

一种六边形分形宽带天线的设计 *

张广海, 汪立新, 陈茂洋

(杭州电子科技大学 通信工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 提出了一款应用于 L 波段、S 波段和 C 波段的六边形分形宽带微带天线, 该天线采用二阶六边形 Sierpinski 分形结构作为辐射贴片, 使用微带馈电技术进行馈电。通过仿真分析与模型优化, 天线的最终尺寸为 $36 \text{ mm} \times 28 \text{ mm} \times 1.6 \text{ mm}$, -10 dB 阻抗相对带宽为 $150.3\%(1.10\text{~}7.76 \text{ GHz})$, 在 1.10 GHz 处有最大峰值增益 7.80 dB 。该天线具有结构简单、体积小、带宽大、增益良好的特点, 可以适用于各种宽频带通信系统中。

关键词: 分形天线; 宽频带; Sierpinski 分形; 微带天线; 阻抗匹配; 单极子天线

中图分类号: TN82

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200317

中文引用格式: 张广海, 汪立新, 陈茂洋. 一种六边形分形宽带天线的设计[J]. 电子技术应用, 2020, 46(11): 74-78.

英文引用格式: Zhang Guanghai, Wang Lixin, Chen Maoyang. Design of a hexagonal fractal broadband antenna[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(11): 74-78.

Design of a hexagonal fractal broadband antenna

Zhang Guanghai, Wang Lixin, Chen Maoyang

(School of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: A hexagonal fractal broadband microstrip antenna for L-band, S-band and C-band is proposed. The second-order hexagonal Sierpinski fractal structure is used as the radiation patch, and the microstrip feeding technology is used for feeding. Through simulation analysis and model optimization, the final size of the antenna is $36 \text{ mm} \times 28 \text{ mm} \times 1.6 \text{ mm}$, the relative bandwidth of -10 dB impedance is $150.3\%(1.10\text{~}7.76 \text{ GHz})$, and the maximum peak gain is 7.80 dB at 1.10 GHz . The antenna has the advantages of simple structure, small size, large bandwidth and good gain, which can be used in various broadband communication systems.

Key words: fractal antenna; broadband; Sierpinski fractal; microstrip antenna; impedance matching; monopole antenna

0 引言

当代无线通信系统的快速发展, 特别是通信速率的大幅提高, 对天线工作频带宽度提出了越来越高的要求。微带天线^[1]由于结构简单、价格低廉、容易加工等优势, 在无线通信系统中得到了广泛应用。由于微带天线属于窄带天线^[2], 因此展宽微带天线的工作频带, 使其适应当代通信系统的要求具有重要意义。对此, 人们进行了大量研究, 也提出了许多方法, 例如文献[3]中采用了引入带有缝隙耦合的多层结构的方法, 文献[4]采用了增加寄生单元的方法, 文献[5]采用了新型的分形互补型结构来改进天线辐射贴片的方法, 文献[6]采用二阶六边形分形结构和共面波导技术。但是这几款宽带天线都不能同时适用于 L 波段^[7]、S 波段^[8]和 C 波段^[9]的通信要求, 而且天线结构比较复杂。

本文对文献[6]所提到的天线结构进行改进, 提出

了一款可以同时适用于 L 波段、S 波段和 C 波段的六边形分形宽带天线。将辐射贴片的 2 阶六边形分形结构(图 1(c))替换为如图 1(d)所示的 2 阶六边形分形结构, 并采用普通的微带线馈电方式^[10]进行馈电, 实现了一款带宽为 $1.10 \text{ GHz} \sim 7.76 \text{ GHz}$ 的分形宽带天线。

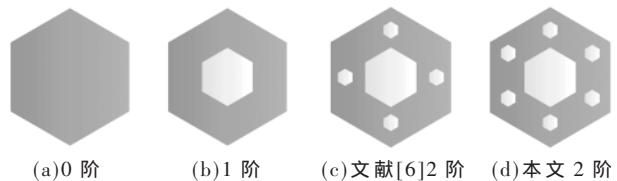


图 1 六边形分形结构的迭代过程

1 天线结构设计

1.1 六边形分形结构

文献[6]中天线的辐射贴片采用 2 阶六边形分形结构, 如图 1(c)所示。将基本六边形(图 1(a))在中心以 0.25 的比例挖去一个六边形, 形成 1 阶分形迭代结构, 如图 1(b)

