

应用于 ISM 频段的小型双频微带天线

倪 扬 叶 明 王晓静

(上海大学通信与信息工程学院 上海 200072)

摘 要: 针对现代无线通信系统小型化、便携式的发展趋势,提出了一种新型的应用于 ISM 频段的小型双频微带天线,该天线成功覆盖了部分 ISM 频段(433.05~434.79 MHz、2.4~2.5 GHz)。蜿蜒的曲流结构,使得电流分布长度增加,从而使天线尺寸成功缩小到 30mm×25mm 内。加载技术的应用,实现了天线的双频特征。根据天线尺寸,做出了实物并与仿真结果进行比对。测得实际带宽:低频部分(428~440.6 MHz)、高频部分(2.39~2.51 GHz);实际增益:低频部分为-4.11 dBi、高频部分为 1.57 dBi,与仿真结果基本吻合。

关键词: ISM 频段;小型;双频;加载

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.10

Miniaturized dual-frequency microchip antenna for ISM band

Ni Yang Ye Ming Wang Xiaojing

(College of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: As the development of the miniaturization of the modern wireless communication system, a new miniaturized dual-frequency microstrip antenna model for ISM band has been proposed. The antenna has covered the ISM band (433.05-434.79 MHz, 2.4-2.5 GHz) successfully. Meandering structure contributes to the fact that the size of the antenna has been controlled in 30mm×25mm. Loading technology makes the antenna has the dual-frequency feature. According to the size of the antenna, a real one has been made to compare with the result of the simulation. The ISM band we measured: low-frequency (428-440.6 MHz), high-frequency (2.39-2.51 GHz); The gain we measured is -4.11 dBi at low-frequency and 1.57 dBi at high-frequency.

Keywords: ISM band; miniaturization; dual-frequency; load

1 引 言

信息技术日益发达的今天,由于射频技术、设备、器件的日趋成熟,且 ISM 频段的使用不需要申请和缴纳费用,无线通信被广泛的应用在生产生活的各个方面。

ISM 频段在各国的规定并不统一,在中国,由于 900 MHz 部分频段被用于 GSM 通信,所以常见的 ISM 频段是 433 MHz 和 2.4 GHz。

在众多天线中,微带天线具有体积小、重量轻、剖面低、能与载体共形、易集成等特点^[1],所以被广泛应用于无线通信系统^[2-3]。超宽带天线^[4]以及各种频段的电小天线^[5-6]一直是研究的热点。为了使天线小型化,人们通常采取的方法有:1)提高介质基板的介电常数;2)曲流技术;3)短路加载技术^[7];4)附加有源网络;5)应用电磁带隙结构^[8];6)应用左手介质^[9]。文献^[10]通过在天线末端加载容性负载来减小天线尺寸,将天线尺寸控制在 103mm×55mm 以内。文献^[11]提出了一种小型微带天线,微带天线采用了蜿蜒

结构的贴片,并在合适的位置加入短路片,大大减小了天线的尺寸。其工作频点为 433.9 MHz,带宽为 4 MHz,增益为-9.8 dB。文献^[12]提出了一种工作在 UHF 频段的双频 RFID 天线,通过短路加载、使用并行的微带线从而使天线小型化、双频化。提出一种工作在 433 MHz 和 2.4 GHz 的双频带微带天线,和文献^[11]相比,在实现双频工作的同时,该天线的尺寸也被成功控制在 30 mm×25 mm 范围内,在 ISM 频段具有一定的实用价值。

2 理论分析

微带天线通常工作于低阶模(如 TM_{01})谐振频率附近。针对矩形微带天线模型,其输入阻抗可以看成:

$$Z_{in} = \frac{1}{G_m + j(\omega C_m - \frac{1}{\omega L_m})} + j\omega L' \quad (1)$$

根据空腔理论模型,薄基片的微带天线在谐振频率附近处的输入电抗可以等效为:

$$X_0 = X_r + X_f \quad (2)$$

式中: X_r 为该模并联谐振等效电路的“电抗”, 即式(1)第 1 项的虚部:

$$X_r = -\frac{\omega C_{mn} - \frac{1}{\omega L_{mn}}}{G_{mn}^2 + \left(\omega C_{mn} - \frac{1}{\omega L_{mn}}\right)^2} \quad (3)$$

