

一种小型化 ISM 双频微带天线的设计

刘媛媛, 高锦春, 刘元安

(北京邮电大学电信工程学院, 北京, 100876, 中国)

摘要: 本文提出了一种工作于 ISM 的 2.4-2.485 GHz 和 5.75-5.825 GHz 频段的小型化双频微带天线的详细设计方案。在这个方案中, 天线的双频特性通过在矩形贴片上加载 U 型凹槽和短路针来实现, 并采用同轴线馈电。通过基于有限元法的高频电磁场仿真软件 Ansoft HFSS 仿真, 从这两个频段上的回波损耗、方向图及电场分布来分析所设计的天线的性能。由仿真结果可看出, 该结构有很好的双谐振特性, 中心频率分别为 2.44GHz 和 5.77GHz, 带宽在电压驻波比 $VSWR=2$ 时能够完全覆盖 ISM 频段, 且在工作波段有良好的增益特性, 均在 3dB 以上。

关键词: 微带天线, 双频, U 型缝隙, 平面倒 F

Design of a compact dual-band microstrip antenna at ISM bands

Liu Yuanyuan, Gao Jinchun, Liu Yuanan

(RF & Electromagnetic Compatibility Lab, Beijing University of Posts and Telecommunications P.O. Box 93#, Xitun Road No.10, Beijing, 100876, P.R. China)

Abstract: In this paper, a novel design method of compact dual-band microstrip antenna working on two ISM frequency bands at 2.4-2.485 GHz and 5.75-5.825 GHz is proposed and demonstrated. The dual frequency operation is achieved by using a short pin and loading a U-slot on rectangular patch. The design of this antenna system is accomplished using commercially available Finite Element software, High Frequency Structure Simulator (HFSS), of Ansoft. The performance of the designed antenna is assessed in terms of return loss (RL), radiation pattern and electric field distribution in the investigated frequency bands. The design results have been confirmed by the simulation, indicating the dual-band operation centered at 2.44GHz and 5.77GHz has been obtained. The proposed antenna has good gain and its impedance bandwidths defined at $VSWR = 2$ can meet the requirements of dual ISM bands.

Key words: microstrip antenna, dual-band, U-slot, PIFA

1. 研究背景

近几年来, 各种 WLAN (Wireless Local Area Network) 协议的快速发展和广泛应用使得基站和外围设备对高性能天线的需求日益强烈。就目前来讲, 最广泛使用的 WLAN 协议是 IEEE802.11b 和 IEEE802.11a, 前者使用 2.4GHz ISM 频段, 后者使用 5GHz ISM 频段。WLAN 的这些应用使得许多 WLAN 运营商对提供 ISM 频段的接入非常感兴趣。为满足这种需求, WLAN 接入天线必须表现出双频段性能。同时工作在这两个或多个频段的通信系统是无线通信发展的一个重要方向, 因此双频(或多频)微带天线成为微带天线近年来的研究热点。目前研究工作于 ISM 频段的双频天线主要集中于 2.4-2.485 GHz 和 5.15-5.35 GHz 两频段, 5.75-5.825 GHz 频段几乎是一个空白。

文献[1]提出了一种用于 WLAN 的双频印刷偶极子天线。一种 ISM 双频段圆形微带天线在文献[2]中有详细描述。文献[3]设计了一种窄宽度的双频 ISM 手提

平面倒 F 天线 (PIFA)。文献[4]给出了一种结构紧凑的工作于 ISM 频段的采用微带线或同轴线馈电的双频圆形 PIFA 天线。文献[5]在圆形微带贴片上开偏心非闭合环获得了 ISM 双频工作天线, 增益偏小, 分别为 2.9dBi 和 1.9dBi。文献[6]则设计了适合 WLAN 的多频段环形微带缝隙天线。文献[3-4]提出的 PIFA 天线的高度大约 7mm 左右。

