, SHIRAZ H G. Multiband multiple ring monopole antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2003, 51(4):722~729.
- [2] LI F, REN L S, ZHAO G, et al. A compact microstrip-line-fed slot antenna with dual band-notched characteristics for WLAN/WiMAX applications. *Progress In Electromagnetics Research Letters*, 2010, 16:89~97.
- [3] SHINGH A K, MESHRAM M K. Shorting pin loaded dual-band compact rectangular microstrip antenna. *International Journal of Electronics*, 2007, 94(3):237~250.
- [4] KRISHNA D D, GOPIKRISHNA M, ANANDAN C K, et al. CPW-fed koch fractal slot antenna for WLAN/WiMAX applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2008, 7:389~392.
- [5] SIMONS R N, LEE R Q, PERL T D. Non-planar linearly tapered slot antenna with balanced micro-strip feed[C]. *IEEE AP-S*, 1992:2109~2112.
- [6] KOUZAKI T, KIMOTO K, KUBOTA S, et al. Quasi yagi-uda antenna array for detecting targets in a dielectric substrate. *IEEE International Conference on Ultra-Wideband*, 2009:759~762.

(收稿日期:2011-03-24)

作者简介:

林澍,男,1979 年生,博士,讲师,主要研究方向:天线技术。

蔡润南,男,1988 年生,本科生,主要研究方向:卫星通信。

黄冠龙,男,1989 年生,本科生,主要研究方向:天线技术。

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>