X_f 为馈源电抗, 即为式(1)第 2 项:

$$X_f = \omega L' \quad (4)$$

谐振时式(2)值为 0。解得形如:

$$\omega = f(G_{mn}, C_{mn}, L_{mn}, L') \quad (5)$$

此时调节天线的各项参数: G_{mn} 、 L_{mn} 、 C_{mn} , 可以确定 ω 的值, 即天线的工作频率。在本天线模型中, 调节辐射贴片长度以及贴片之间的间距, 就会影响 G_{mn} 、 L_{mn} 、 C_{mn} 参数, 从而使天线能够工作于所需频段。

微带天线实现多频带工作的基本方式可以分为 2 类: 多片法和单片法。多片法利用谐振频率不同的多个贴片来工作。通常就将较小的贴片叠在较大的贴片上, 称为积叠式微带天线。单片法仍只用一个贴片, 而利用不同模式同时工作, 或利用加载来形成几个不同的谐振频率。

若要用一个电抗对微带天线进行加载, 则式(2)的特征方程变为:

$$X_r + X_f + \xi X_L = 0 \quad (6)$$

或

$$X_r = -X_f - \xi X_L \quad (7)$$

式中: ξ 是与负载位置有关的修改系数。

对于短路传输线负载, $-X_f - \xi X_L$ 随频率的变化如图 1 所示。该曲线与 X_r 曲线的交点就是式(6)的解, 也就是加载情况下的谐振频率。

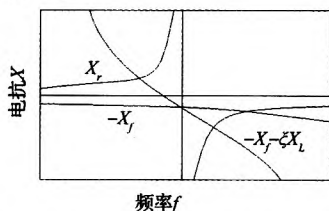


图 1 加载情况下的谐振频率的确定

不同的加载会出现不同的 $-X_f - \xi X_L$ 曲线, 但目的都是一样, 为了获得多个工作频段。

本天线模型在直线回旋形末端引入一矩形贴片进行加载。实验结果表明, 矩形贴片的引入, 使得本天线产生了一个新的工作频点。为了新的频段能够满足国际标准, 本设计对末端矩形贴片进行了锯齿状切割, 进行微调。

整个天线其具体尺寸大小可以参考以下步骤。

设计辐射贴片宽度 W :

$$W = \frac{c}{2f} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (8)$$

式中: c 是光速, f 是谐振频率。

而辐射贴片的长度一般取为 $\lambda_c/2$; 这里的 λ_c 是介质内的导波波长。

$$\lambda_c = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_r}} \quad (9)$$

考虑到边缘缩短效应后, 实际上的辐射单元长度 L 应为:

$$L = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_r}} - 2\Delta L \quad (10)$$

式中: ϵ_r 是有效介电常数, ΔL 是等效辐射缝隙长度。它们分别可以用以下公式计算:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-1/2} \quad (11)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_r + 0.3)(w/h + 0.264)}{(\epsilon_r - 0.258)(w/h + 0.8)} \quad (12)$$

3 天线的结构

天线的结构如图 2 所示, 该天线采用介质厚度为 2 mm 的 FR4 玻璃纤维环氧树脂作为基片, 使用特性阻抗 50 Ω 的共面波导进行馈电。从本文的天线结构中可以看出, 蜿蜒的辐射基片增加了电流的有效路径, 从而使得工作于 433 MHz 频段的天线能被压缩在小尺寸内。