本文提出的这种适用于 ISM 波段的双频矩形微带贴片天线结构, 高度只有 5mm, 整体尺寸进一步减小, 带宽增益特性有很大改善。

2. 微带天线结构设计

本文设计的天线采用在矩形贴片上加载 U 型缝隙, 用同轴线馈电, 加载短路针的方法。这样做同时达到了两个目的, 一是实现了天线的小型化, 使天线易于集成; 二是实现了天线有两个工作频率, 中心频率低频时为 2442MHz, 高频时为 5775MHz, 这种特性

使它在实际的应用中有很大的发展前景。

首先,针对较低的频率进行设计。PIFA 天线辐射贴片的长度 L 和宽度 W 决定了较低的谐振频率[7], 可由公式(1)大致算

$$f_{lo} = \frac{c}{4(w+l)} \quad (1)$$

式中 c 为光速

l 和 w 为辐射单元的长度和宽度

f_{lo} 为较低的辐射频率

然后在辐射贴片上切一个 U 型的缝隙, 将主贴片分为两部分。双波段的特性就是由这条缝隙引入。缝隙的内外两部分分别对应于较高和较低的频段。

较高的谐振频率也可由式(1)得出, 只不过式中的 l 和 w 由 l_2 和 W_2 代替。但是对于这个较高的谐振频率, 式给出的值比仿真和实验中的出的稍微低些。

随着加载 U 型缝隙的 PIFA 天线尺寸的变化, 输入阻抗和谐振频率的变化趋势如表 1 所示:

表 1 输入阻抗和谐振频率的变化趋势

	F1	F2	SWR1	SWR2
$W, L \uparrow$	↓	—	—	—
$L_2 \uparrow$	—	↓	—	—
$W_2 \uparrow$	—	↓	—	—
$G \uparrow$	—	↓	↓	↓

这个双频天线和运行在较低频率的单频的平面倒 F 型天线有几乎同样的尺寸。辐射部分由短路带接地, 短路带位于辐射部分的拐角处, 在短路带附近由同轴电缆馈电。天线的阻抗可以通过调节馈电和短路带之间的位置很容易的匹配于 50Ω 。

为保证只传输 TEM 波型, 在给定的工作频带内, 最短的工作波长 λ_{min} 与同轴线尺寸之间应满足下式

$$(a+b) \leq \frac{\lambda_{min}}{\pi} \quad (2)$$

另外为兼顾大的功率容量和小的损耗, 采取尺寸为 $b/a=2.3$ (b 为同轴线外半径, a 为同轴线内半径)。这样当填充介质为空气时, 相应于同轴线的特性阻抗是 50Ω 。

3. 仿真模型的建立

双频天线的模型设计成加载 U 型缝隙的形状, 工作频率为 2.4GHz 和 5.7GHz。

天线在顶部贴片上加载缝隙, 材料为铜。与材料也为铜的接地板相连, 接地板尺寸为长 30mm, 宽 30mm。短路针的高 5mm, 半径 0.2mm。这里要注意的是, 实际刻蚀的过程不是很精确的, 会对天线的尺寸带来误差。同样, 天线的带宽也依赖于接地板的尺寸和形状, 对这些频率不是最优的。

加载 U 型缝隙的双频 PIFA 天线贴片的尺寸为长 $L=15\text{mm}$, 宽 $W=14\text{mm}$, 缝隙的尺寸为内长

$L_2=8\text{mm}$, 内宽 $W_2=5\text{mm}$, 缝隙宽度 $G_1, G_2=1.4\text{mm}$, U 缝底部距最近的贴片辐射边 $L_3=3\text{mm}$ 。同轴线尺寸设计如下: 首先是保证特性阻抗是 50Ω , 在此基础上设计同轴线的内径为 0.2mm, 外径为 0.46mm, 中间的绝缘介质为空气, 介电常数为 1。

