

一种手持终端的 470 MHz 频段 IoT 天线设计

孙 南^{1,2}, 闻志国^{1,2}, 姜 帆^{1,2}, 李 延^{1,2}, 王玉净^{1,2}, 邹 建^{1,2}, 宋 亚^{1,2}

(1.北京智芯微电子科技有限公司 国家电网公司重点实验室 电力芯片设计分析实验室, 北京 100192;

2.北京智芯微电子科技有限公司 北京市电力高可靠性集成电路设计工程技术研究中心, 北京 100192)

摘 要: 许多手持终端设备都需要一种轻便、紧凑的接收和发射天线, FPC 天线以重量轻、厚度薄等特点收到广大设计师的青睐。为获得适合尺寸、带宽和增益的天线, 提出一种以 FPC 软材质为集成平台, 采用传输线与天线为一体设计, 在保持天线大小不变的情况下, 通过增加耦合枝的方式增强辐射单元能量耦合, 从而有效改善带宽和提升增益。传输线与天线一体化设计可以有效利用天线空间, 改善端口特性。通过仿真与实际测试, 天线带宽满足在 470 MHz~510 MHz 工作频段, $S_{11} < -10$ dB。在 490 MHz 处 $S_{11} < -12$ dB, 有效增益 0 dBi。

关键词: 耦合枝; 带宽; 一体化; 回波损耗

中图分类号: TN82

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200891

中文引用格式: 孙南, 闻志国, 姜帆, 等. 一种手持终端的 470 MHz 频段 IoT 天线设计[J]. 电子技术应用, 2021, 47(1): 11-15.

英文引用格式: Sun Nan, Wen Zhiguo, Jiang Fan, et al. Design of a 470 MHz band IoT antenna for a handheld terminal[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(1): 11-15.

Design of a 470 MHz band IoT antenna for a handheld terminal

Sun Nan^{1,2}, Wen Zhiguo^{1,2}, Jiang Fan^{1,2}, Li Yan^{1,2}, Wang Yujing^{1,2}, Zou Jian^{1,2}, Song Ya^{1,2}

(1.State Grid Key Laboratory of Power Industrial Chip Design and Analysis Technology,
Beijing Smart-Chip Microelectronics Technology Co., Ltd., Beijing 100192, China;

2.Beijing Engineering Research Center of High-reliability IC with Power Industrial Grade,
Beijing Smart-Chip Microelectronics Technology Co., Ltd., Beijing 100192, China)

Abstract: Many handheld terminal devices require a light and compact receiving and transmitting antenna. FPC antennas are popular among designers because of their light weight and thin thickness. In order to obtain an antenna with suitable size, bandwidth and gain, an FPC soft material is used as an integrated platform, and the transmission line and antenna are used as an integrated design. While maintaining the size of the antenna, the energy coupling of radiating unit is enhanced by adding coupling branches, which effectively improves bandwidth and gain. The integrated design of transmission line and antenna can effectively use the antenna space and improve the port characteristics. Through simulation and actual testing, the antenna bandwidth meets 470 MHz~510 MHz, $S_{11} < -10$ dB. $S_{11} < -12$ dB at 490 MHz, the effective gain is 0 dBi.

Key words: coupling branches; bandwidth; integration; return loss

0 引言

无线通信是物联网(IoT)技术实现的关键基础之一^[1], 天线作为无线通信能量转换的器件, 在无线通信过程中起到重要的作用^[2]。近几年 IoT 终端技术越来越成熟, 尤其是手持终端, 在 IoT 通信中的作用越来越突出, 在物流、巡检、购物、通信等邻域得到越来越多的应用^[2-5]。基于手持终端的功能日益丰富, 无线连接也越来越多, 相对的电磁环境也变得复杂^[6], 这就要求各无线功能具有高质量通信, 然而天线是决定通信质量的关键部件之一^[7-8]。由于其应用场景和功能不同, 天线结构也各有不同, 但其共同特点是尺寸小、结构紧凑^[9-11]。近年来针对

