

文章编号:1001-893X(2011)03-0052-04

## 用于 ISM/UNNI 频段的新型双频单极子天线设计\*

周 成,王光明,梁建刚

(空军工程大学 导弹学院,陕西 三原 713800)

**摘 要:**针对天线在 ISM 和 UNNI 频段的应用,提出了一种采用共面波导馈电的新型单极子双频天线,在传统 T 型单极子天线上平行加载辐射贴片实现双频工作。分析了天线尺寸变化对工作频率的影响,得出所设计的天线频率比在 1.67~2.67 范围内可调。制作加工了工作于 ISM/UNNI 频段的天线实物,测试结果与实验结果吻合良好。天线全向辐射性能良好,分别在低频段和高频段获得了 21.28% 和 3.9% 的相对带宽( $S_{11} \leq -10$  dB),适用于无线通信领域。

**关键词:**微带天线;共面波导;双频;单极子;频率比可调

**中图分类号:**TN82 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-893x.2011.03.012

## A Novel Dual-band Monopole Antenna for ISM and UNNI Bands

ZHOU Cheng, WANG Guang-ming, LIANG Jian-gang

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China)

**Abstract:** For the application of antenna in ISM and UNNI bands, a novel monopole dual-band antenna using CPW-fed is proposed. A radiation patch is loaded on a traditional T-shaped antenna to realize operating in dual-band. The effect of antenna size on frequency is analysed, which shows that the frequency ratio can be tuned from 1.67 to 2.67. An antenna worked on ISM/UNNI bands is fabricated and measured, and the measured results are in good agreement with the simulated results. This antenna has a good radiation capability of full-direction, and it has gained a relative bandwidth of 21.28% and 3.9% at the lower and higher frequency respectively( $S_{11} \leq -10$  dB), so it is suit for wireless communication field.

**Key words:** microstrip antenna; coplanar waveguide(CPW); dual-band; monopole; frequency ratio tunable

### 1 引 言

随着无线通信技术的发展,无线局域网的便携式移动终端逐渐成为各种商务应用的主体。在众多的无线协议中,蓝牙技术和 Home RF 已占据了重要的地位,这主要得益于它们工作于无需申请的、全球通用的工业、科学和医疗(Industrial Scientific and Medical, ISM)频段(2 400~2 483.5 MHz);但该频段只有 83.5 MHz 带宽,限制了数据传输速度。为了满

足室内和短距离通信需要,IEEE 802.11a 和 HiperLan 建议使用带宽为 200 MHz、频带范围为 5.15~5.35 GHz 的 UNNI(Unlicensed National Information Infrastructure)频段<sup>[1]</sup>。因此,设计出工作在 ISM 和 UNNI 频带的双频天线具有重要的实用价值。

近年来,微带天线由于其重量轻、剖面低、易于与其它电路集成而受到广泛的关注和研究。一般地,实现多频工作的方式可以概括为多模正交<sup>[2]</sup>、多层贴片<sup>[3]</sup>、阻抗加载<sup>[4]</sup>3 种。多模正交天线可在不同的频率上激励起相互正交的谐振模,有利于与单

\* 收稿日期:2010-10-20;修回日期:2010-12-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60971118)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (No.60971118)

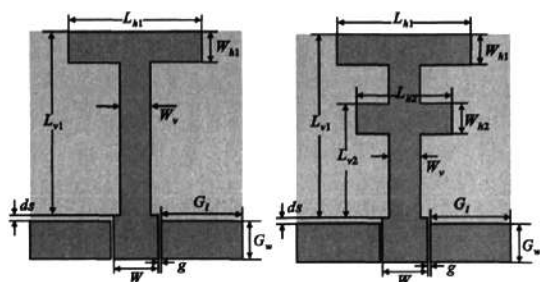
一的馈电结构同时匹配<sup>[5]</sup>,但是其频率比常常受到基片尺寸的限制。多层贴片天线一般是利用低频工作的辐射单元作为高频工作辐射单元的地面<sup>[5]</sup>,虽然增益较高但是由于上下层贴片之间的强烈耦合,分析和设计起来往往比较麻烦,且仅适用于小频率比工作。

平面单极子天线近年来倍受广大天线工作者关注,文献[6]提出了一种工作在2.4 GHz ISM 频段的T型单极子天线,分析了天线尺寸对天线性能的影响并制作出相对带宽为16.33%的天线模型。本文在其基础上加载了一条水平辐射臂,根据自相似理论<sup>[7,8]</sup>,新添加的水平臂与垂直臂组成自相似的T型辐射带,引入新的工作频率,并且电特性应与原始工作频率相似。利用商业仿真软件 Ansoft HFSS 对加载后的天线端口回波损耗进行了仿真计算。在分析天线谐振频率随结构参数变化关系的基础上,制作了同时工作于 ISM 和 UNNI 频段的天线实物,理论和实测结果吻合良好,符合工程实际应用。仿真和实测结果表明,该天线频率比在 1.67 ~ 2.67 范围内可调,两个工作频率的电特性保持一致。