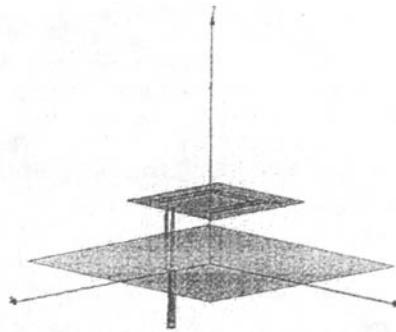


图 1 加载 U 型缝隙的双频 PIFA 天线的模型视图

利用仿真软件 Ansoft HFSS 绘制的小型化双频微带贴片天线模型如图 1 示。从这个图中可以清楚地看到天线的短路针和馈电同轴线都位于天线的同一端, 因为实验证明如果同轴线和短路针位于天线的不同端, 天线无法形成谐振。

4. 仿真结果及分析

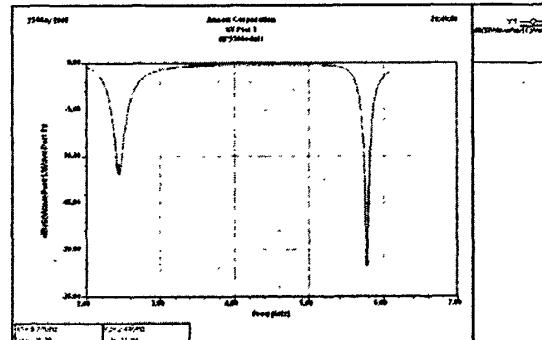


图 2 S_{11} 参数随频率变化仿真曲线

借助基于有限元法的大型电磁场仿真软件 Ansoft HFSS, 可以得到该天线结构的谐振特性、带宽特性如上图 2 所示。可见其双频谐振中心频率分别是 5770MHz 和 2440MHz, S_{11} 参数值分别为 -21.79dB 和 -11.94dB, 没有激励其除 TMn 模以外的其它谐振工作模式, 双频特性能够充分满足实际使用要求。同时在 $S_{11} < -10\text{dB}$ 时, 带宽分别达到了 90MHz 和 100MHz, 即 2395MHz-2485MHz, 5725MHz-5825MHz。能够很好的完全覆盖 ISM 的两个频段。

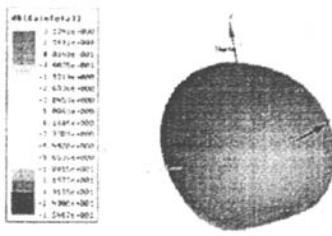


图 3 2.44GHz 时天线 3D 方向图

上图是天线 2.44GHz 时的 3D 方向图。可以看出天线在最大辐射方向上的增益（红色区域显示）为 3.12dB，增益性能良好。也可以看出天线的辐射主要集中在天线的贴片上半空间。

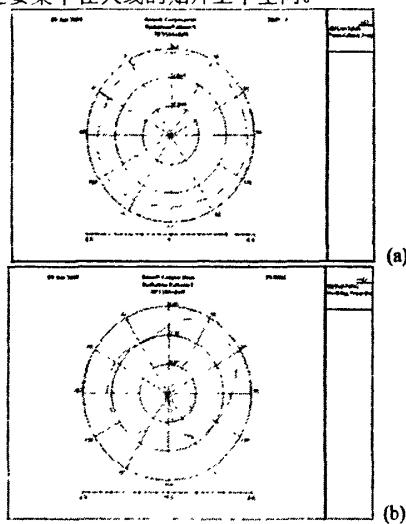


图 4 2.44GHz 时天线在 XY 平面和 XZ 平面的辐射方向图
图 4(a)和(b)分别是天线 XY、XZ 方向的方向图。利用这图可以更好的理解图 3。从图 4(a)看出天线在水平方向的辐射基本上是全向的，有一定的起伏。从(b)可以看出天线的辐射方向距 Z 轴有一定倾角，大概三十度左右。