《电子技术应用》2020年 第46卷 第11期

* 基金项目: 十三·五国防预研项目(41409050201)

所示。在一阶分型结构的基础上,在挖去的六边形的上下左右4个所留区域的中点处挖去以0.25比例再次缩小的六边形,形成2阶分形结构,如图1(c)所示。然而,采用这种分形结构实现的宽带天线频段频带为3.30~10.77 GHz,不能同时适用于L波段、S波段和C波段。本文将该结构改进为如图1(d)所示的六边形分形结构,即在文献[6]的1阶分形结构的基础上,在内部挖去的六边形的6个角和大六边形6个角的中点处分别挖去一个小的六边形。该天线可以适用于L波段、S波段和C波段,与文献[6]相比,天线的-10 dB阻抗相对带宽增大了约38.1%。

1.2 天线的结构

本文在文献[6]所提到的天线结构(如图2所示)的基础上改进得到的六边形分形宽带天线,其结构如图3所示。该天线由一个六边形分形结构的天线振子、矩形接地板、馈线组成。天线振子结构位于天线介质的正面,矩形接地板位于介质基板的背面。介质基板采用FR_4,相对介电常数 $\epsilon_r=4.4$,损耗角正切 $\tan\delta=0.02$,介质基板厚度为 H 。通过Ansoft公司的三维电磁仿真软件HFSS对设计的天线进行电磁仿真^[11]、优化后,得到该天线具体参数,如表1所示。图4为天线的整体结构通过软件HFSS的建模图。

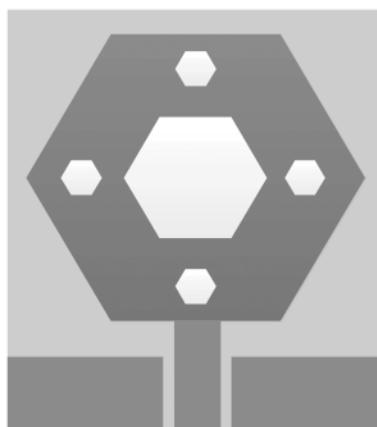


图2 文献[6]中的天线结构模型图

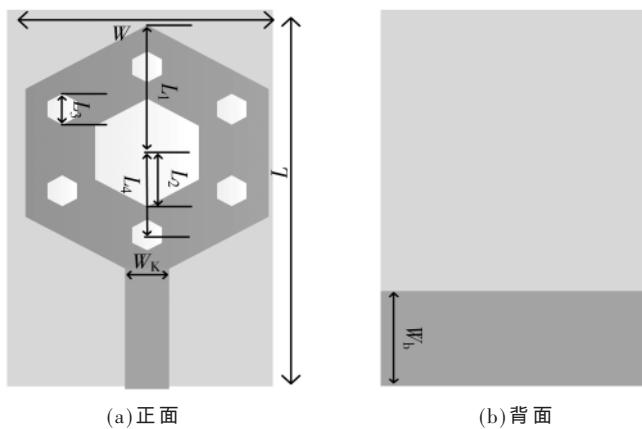


图3 天线结构模型图

表1 天线的参数

结构参数	尺寸/mm	结构参数	尺寸/mm
W	28.0	L_4	9.0
L	36.0	W_k	2.0
L_1	14.9	W_b	5.2
L_2	4.0	H	1.6
L_3	2.0		