## 2 天线结构与参数

图1(a)为文献[5]所提的T型单极子天线结构,本文天线结构如图1(b)所示,整个天线单元单面印制在介电常数  $\epsilon_r = 4.3$ 、厚度  $h = 1$  mm、介质损耗角正切  $\tan\delta = 0.002$  的环氧玻璃布板上,基板面积为  $34.9 \text{ mm} \times 28 \text{ mm}$ ,天线由  $50 \Omega$  无地共面波导(UG-CPW)直接馈电,  $W = 5.8 \text{ mm}$ ,  $g = 0.4 \text{ mm}$ 。图中深色部分为金属,浅色部分为介质。 $ds$  用来调节阻抗匹配,  $W_{h1}$ 、 $W_{h2}$ 、 $W_v$  的变化不影响工作频率<sup>[5]</sup>,取  $W_{h1} = W_{h2} = W_v = 4 \text{ mm}$ ,两个水平臂的长度和到馈电端距离是影响工作频率的重要参数<sup>[5]</sup>。因此,本文将重点就  $L_{h1}$ 、 $L_{h2}$ 、 $L_{v1}$ 、 $L_{v2}$  的变化对频率的影响展开讨论和分析。为了便于与文献[5]比较,取  $L_{v1} = 19.9 \text{ mm}$ ,那么对于  $L_{v2}$  的变化可以用一个参数  $dL$  来描述,  $dL$  表示加载的水平臂到原始水平臂的垂直距离,这样就简化成考察工作频率随  $L_{h1}$ 、 $L_{h2}$ 、 $dL$  变化的关系。

(1)当  $L_{h1} = L_{h2} = 7.6 \text{ mm}$  时,  $S_{11}$  随  $dL$  变化的关系如图2所示,说明随着  $dL$  的增加,高端频率逐渐下降,低端工作频率不受其影响,频率比稍有下降。

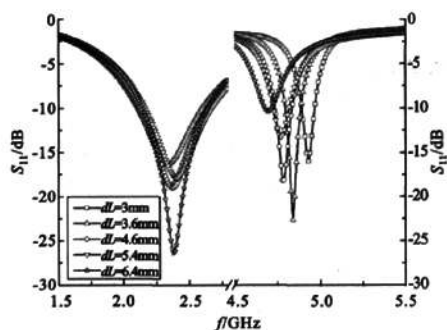


(a) 文献[5]提出的天线结构

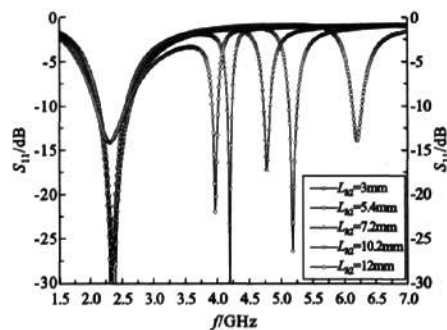
(b) 本文天线结构

图1 天线结构示意图

Fig.1 Antenna configuration

图2  $S_{11}$  随  $dL$  变化的关系Fig.2  $S_{11}$  as  $dL$ 's change

(2)当  $L_{h1} = 7.6 \text{ mm}$ 、 $dL = 8 \text{ mm}$  时,  $S_{11}$  随  $L_{h2}$  变化的关系如图3所示,说明随着  $L_{h2}$  的增加,高端频率逐渐下降,低端工作频率不受其影响,频率比下降明显。

图3  $S_{11}$  随  $L_{h2}$  变化的关系Fig.3  $S_{11}$  as  $L_{h2}$ 's change

(3)当  $L_{h2} = 7.6 \text{ mm}$ 、 $dL = 8 \text{ mm}$  时,  $S_{11}$  随  $L_{h1}$  变化的关系如图4所示,说明随着  $L_{h1}$  的增加,高端和低端工作频率同时下降,且下降幅度保持一致,频率比随之上升。