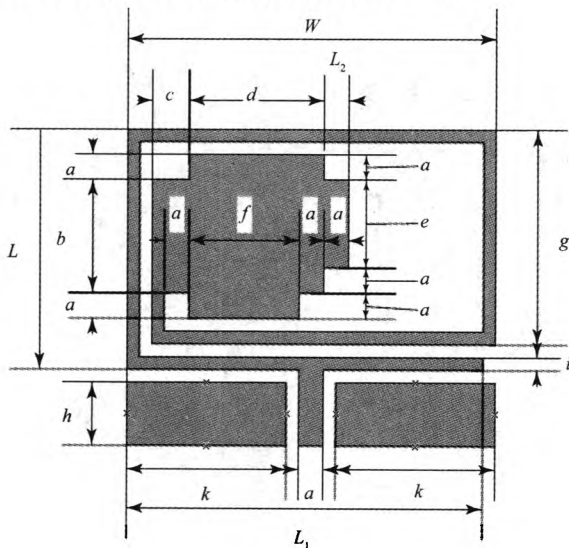


图 2 天线结构

光有环形辐射贴片是不能覆盖 2.4 GHz 频段的。在环形贴片的末端, 引入了另一个矩形贴片加载。仿真显示, 矩形贴片的引入使得覆盖 2.4 GHz 频段成为可能。最终经过 Ansoft 公司的电磁仿真软件 HFSS 对天线的仿真和优化, 最终得以确定参数如下: $W = 30$ mm, $L = 29$ mm, $L_1 = 29$ mm, $L_2 = 2$ mm, $a = 2$ mm, $b = 9$ mm, $c = 3$ mm, $d = 11$ mm, $e = 7$ mm, $f = 9$ mm, $g = 17$ mm, $h = 5$ mm, $i = 1$ mm, $k = 13$ mm。

4 实验结果与分析

天线的频带是指其特性参数在规定的容许范围内的频率范围。如图 3 所示,该天线在 433 MHz 和 2.4 GHz 频段有着良好的回波特性。天线在 -10 dB 的低端工作范围为 430~435 MHz,绝对带宽为 5 MHz,相对带宽为 1.2%。高端工作范围为 2.38~2.5 GHz,绝对带宽为 120 MHz,相对带宽为 5%。已经覆盖了国际上 ISM 的部分频段。

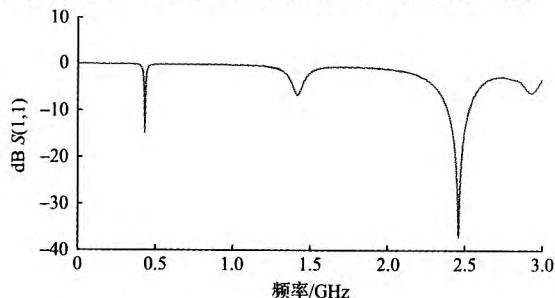


图 3 仿真 S_{11} 扫频分析结果

在仿真的基础上做出实物进行比对,由于加工精度的限制,频点略有偏差。从图 4 可以看出,在 -10 dB 处,实测低端部分带宽为 428~440.6 MHz,相对带宽为 2.8%,高端部分带宽为 2.39~2.51 GHz,相对带宽为 5%,与仿真结果基本吻合,天线实物如图 5 所示。