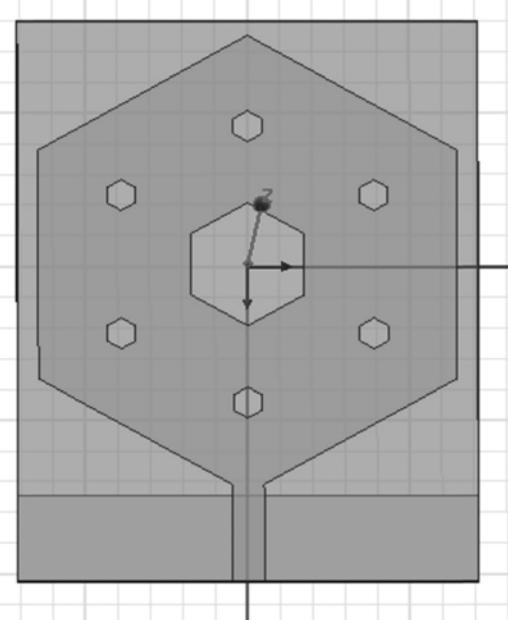


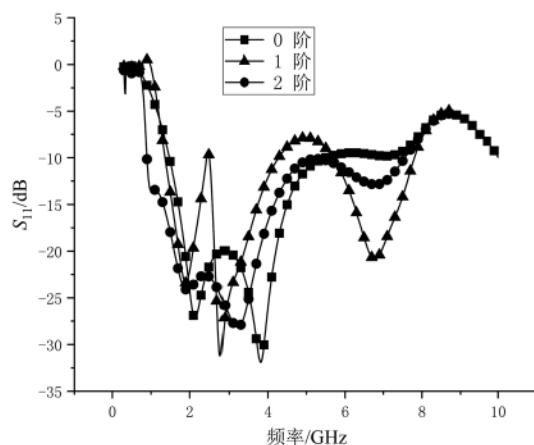
图4 天线建模图

2 六边形分形偶极子天线的优化设计

为了研究天线结构中的各个参数对该天线的影响,使用基于有限元理论的三维电磁仿真软件HFSS对该天线进行大量的仿真和优化。

2.1 分形结构的优化设计

为了研究分形结构对该天线性能的影响,通过HFSS仿真分析,得到了天线的不同分形次数时分形天线的输入反射系数(S_{11})的效果图,如图5所示。其中0阶、1阶、2阶分别表示零次分形、一次分形、二次分形的天线输

图5 分形阶数对 S_{11} 参数的影响

入反射系数 S_{11} 参数随频率的变化图。从图 5 可以看出分形次数对天线传输特性的影响, 二次分形结构比一次分型结构拥有更长的电流路径^[12], 表面电流相互作用改变了天线性能, 而且经过多次仿真与优化可以发现二次分形以后天线的输入反射系数 S_{11} 参数值更接近本文所需要的工作频段。

同时, 为了设计出大带宽并且可以适用于 L 波段、S 波段、C 波段性能优良的天线, 在分形结构设计完成后, 通过 HFSS 仿真软件对分形结构的主要尺寸参数进行了仿真优化。

使除 L_1 外的参数保持不变, 设置 L_1 的变化范围为 14.5 mm~15.3 mm, 步长值为 0.2 mm, 得到天线的输入反射系数 S_{11} 仿真结果如图 6 所示。同理设置 L_2 的变化范围为 3.6 mm~4.4 mm, 步长值为 0.2 mm, 得到天线的输入反射系数 S_{11} 参数仿真结果如图 7 所示。设置 L_3 的变化范围为 1.6 mm~2.4 mm, 步长值为 0.2 mm, 得到的天线的输入反射系数 S_{11} 仿真结果如图 8 所示。