手持终端的 IoT 天线研究越来越多^[12], 这类天线常见的是异性金属天线、FPC (Flexible Printed Circuit) 天线、微带天线等。

本文设计了一种新型手持终端通信天线, 主要目的是提升 470 MHz 频段 IoT 通信质量。由于现有该频段天线的尺寸大、效率低、增益小、易受干扰等特点, 或多或少影响手持终端通信^[13]。基于以上问题, 本文设计的天线是以 FPC 软材质为集成平台, 采用传输线与天线为一体设计, 最大限度地利用手持终端有限的空间, 同时提升天线有效的性能。在有效减小天线尺寸的前提下, 通过增加耦合枝, 更好地将能量耦合至辐射单元, 可有

效改善带宽^[14]、提升天线性能。FPC 柔性软材质天线生产周期短、体积小、重量轻、柔性好,便于集成在移动手持终端设备中^[15]。

1 天线结构

很多 IoT 天线都会采用 MIFA 结构,例如文献[16]中设计的是一种 433 MHz 的 MIFA_PCB 天线,此天线只是单一地靠一条 1/4 有效导波长枝节来辐射电磁波,匹配端嵌入 L 型电路来使天线输入阻抗达到 50 Ω。虽然在 433 MHz 频点的 S_{11} 非常完美,但是 S_{11} 在 -10 dB 以下的有效带宽只有 5 MHz 左右,带宽是非常有限的,所以此思路用到 470 MHz~510 MHz 的 IoT 天线上带宽是无法满足预期要求的。

本次设计的天线外形结构如图 1 所示,采用耦合式设计,天线工作频率为 470 MHz~510 MHz,选用传输线与天线一体化设计,这样可以有效利用手持终端空间,改善天线端口性能,降低天线传输损耗,提升天线效率^[17-18]。天线辐射振子结构如图 2 所示,印制在柔性 FPC 基板上,相对介电常数 $\epsilon_r=3.1$,介质损耗 2.8×10^{-3} 。天线整体包含辐射振子和 FPC 传输线。天线振子主要由 3 枝长度各异、功能不同的振子组成:中等长度的一枝为馈电振子,弯折线结构,总长度为 110 mm,主要负责将射频信号引入天线当中;最短的一枝长度为 65 mm,紧邻馈电振子作为射频能量传输的中介,可以更好地将射频能量耦合至第三枝辐射振子上;最长的一枝也即辐射振子,也是弯折线结构,总长度为 270 mm,是射频能量对外辐射的主要窗口。3 枝振子的折线结构之间保持 0.4 mm 的紧密布局,有利于降低天线外形尺寸,保证能量的有

效耦合传递。其中天线各枝节具体尺寸: $L_1=56.42$ mm、 $L_2=58.16$ mm、 $L_3=8.73$ mm、 $L_4=68.66$ mm、 $L_5=47.69$ mm、 $L_6=40.33$ mm、 $L_7=8.18$ mm、 $L_8=2.44$ mm、 $W_1=2.0$ mm、 $W_2=0.4$ mm、 $W_3=0.6$ mm、 $W_4=3.56$ mm、 $W_5=0.4$ mm、 $W_6=0.4$ mm、 $W_7=2.54$ mm。

2 设计原理

本天线设计思想是基于偶极子 Dipole 天线来展开的。偶极子结构特点:两根直导线,且两根导线的直径和长度相等,导线的长度为 1/4 波长,导线的直径和天线中间的两根导线间距都远小于天线的工作波长^[19],在设计中可以忽略不计。所以对于本次设计的天线取 490 MHz 为工作中心频点,它所对应的 1/4 自由空间波长约为 150 mm,再考虑到天线的载体是 FPC,也就是铜箔附刻在 PI 基材上($\epsilon_r=3.1$),所以天线实际的工作的 1/4 波长应该介于 85 mm 和 150 mm 之间。考虑到天线的频段较低,辐射波长较长,天线 pattern 的走线宽度用 0.4 mm 来实现,走线变细的情况下可以让电流的有效路径变长,从而在有限的空间内实现低频最大化^[20]。在设计过程中添加耦合枝,此耦合枝可以和馈电振子进行很好的耦合,从而提高天线工作带宽和辐射效率。天线实际走线的长度会大于理论算出的值,因为走线进行了多次弯曲,存在电流抵消效应,使电流的有效路径变短,从而使得天线的物理长度增长,这些在实际调试和仿真中都已经得到了验证。