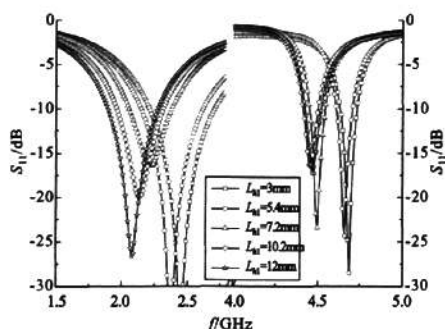


图4  $S_{11}$ 随  $L_{h1}$ 变化的关系  
Fig.4  $S_{11}$  as  $L_{h1}$ 's change

### 3 天线制作与测量

制作了同时工作于 ISM/UNNI 频段的天线实物模型, 天线部分尺寸为:  $L_{h1} = 17.4$  mm,  $L_{h2} = 14.4$  mm,  $L_{v1} = 23.8$  mm,  $L_{v2} = 14.8$  mm,  $ds = 0.8$  mm,  $G_w = 9.2$  mm,  $G_l = 10.7$  mm。实物照片如图 5 所示, 回波损耗  $S_{11}$  的测试结果与仿真结果比较如图 6 所示, 方向图测试结果如图 7 和图 8 所示。

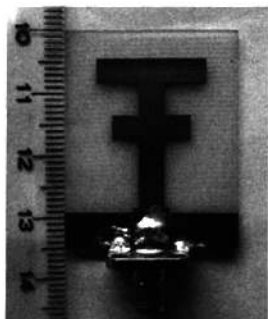


图5 ISM/UNNI 双频天线实物照片  
Fig.5 Photograph of ISM/UNNI dual-band antenna

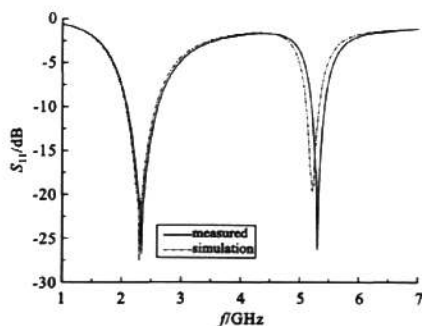
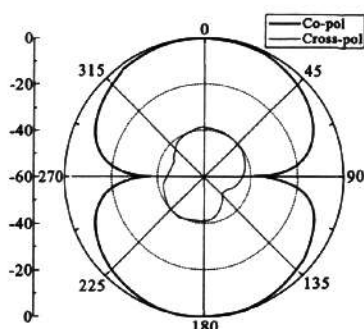
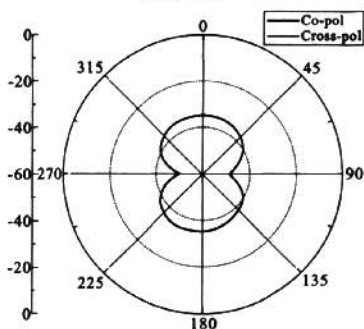


图6  $S_{11}$  仿真结果与测试结果比较  
Fig.6 Measured and simulation results of  $S_{11}$

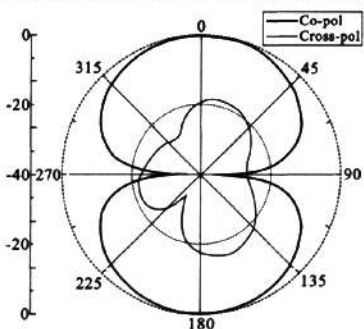


(a)  $\varphi = 90^\circ$

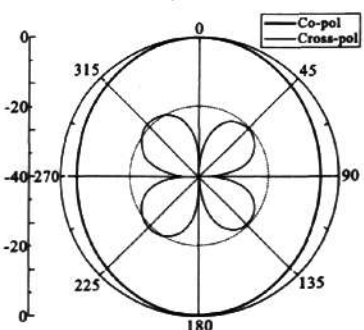


(b)  $\varphi = 0^\circ$

图7 2.4 GHz 时天线方向图  
Fig.7 Measured results of radiation patterns at 2.4 GHz



(a)  $\varphi = 90^\circ$



(b)  $\varphi = 0^\circ$

图8 5.2 GHz 时天线远场方向图  
Fig.8 Measured results of far field radiation patterns at 5.2 GHz

由图6可知,天线回波损耗的仿真结果和测试结果基本吻合,测试结果的两个工作频点均向高端有大约30 MHz的偏移,应是加工不精确和焊接影响造成的。由图7和图8可知,天线在两个频点上的方向图基本一致,最大辐射方向均位于 $0^\circ$ 和 $180^\circ$ 方向,保持了传统单极子天线的辐射特性,说明了该双频天线具有良好的应用空间。