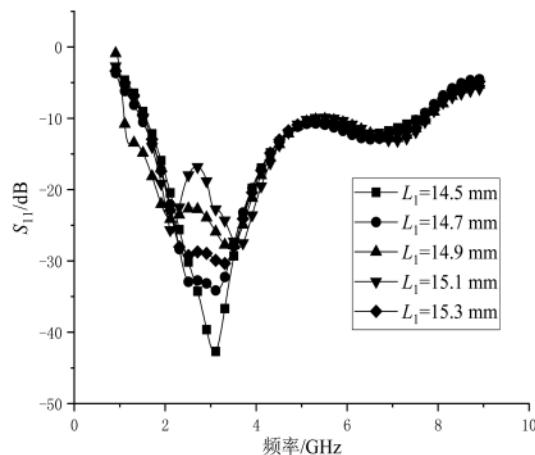


图 6 六边形分形结构尺寸 L_1 对 S_{11} 参数的影响

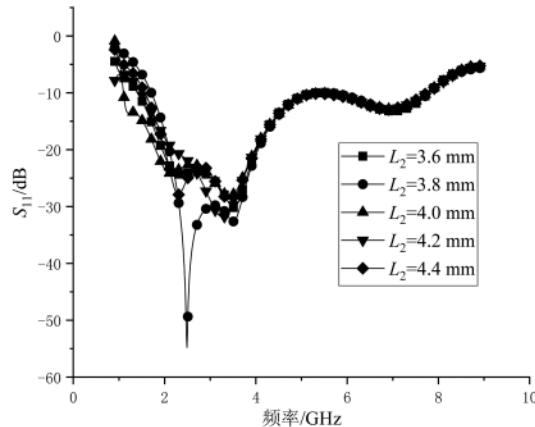


图 7 六边形分形结构尺寸 L_2 对 S_{11} 参数的影响

由图 6、图 7、图 8 可以看出, 随着分形结构的尺寸参数的变化, 天线的输入反射系数 S_{11} 也随着改变。经过多次仿真和优化得到当 $L_1=14.9$ mm、 $L_2=4.0$ mm、 $L_3=2.0$ mm 时, 天线更接近于适用于 L 波段、S 波段、C 波段性能优良的设计目标。

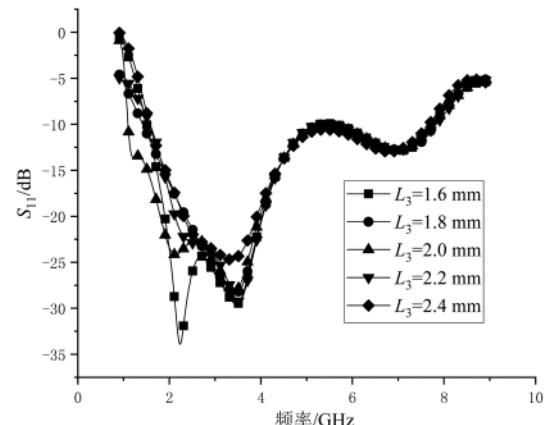


图 8 六边形分形结构尺寸 L_3 对 S_{11} 参数的影响

2.0 mm 时, 天线更接近于适用于 L 波段、S 波段、C 波段性能优良的设计目标。

2.2 天线的几个主要结构参数优化

为了得到性能优良的天线, 还进一步研究了天线介质基板的长度 L 、宽度 W 对天线的输入反射系数 S_{11} 的影响。使除 L 外的参数保持不变, 设置 L 的变化范围为 34.0 mm~38.0 mm, 步长值为 1.0 mm, 得到的天线的输入反射系数 S_{11} 仿真结果如图 9 所示。同理设置 W 的变化范围为 26.0 mm~30.0 mm, 步长值为 1.0 mm, 得到的天线的输入反射系数 S_{11} 仿真结果如图 10 所示。