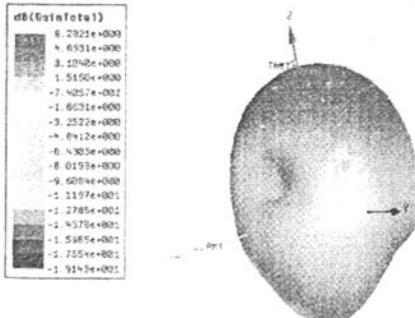
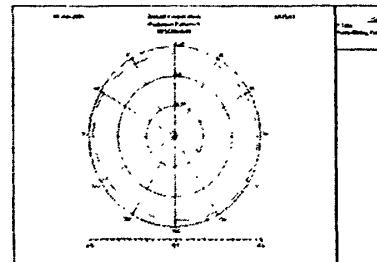
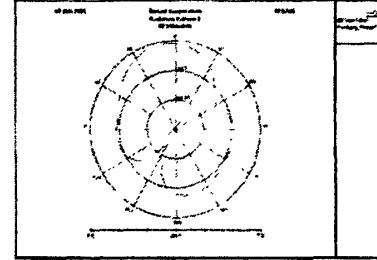


图 5 5.77GHz 时天线 3D 方向图



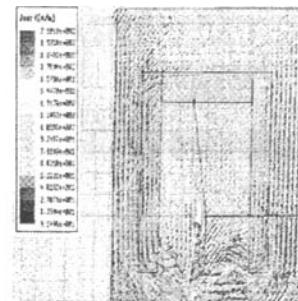
(a)



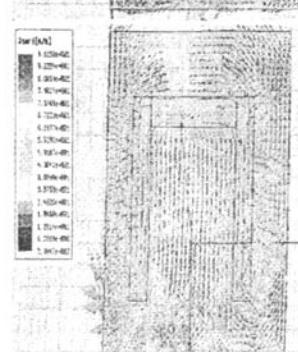
(b)

图 6 5.77GHz 时天线在 XY 平面(a)和 XZ 平面(b)的辐射方向图

上面图 5 和图 6 是天线 5.77GHz 时的辐射方向图。可以看出天线在最大辐射方向上的增益（红色区域显示）为 6.28dB，增益性能非常好。在 XY 平面的辐射方向图几乎是全向的。由上四幅图可以看出，它们有基本一致的宽边辐射特性和类似的交叉极化特性，而且双频段交叉极化特性 H 均明显好于 E 面，5.77GHz 频段 E 面的交叉极化略差。



(a)



(b)

图 7 2.44GHz 和 5.77GHz 时天线贴片表面电流矢量图

上面图 7 的分别是天线 2.44GHz 和 5.77GHz 时天线贴片表面电流的矢量图, 可以看出电流矢量方向。可以看出, 谐振于 2.44GHz 时, 电流主要分布在贴片上靠外的部分, 电流路径较长。而谐振于 5.77GHz 的时候, 电流主要分布在贴片上 U 型缝隙的内部和周围, 电流路径较短。这样通过用加载 U 型缝隙, 使一个固定贴片投影区域的表面电流延长。这种情况比起使用曲流技术, 不会产生侧面电流成分。这种曲流技术在运行频段内可产生较好的交叉极化水平。