3 结果分析

通过 HFSS 对天线辐射体建模仿真,仿真结构如图 3 所示。

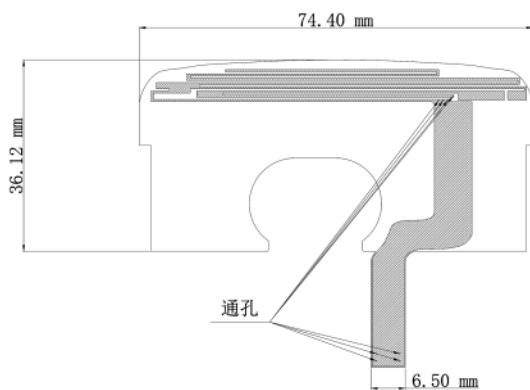


图 1 天线结构图



(a) HFSS 下辐射体建模示意图(添加耦合枝)

(b) HFSS 下辐射体建模示意图(未加耦合枝)

图 3 HFSS 下辐射体建模示意图

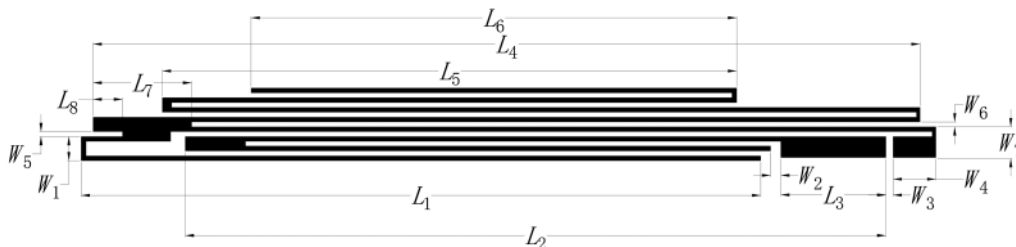


图 2 辐射振子结构

天线端口回波损耗是衡量天线性能参数的重要指标之一,采用 HFSS 运行已经优化了结构的天线模型,分析仿真结果。选取天线扫描频率范围 0~1 GHz,回波损耗 S_{11} 的仿真结果如图 4 所示,仿真电压驻波比如图 5 所示。

添加耦合枝的天线如图 4(b)所示,在工作频段 470 MHz~510 MHz 的回波损耗 $S_{11} < -10$ dB;未加耦合枝的天线如图 4(a)所示,在工作频段 470 MHz~510 MHz 的回波损耗 $S_{11} < -1.37$ dB;添加耦合枝的天线,谐振点 490 MHz 处的回波损耗为 -12 dB 左右。添加耦合枝的天线如图 5(b)所示,在 470 MHz~510 MHz 的电压驻波比均小于 2;未添加耦合枝的天线在 470 MHz~510 MHz 的电压驻波比恶化较为明显。从上面仿真结果来看,不加耦合枝节天线的回波损耗和电压驻波比相较于增加耦合枝节明显恶化很多,这样验证了本次设计中通过增加耦合枝节可以拓展带宽、改善端口特性和提高增益。

采用矢量网络分析仪 E5071C 测试成样品天线端口驻波比(VSWR)反射如图 6 所示。

由图 6 可知,样品天线在工作频段 470 MHz~510 MHz 范围内,端口反射驻波比均 $VSWR < 2.5$ (垂直方向坐标为驻波比 VSWR),有效带宽范围内符合预期设计。