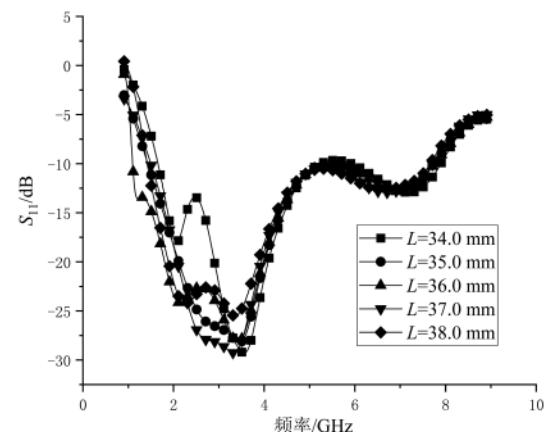
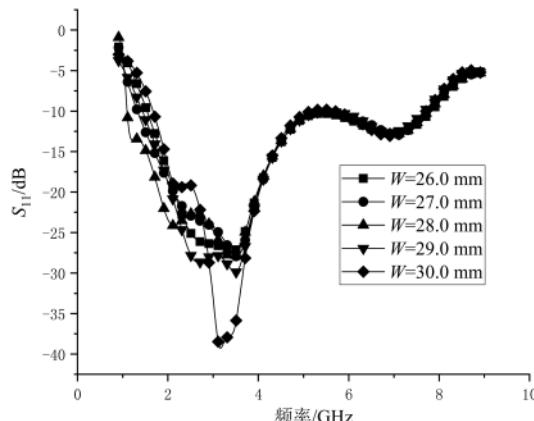
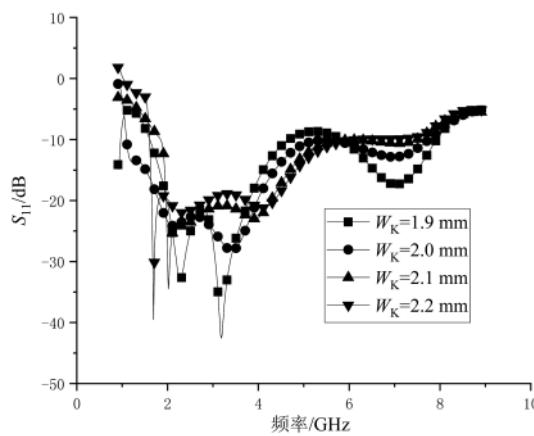


图 9 介质基板长度 L 对 S_{11} 参数的影响

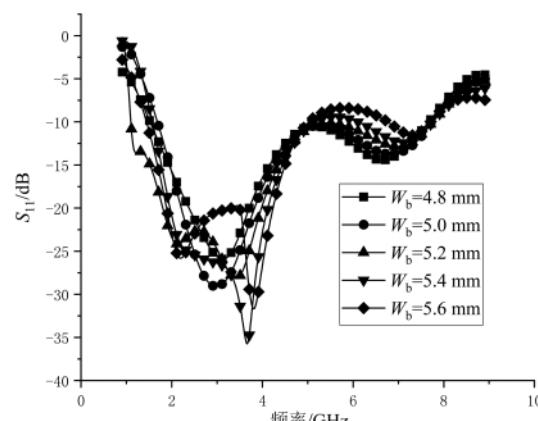
由图 9 可以看出, L 由 34 mm~38 mm 的变化过程中, 天线的-10 dB 阻抗带宽先逐渐展宽再变窄, 当 $L=36.0$ mm 时, 天线的-10 dB 阻抗带宽达到最大。同理, 由图 10 可以看出, 当 $W=28.0$ mm 时, 天线的-10 dB 阻抗带宽达到最大。

另外, 还进一步研究了馈线宽度 W_K 对天线的输入反射系数 S_{11} 参数的影响。通过 HFSS 仿真分析, 得到了馈线宽度 W_K 取不同值时分形天线的输入反射系数 S_{11} 的仿真结果, 如图 11 所示。馈线的宽度变化直接影响着 SMA (Small A Type) 接头、馈线和天线辐射单元的阻抗匹配, 经过多次仿真和优化得到 $W_K=2.0$ mm 时天

图 10 介质基板宽度 W 对 S_{11} 参数的影响图 11 饲线宽度 W_k 对 S_{11} 参数的影响

线的-10 dB 阻抗带宽达到最大,天线的性能达到最佳。

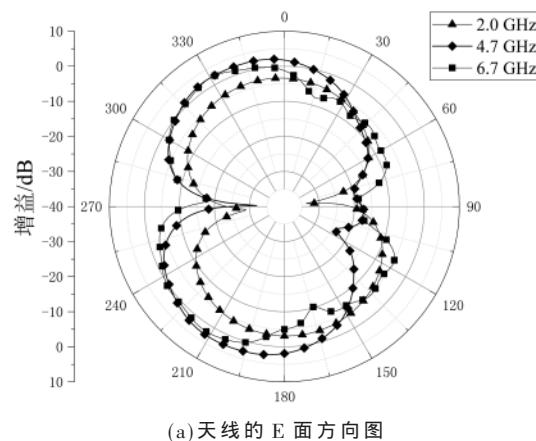
最后还研究了矩形接地板的宽度 W_b 对天线的输入反射系数 S_{11} 的影响。通过 HFSS 仿真分析,得到了矩形接地板宽度 W_b 在取不同值时分形天线的输入反射系数 S_{11} 的仿真结果,如图 12 所示。从图 12 中可以看出,有限接地板与主辐射单元工作时的相互作用改变了空间的电磁辐射分布,从而改变了天线部分的传输特性。经多次仿真优化得到 $W_b=5.2$ mm 时天线的-10 dB 阻抗