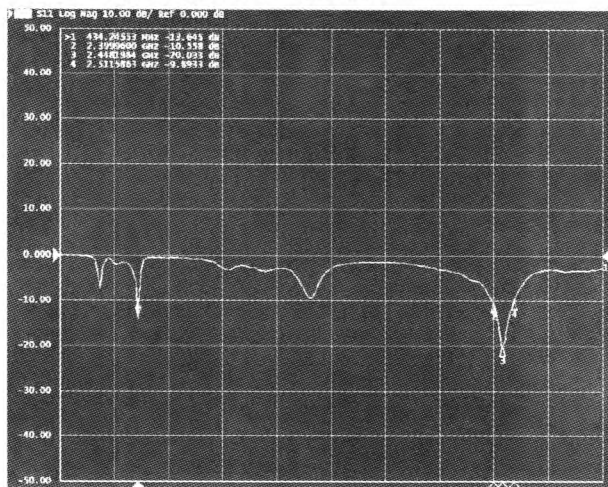


图 4 实测 S_{11}

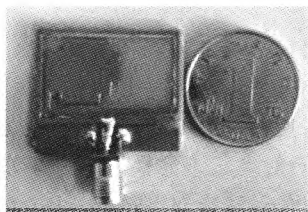


图 5 天线实物

通过多次仿真,发现参数 L_1 和 L_2 对双频天线的性能有着重要的影响。由天线表面的电流分布可知,天线结构中矩形环形部分对低频起主要的决定作用。图 6 (a) 显示,调节 L_1 的长度,随着 L_1 的增加,433 MHz 处的谐振频率逐渐降低。最终 $L_1 = 29$ mm 时,低频中心频点正好落在 433 MHz 上。而对 2.4 GHz 频段有影响较大的参数是 L_2 。如图 6 (b) 所示,增加 L_2 的长度,不仅谐振频率发生了偏移,而且阻抗匹配也出现了比较大的变化。通过不断的调试,最终当 L_2 取 2 mm 时,该天线不仅完全覆盖了 2.4 GHz 频段,而且 -40 dB 的 S_{11} 参数也说明此时天线有着很好的阻抗匹配。

其实,对于以上参数的调节,并不具有唯一性。对于该小型双频天线,任何一个参数的调节都会分别对 2 个频段产生影响。为了使 2 个频段都能和谐共生,对中间辐射贴片进行了锯齿状切割。

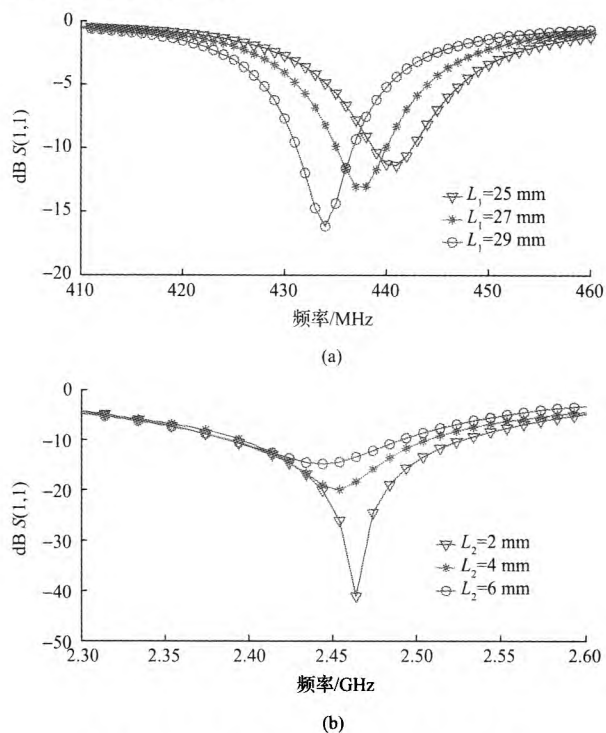


图 6 天线 S_{11} 参数随 L_1 、 L_2 长度的变化

在得到了比较好阻抗匹配的前提下,对天线的辐射方向进行了仿真。图 7 给出了天线在 433 MHz 和 2.4 GHz 时的 3D 辐射方向图。从图 7 (a) 可以看出,本天线在 433 MHz 工作频点有着“ ∞ ”字型的辐射方向;而图 7 (b) 显示,在 2.4 GHz 工作区域该天线有着较好的全向性。