天线增益也是衡量天线性能的重要指标,天线在 H 面和 E 面各方向上的增益大小是主要判定依据。E 面和 H 面综合增益构成天线辐射场,场型是判定天线方向性

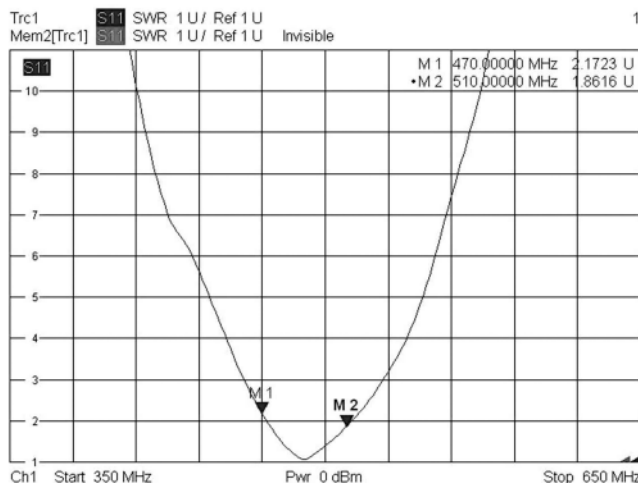


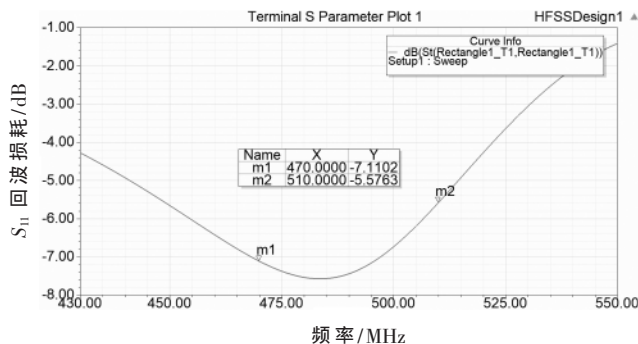
图 6 天线端口驻波比

能的重要依据,辐射仿真结果如图 7 所示。

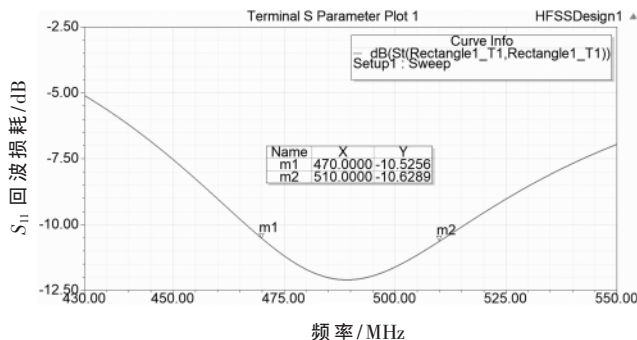
从图 7(a)可知,天线在 490 MHz 频点下 Gain 值为 0.27 dBi,且辐射场型图较好,H 面为 360°全覆盖,符合预期要求,具体 2D 方向图如图 8 所示。