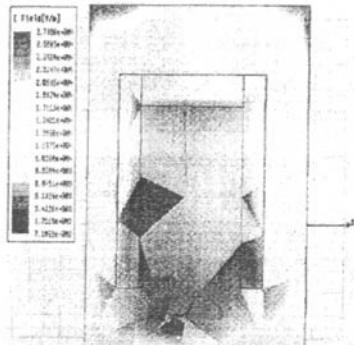


图 8 2.44GHz 时天线贴片电场矢量图

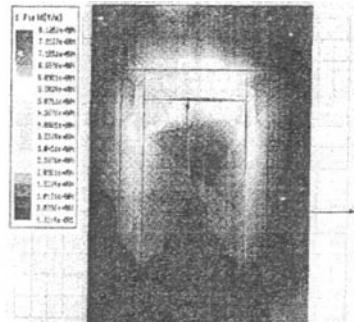


图 9 5.7GHz 时天线贴片表面电场矢量图

图 8 和图 9 分别显示的是谐振于 2.44GHz 和 5.7GHz 时天线贴片上的电场分布, 可以看到天线贴片上的电场强度分布。电场强度在图 8 中于贴片最底部达到最大值, 在图 9 中于 U 型缝隙的底部电场强度达到最大值, 到短路点附近电场达到最小值。比较上两图可以看出, 对于不同的谐振频率, 电场强度的分布有很大不同, 这也对应着图 7 中电流分布的不同。这些都说明了电流分布路径的不同对谐振频率的影响, 也进一步证明了通过在贴片表面刻蚀缝隙可以产生双频效果。

5. 总结

本文提出了工作于 ISM 频段的小型化双频微带贴片天线的结构, 即在矩形贴片上加载 U 型凹槽, 采用同轴线馈电方式。利用仿真软件 Ansoft HFSS, 分析了其性能。仿真结果表明, 该结构有很好的双谐振特性, 中心频率分别为 2.44GHz 和 5.77GHz, 带宽在电压驻

波比 $VSWR=2$ 时能够良好的全覆盖 ISM 的 2.4-2.485 GHz 和 5.75-5.825 GHz 两个频段并略有盈余。同时天线在工作频段具有良好的交叉极化特性和增益特性, 增益均在 3dB 以上, 能够适应新一代宽带 WLAN 的频段、带宽要求。而且这种适用于 ISM 波段的双频矩形微带贴片天线结构, 高度只有 5mm, 整体尺寸进一步减小, 带宽增益特性有很大改善。该天线的更多优点如下:

- 提出的天线成功的利用各种技术弥补了传统微带贴片天线内的不足。
- 天线的双频特性由凹槽对二阶模的扰动来形成, 受扰后的二阶模在辐射特性和匹配特性上都接近主模, 从而能以单一馈点同时匹配两个模式。
- 该天线在所要求的 ISM 频段上实现双频工作。天线具有低的反射损耗, 在要求的两个频段内 S_{11} 均小于 -10dB。在要求的频段内增益均大于 3dB。
- 天线的辐射图显示出水平面几乎全向的特性, 而且天线的效率对 ISM 而言在可接受的范围内。

参考文献:

- [1] Y.H Suh and K Chang. "Low Cost Microstrip -Fed Dual Frequency Printed dipole Antenna for Wireless Communications". Electronics Letters, Vol. 36, No.14, 6 July, 2000, pp. 1177- 1179.
- [2] J.Y. Jan. "Low Profile Dual Frequency Circular Microstrip Antenna For Dual ISM Bands", Electronics Letters, Vol. 37, No. 16, 2nd August, 2001, pp. 999- 1000.
- [3] G. R. Kadambi et al "Dual ISM Band PIFA For Wireless Communication", URSI Symposium, 2002, San Antonio, pp. 411
- [4] S Yurası et al "Compact Dual ISM Band Circular PIFA With Integrated Feed Line For Wireless Application", URSI Symposium. 2002, San Antonio, pp.410
- [5] Jan J Y. "Low-profile dual-frequency circular microstrip antenna for dual ISM bands". Electronics Letters, 2001,31(16).999-1000
- [6] Bolzer F, Louzir A "Multi-band annular slot antenna for WLAN applications". IEE International Conference on Antennas and Propagation, 2001, 480 529-531
- [7] Salonen, P., Keskilammi, M.; Kivikoski, M. "Single-feed dual-band planar inverted-F antenna with U-shaped slot". Antennas and Propagation, IEEE Transactions on 2002

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>