#### 4 结束语

本文提出了一种由无地共面波导(UG-CPW)馈电的新型双频天线,研究了天线尺寸对工作频率的影响,制作了一种应用于ISM/UNNI双频工作的天线实物模型,测试结果与仿真结果吻合良好,在保持传统单极子天线辐射性能的基础上,展宽了低频段的带宽,比文献[5]中天线的相对带宽提高了4.95%。该天线结构简单、单面印制、便于安装,且频率比在1.67~2.67范围内可调,而文献[9]提出的H型双频天线频率比仅为1.716~2.363。因此,该天线在双、多频领域具有广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 董三军,徐姣姣,姜玟. ISM和UNNI双频印制天线设计[J].应用科技,2009,36(9):34-38.  
DONG San-jun, XU Jiao-jiao, JIANG Wen. Design of dual-band printed antenna used for ISM and UNNI Bands[J]. Applied Science and Technology, 2009, 36(9): 34-38. (in Chinese)
- [2] Behdad N, Sarabandi K. A varactor-tuned dual-band slot antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2006, 54(2): 401-408.
- [3] Karkkainen M K. Meandered multiband PIFA with coplanar parasitic patches[J]. IEEE Microwave Wireless Components Letters, 2005, 15(10): 630-632.
- [4] Dong-yeon Kim, Jae W Lee, Choon Sik Cho, et al. Design of a compact tri-band PIFA based on independent control of the resonant frequencies[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2008, 56(5): 1428-1436.
- [5] 陈志亮. 双频宽带微带天线和分形天线的研究[D]. 西安:西北工业大学,2006.  
CHEN Zhi-liang. A study of dual and wideband microstrip antennas and fractal antennas [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2006. (in Chinese)
- [6] 高红卫,焦永昌,张福顺. 2.4 GHz ISM频段平面印刷T型单极子天线的研究与设计[J].微波学报,2006,22(增1):35-38.  
GAO Hong-wei, JIAO Yong-chang, ZHANG Fu-shun. Design and Study of 2.4 GHz ISM band planar printed T-shaped monopole antenna [J]. Journal of Microwaves, 2006, 22(z1): 35-38. (in Chinese)
- [7] 刘英,龚书喜,付德民. 用于多频通信的微带分形贴片天线[J].微波学报,2001,17(4):76-79.  
LIU Ying, GONG Shu-xi, FU De-min. Microstrip fractal patch antenna for multi-band communication [J]. Journal of Microwaves, 2001, 17(4): 76-79. (in Chinese)
- [8] 曾宪峰,张晨新,王亚伟,等. 新型平面树状分形偶极子贴片天线的设计[J].电讯技术,2010,50(5):76-79.  
ZENG Xian-feng, ZHANG Chen-xin, WANG Ya-wei, et al. A novel planar tree-shaped fractal dipole patch antenna [J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(5): 76-79. (in Chinese)
- [9] 戚冬生,黎滨洪,刘海涛,等. 缝隙加载H形双频天线[J].电波科学学报,2004,19(1):95-98.  
QI Dong-sheng, LI Bin-hong, LIU Hai-tao, et al. Slot-loaded H-shaped dual-frequency antenna [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2004, 19(1): 95-98. (in Chinese)

#### 作者简介:

周成(1989-),男,安徽池州人,2009年于空军工程大学获军事学学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为天线、电磁兼容与电波传播等;

ZHOU Cheng was born in Chizhou, Anhui Province, in 1989. He received the B.S. degree in Air Force Engineering University (AFEU) in 2009. He is now a graduate student. His research interests include antenna, EMC, electromagnetic wave propagation, etc.  
Email: zhoucheng602@yahoo.com.cn

王光明(1964-),男,安徽砀山人,分别于1982年、1990年获空军导弹学院学士及硕士学位,1994年获电子科技大学博士学位,现为空军工程大学教授、博士生导师,主要研究方向为天线与毫米波电路、电磁兼容、电磁散射与逆散射等;

WANG Guang-ming was born in Dangshan, Anhui Province, in 1964. He received the B.S. degree, the M.S. degree in Air Force Missile Institute and the Ph.D. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 1982, 1990 and 1994, respectively. He is now a professor and also the Ph.D. supervisor. His research interests include antenna and millimeter wave circuit, EMC, scatter and inverse scatter of electromagnetic wave, etc.

梁建刚(1975-),男,安徽肥东人,分别于1997年、2000年、2004年获空军导弹学院学士、硕士及博士学位,现为空军工程大学副教授、硕士生导师,主要研究方向为微波与毫米波电路、电磁兼容与电波传播等。

LIANG Jian-gang was born in Feidong, Anhui Province, in 1975. He received the B.S. degree, the M.S. degree and the Ph.D. degree in Air Force Missile Institute in 1997, 2000 and 2004, respectively. He is now an associate professor and also the instructor of graduate students. His research interests include microwave and millimeter wave circuit, EMC, electromagnetic wave propagation, etc.

## 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](http://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](http://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](http://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>