图 12 接地板宽度 W_b 对 S_{11} 参数的影响

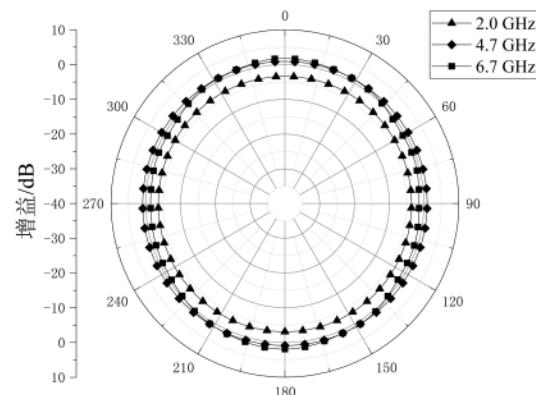
带宽达到最大,天线的性能达到最佳。

3 天线仿真结果分析

为了满足实际应用的要求,宽带天线在工作频带内应具备全向辐射特性^[13]。图 13 给出了天线在工作频带内选取 3 个频点的远场 E 面和 H 面辐射方向图。从图 13 中可知,天线的 E 面方向图(如图 13(a)所示)形状为“8”字形,呈现定向辐射特性;天线的 H 面方向图(如图 13(b)所示)形状近似圆形,呈现全向辐射特性。因此,该天线符合宽带系统的工作要求,可以应用于实际的宽带系统中。



(a) 天线的 E 面方向图



(b) 天线的 H 面方向图

图 13 天线的增益方向图

图 14 为该天线的峰值增益图。从图 14 中可知,该天线在工作频带内的峰值增益始终为正,在 1.10 GHz 处增益取得最大值 7.80 dB,在 6.11 GHz 处增益取得最小值 1.05 dB。

本文天线的几个重要参数与文献[14]、文献[15]的对比如表 2 所示。从表 2 可以看出,与文献[14]、[15]中天线相比,本文提出的天线在尺寸上明显减小、工作带宽上大幅增加。

4 结论

本文基于六边形分形结构,提出了一款可以适用于 L 波段、S 波段、C 波段的宽带分形天线。该天线与文献中的天线相比,在尺寸上实现了明显的缩减的同时实现

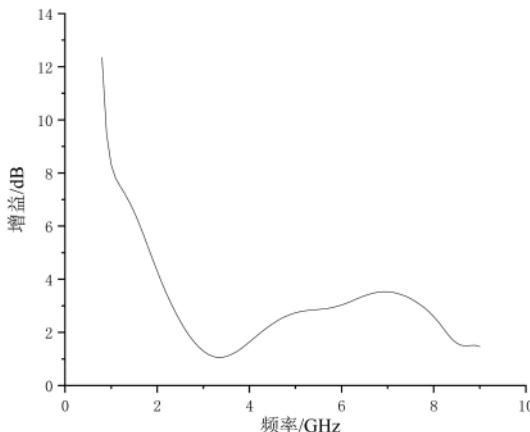


图 14 天线的峰值增益图

表 2 天线的重要参数对比

天线尺寸/mm ²	频带/GHz	-10 dB 相对带宽/%
文献[14]	较大	2.45~3.80
文献[15]	50×50	2.64~6.96
本文天线	36×28	1.10~7.76