为了验证仿真结果的可靠性,将 FPC 天线装入样机送到天线暗室进行实际测试,测试结果如图 9 所示。

为了与仿真结果做对比,实测中同样取 490 MHz 频

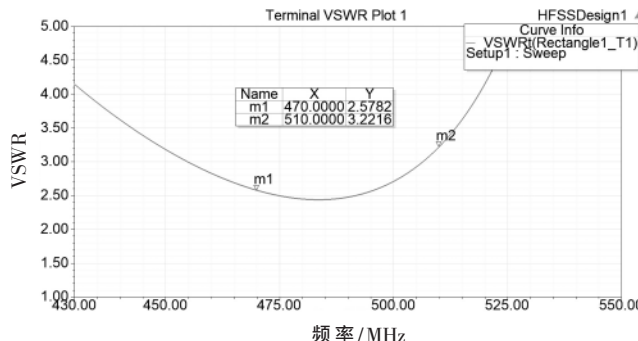


(a) 未加耦合枝天线端口回波损耗

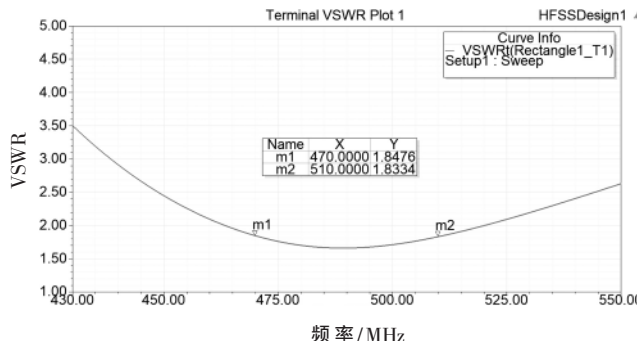


(b) 添加耦合枝天线端口回波损耗

图 4 天线端口回波损耗

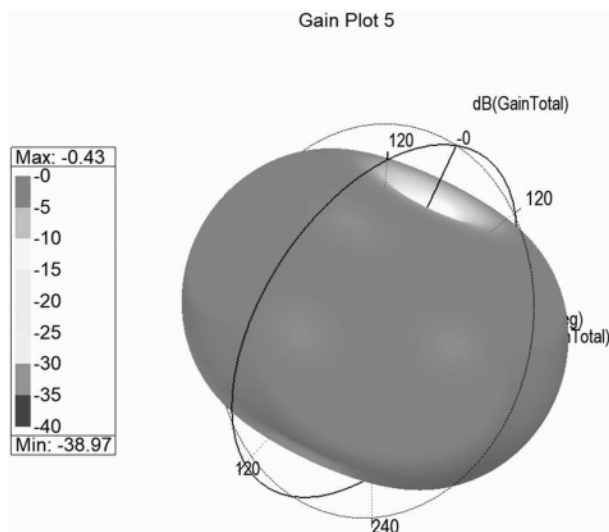


(a) 未加耦合枝天线端口 VSWR 仿真

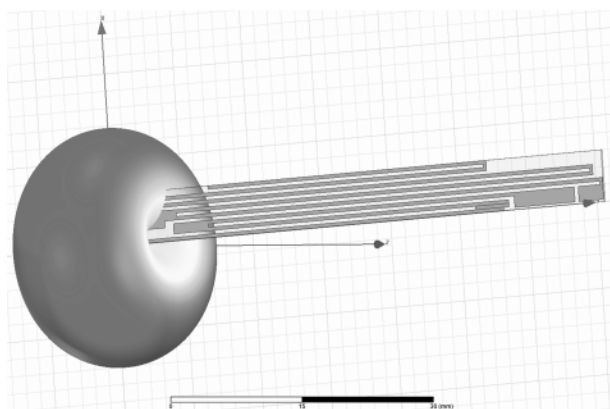


(b) 添加耦合枝天线端口 VSWR 仿真

图 5 天线端口 VSWR 仿真图



(a) 天线在 490 MHz 频点下的 Gain 值



(b) 仿真天线 3D 全向辐射示意图

图 7 490 MHz 下增益和方向仿真图

的 2D 方向图来做对比。由图 9(b)、(c)可知,仿真结果和实测结果在 YZ 和 XZ 面 2D 方向图有一定的差异,这是由于 FPC 天线装入样机里面周围环境发生了变化使得辐射场型也会相应地发生一些变化,但是在 Gain 值上