图 7 同时也给出了理论仿真最大增益,天线在低端 433 MHz 处增益为 -6.9 dB,高端 2.45 GHz 处,增益为 2.77 dB。

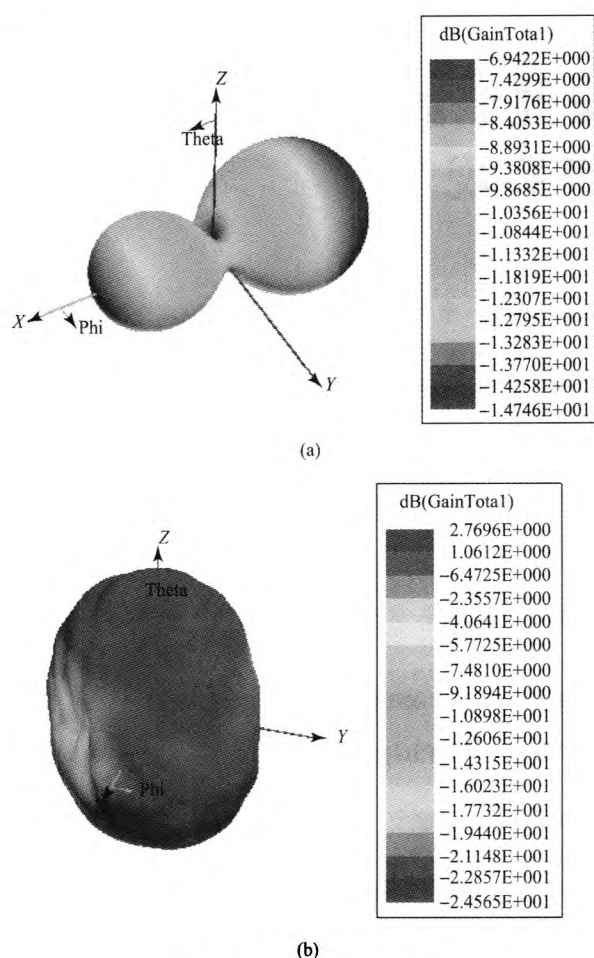


图 7 天线增益仿真结果

由于天线尺寸非常小,并且由于加载贴片的引入,导致了电小天线在低频工作区的辐射效率不是很高,所以在 433 MHz 工作频点处的增益不是很理想。

实际测量中,与半波振子天线进行比对,测得该天线在 433 MHz 处增益为 -4.11 dBi; 2.4 GHz 处增益为 1.57 dBi。

根据电小天线理论,过于小型化势必会引起天线性能的降低(尤其是在低频部分),如何展宽电小天线的带宽,增加其辐射效率等还需要进一步的研究。

5 结 论

提出了一种应用于 ISM 频段的小型双频微带天线,解决了同时工作于 2 种 ISM 频段的无线通信设备天线切换问题。利用曲流技术,将天线尺寸进一步缩小,使之可以集成于印刷版上,为其他设备腾出空间。经仿真模拟以及实物测试,结果显示该天线能很好的工作于 433 MHz 和 2.4 GHz 频段。天线的阻抗带宽以及增益均能满足 ISM 频段的无线通信。该天线结构简单,易于加工,有一定的实用价值。

参考文献

- [1] 葛琳. 一种新型双频微带天线的设计与仿真[J]. 电子

测量技术, 2007, 30(8): 147-149.

- [2] 张宁. 基于通信卫星的非对称圆环毫米波微带天线[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(5): 79-82.
- [3] 张晓星. GIS 局部放电检测的微带贴片天线研究[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(12): 1595-1599.
- [4] 李迎松. 共面波导馈电的超宽带天线研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(9): 819-823.
- [5] KIMOUCHE H. Electrically small antenna with defected ground structure [C]. Amsterdam: Radar Conference (EuRAD), 2009: 485-488.
- [6] CAEKENBERGHE V K. A 2.45-GHz Electrically Small Slot Antenna [C]. Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE Antennas and Propagation Society, 2008(7): 346-348.
- [7] KIM J S. Polarization and Space Diversity Antenna Using Inverted-F Antennas for RFID Reader Applications [C]. Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE Antennas and Propagation Society, Dec. 2006, 5(1): 1536-1225.
- [8] 杨虹, 陈轶芬, 邵建兴. Φ 形多频带小型微带天线的研究与设计[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2011, 23(3): 315-319.
- [9] 金秀华. 基于左手介质的小型微带天线[J]. 山西电子技术, 2008(6): 56-58.
- [10] LACH C. A new miniaturized antenna for ISM 433 MHz frequency band [C]. Antennas and Propagation (EuCAP), 2010 Proceedings of the Fourth European Conference, 2010: 1-5.
- [11] BABAR A. Miniaturized 433 MHz antenna for card size wireless systems [C]. Antennas and Propagation Society International Symposium, 2009. APSURSI'09. IEEE, 2009: 1-4.
- [12] BABAR A A. Miniaturized multipurpose dual UHF RFID band antenna [C]. Antennas and Propagation (EuCAP), 2010 Proceedings of the Fourth European Conference, 2010: 1-4.

作者简介

倪杨, 1989 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为射频电路、天线技术。

E-mail: ny_leon@163.com

叶明, 1957 年出生, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为微波与射频电路、天线技术。

E-mail: yeming@staff.shu.edu.cn

王晓静, 1989 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为射频电路、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>