了带宽的大幅增加，并且具有全向辐射特性，未来可以适用于各种宽频带通信系统中。

参考文献

- [1] 裴蕾,葛文萍,热依汗·白克图尔,等.一种双陷波超宽带微带天线[J].电子技术应用,2019,45(4):48~51.
- [2] 张子夜.微带天线辐射与散射特性研究[D].北京:北京交通大学,2018.
- [3] TARGONSKI S D, WATERHOUSE R B, POZAR D M. Design of wide-band aperture-stacked patch microstrip antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1998, 46(9): 1245.
- [4] ABDELAZIZ A A. Bandwidth enhancement of microstrip antenna[J]. Progress in Electromagnetics Research, 2006, 63:

(上接第 73 页)

- 望[J].电力系统自动化,2019,43(13):9~20,53.
- [2] 陈文艺,张杨旭,杨辉.一种通用 MODBUS 物联网网关设计与实现[J].西安邮电大学学报,2019,24(3):97~105.
- [3] 田拥军,赵光强,曾健平.基于 RS485 总线技术的 PC 机与单片机多机通讯设计[J].湖南工程学院学报(自然科学版),2007(2):19~23.
- [4] 陈虎,陈倩.基于 FPGA 的 MEWTOCOL-COM 与 MODBUS RTU 协议快速转换的设计与实现[J].电子技术应用,2019,45(11):112~116.
- [5] 徐侃,丁强.一种基于 MQTT 协议的物联网通信网关[J].仪表技术,2019(1):1~4,43.
- [6] 顾亚文.基于 MQTT 协议的通用智能家居系统设计与实

311.

- [5] 袁子东,高军,曹祥玉,等.一种超宽带低雷达散射截面印刷天线[J].电子与信息学报,2013,35(8):2013~2018.
- [6] ABDENNOUR B T, MOURAD N, YOUSSEF B C. Design of compact UWB coplanar waveguide-fed modified Sierpinski carpet fractal antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2019, 46(9): 1091~1092.
- [7] 唐震,汪立新,汤天宇.类 Minkowski 分形天线的分析与设计[J].电子技术应用,2019,45(7):77~80.
- [8] 陈夏寅,彭菊红,王旭光,等.北斗 S 波段分形微带阵列天线的设计[J].无线电通信技术,2018,44(6):618~622.
- [9] 张祖存,吴素云.一种新型大频差多频带分形天线研究[J].微波学报,2014,33(1):24~28.

- [10] 胡银平.具有陷波特性的分形超宽带微带天线的研究与设计[D].重庆:重庆邮电大学,2017.
- [11] 李明洋,刘敏.HFSS 天线设计[M].北京:电子工业出版社,2014.
- [12] 张昕,黎雅辉,李文兴,等.一种基于分型结构的 UWB 天线的设计[J].应用技术,2009,36(5):16~19.
- [13] 胡章芳,辛伟,罗元,等.一种新型类 Vicsek 分形多频天线的设计[J].电波科学学报,2016,31(4):760~765.
- [14] 郭锐,陈星.基于二叉树的宽带微带天线[J].四川大学学报(自然科学版),2009,46(5):1329~1332.
- [15] AGRAWAL S, GUPTA R D, BEHERA S K. A hexagonal shaped fractal antenna for UWB application[C]. International Conference on Communications, Devices and Intelligent Systems. IEEE, 2013: 535~538.

(收稿日期:2020-04-18)

作者简介:

张广海(1994-),男,硕士,主要研究方向:无线通信系统。
汪立新(1966-),男,本科,教授,主要研究方向:无线通信系统。

陈茂洋(1994-),男,硕士,主要研究方向:无线通信系统。

现[D].西安:西安电子科技大学,2014.

- [7] 朱明辉,赵信广,尤星懿.基于 FreeRTOS 和 MQTT 的海洋监测网络框架[J].电子技术应用,2018,44(1):41~44.
- [8] 胡晓中.工业无线监控终端的研究与开发[D].长沙:中南大学,2011.

(收稿日期:2020-02-11)

作者简介:

李强(1964-),男,副教授,主要研究方向:电力自动化、计算机控制技术。
王星(1993-),通信作者,男,硕士研究生,主要研究方向:用电行为分析、嵌入式检测装置开发,E-mail:energywx@163.com。

张帅(1989-),男,工程师,主要研究方向:电力行业检测装置。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所