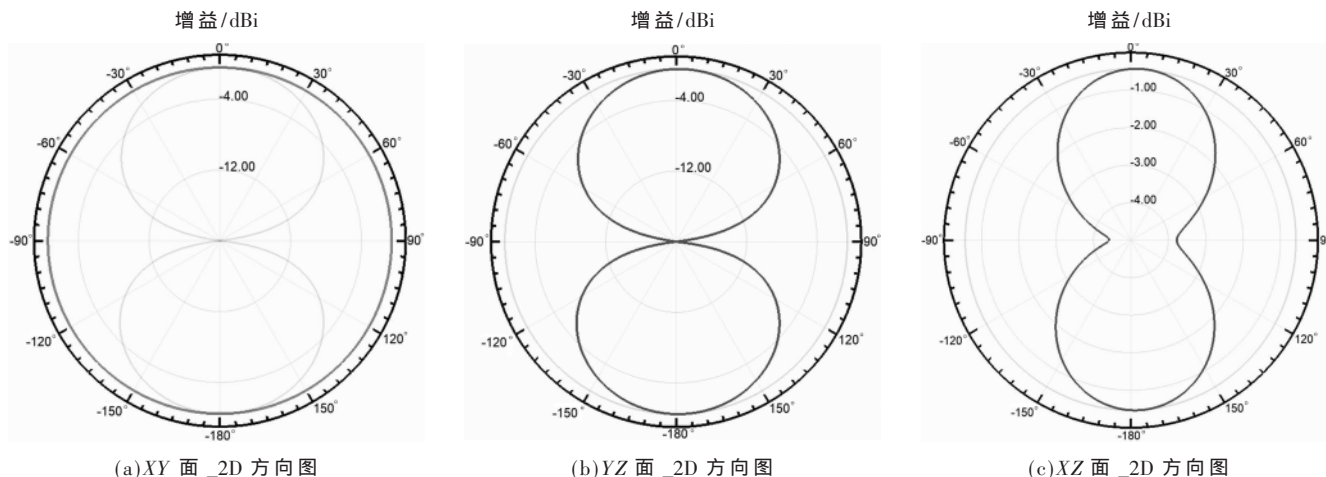


图 8 天线在 490 MHz 下的 2D 方向图

没多大差异,Peak Gain 都能达到 0 dBi 左右,H 面还是比较好的全向圆,能达到预期要求。所以综合来看,仿真的结果具有一定的可靠性,无论从天线的电性特征(VSWR & return loss)还是从空间辐射特性(Gain & 方向场型图)来看,基本上都能对得上,仿真和实际调试完美地结合,从而完成本次 IoT 天线的设计。

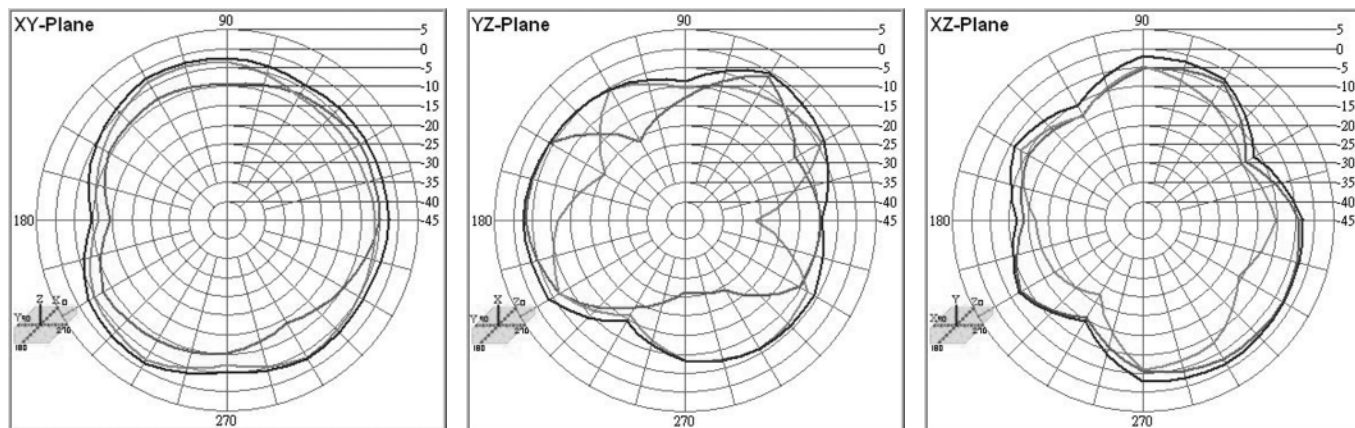
最终应用天线实物如图 10 所示。实物天线为异性结构天线,基于主流手持终端外形和尺寸的制约,天线需要避开公网和摄像头等功能模块,故采用中心避让和传输线一体化设计的思路,充分利用有限空间,实现天线性能最佳化。

4 结论

本文通过研究并析,设计了一种 470 MHz~510 MHz 用于手持终端的 IoT 天线,经过模拟仿真、优化设计,在天线结构中增加耦合枝可以改善端口特性,提升天线增益,增加天线带宽。将传输线与天线一体化设计,可以有效利用手持终端内部有限的空间,同时可以改善天线端口特性。提出的新手持终端 IoT 天线设计可以有效地利用空间,获得较好的天线增益,而且可以获得较好的全向性。通过最终仿真和实物测试,在设计中融合了传统的外置型螺旋天线和单极子蛇形印刷天线性能,满足预期指标,具有一定的实用价值。

参考文献

- [1] 杨利霞,石斌,毛士玲,等.一种开槽的双频段宽带科赫分形天线[J].电波科学学报,2014,29(3):492-497.
- [2] XU L, SUSAN C H, MIN K, et al. Numerical and experimental investigation of an ultra wideband ridged pyramidal horn antenna with curved launching plane for pulse radiation[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2003, 2(1): 259-262.
- [3] 施胜杰,郭辉萍.一种新型超宽带平面单极天线的设计[J].通信技术,2009,42(1):112-114.
- [4] 郭蓉,曹祥玉,袁子东,等.一种新型宽带定向性贴片天



(a)暗室实测 XY 面 _2D 方向图

(b)暗室实测 YZ 面 _2D 方向图

(c)暗室实测 XZ 面 _2D 方向图

图9 天线在 490 MHz 下的暗室测试方向图



图10 天线实物图

线设计[J].物理学报,2014,63(24):244102.

[5] 孙凤林,梁宇宏,何海丹.一种宽带定向天线的设计[J].微波学报,2010(s1):170-172.

[6] CORBETT R R, MURCH R D. A capacitively loaded PIFA for compact mobile telephone handsets[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1997, 45(5): 837-842.

[7] WONG K L. Compact and broadband microstrip antennas[M]. USA: John Wiley & Sons inc, 2002.

[8] 薛睿峰,钟顺时.微带天线小型化技术[J].电子技术,2002,29(3):62-64.

[9] 韩曹政,唐晋生,李睿.基于高阻抗表面的螺旋天线设计[J].现代电子技术,2014,37(5):77-79.

[10] 徐琰,张谟杰.一种新颖的光子带隙平面螺旋天线[J].电波科学学报,2005,20(6):699-702.

[11] SANAD H. Effect of the shorting posts on short circuit microstrip antennas[C]. Proceedings of IEEE Antennas & Propagation Society International Symposium. IEEE, 1994:

794-797.

[12] 陈华君,郭东辉.基于 MEMS 开关的双频可重构天线设计[J].仪器仪表学报,2006,27(6):2023-2024.

[13] 韩微,岳玫君,冯晓星,等.针馈圆极化微带贴片天线设计[J].电子信息对抗技术,2018,33(5):76-79.

[14] 陈常青,周志鹏,张金平.一种基于紧耦合结构的超宽带天线阵列设计[J].现代雷达,2018,40(2):73-76.

[15] 陈春霞,张福顺.柔性微带天线设计与研究[J].微波学报,2014,30(4):26-28.

[16] 严冬,鹏飞,李帅永,等.一种 433 MHz 小型化螺旋形印刷天线的设计[J].电子技术应用,2017,43(2):92-94,98.

[17] 刘颖,李萍.新型宽带容性馈电微带天线单元仿真设计[J].通信技术,2008,41(11):47-49.

[18] WATERHOUSE R B, TARGONSKI S D, KOKOTOFF D M, et al. Design and performance of small printed antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas Propagate, 1998, 46(11): 1629-1633.

[19] 林昌禄,聂在平.天线工程手册[M].北京:电子工业出版社,2002.

[20] BALANIS C A. Antenna theory analysis and design[M]. Hoboken: John Wiley & Sons Inc, 2005.

(收稿日期:2020-09-09)

作者简介:

孙南(1988-),男,本科,工程师,主要研究方向:射频微波电路技术及无线通信技术。

闻志国(1979-),男,本科,工程师,主要研究方向:微波技术、无线通信及物联网技术。

姜帆(1979-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:电力自动化、电力物联网技术。

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