

# 一种基于圆环缝隙结构的双频宽带天线

赵波 李海洋

(中国空空导弹研究院, 洛阳 471009)

**摘要** 提出了一种基于圆环缝隙结构的双频宽带天线。内外环缝间对称分布的四个矩形切口确保能量由外到内传递, 内圆环中 H 形缝隙的引入使低频段带宽提高了 1 倍。仿真结果显示, 该天线的  $-10$  dB 阻抗带宽分别为  $(1.80 \sim 3.29)$  GHz 和  $(4.83 \sim 6.82)$  GHz; 天线的相对带宽分别达到了 58.5% 和 34.2%; 覆盖了无线局域网 (WLAN) 的所有三个频段和宽带互通微波接入 (WiMAX) 的 2.5 GHz 和 5.25 GHz 两个频段。

**关键词** 圆环缝隙结构 双频 宽带 无线局域网

**中图分类号** TN823.24; **文献标志码** A

在某些雷达和通信系统, 如合成孔径雷达、无线通信系统 (如 GSM、WLAN、WiMAX 等) 及卫星定位导航系统 (GPS、北斗等) 中经常需要天线在双频段或多频段工作以使一副天线实现更多的功能, 由此多频技术应运而生。微带天线以其体积小、重量轻、可与载体共形以及易于实现双频、多频工作的特点使其在这一领域的应用具有很大的优势。

微带天线实现多频的基本方式主要有: 利用积叠结构; 采用不同模式同时工作; 缝隙加载; 短路针加载; 引入寄生单元等<sup>[1,2]</sup>。由于缝隙加载可以在单层微带天线上实现多频, 且具有阻抗带宽宽、制作工艺相对简单和易于微波电路集成等优点, 许多学者提出了很多多频缝隙天线的形式。如阶梯形缝隙天线<sup>[3]</sup>、矩形缝隙天线<sup>[4]</sup>、微带环形平面天线<sup>[5]</sup>、双 U 形缝隙加载的分形天线<sup>[6]</sup>等。

本文在对传统圆环缝隙天线进行分析的基础上, 提出了一种形式新颖的双频宽带圆环缝隙天线, 仿真结果显示该天线具有良好的双频及宽带性能。

## 1 天线设计

### 1.1 传统圆环缝隙天线

传统圆环缝隙天线是在介质基板的接地面上蚀刻一个圆环形缝隙, 在基板的另一面用  $50 \Omega$  开路微带线馈电, 结构如图 1 所示。其中环缝半径决定天线的谐振频率, 通过调整微带线终端与环缝中心的相对位置以及环缝宽度可以得到最佳匹配。

在理想情况下, 一块无穷大导电平板上的圆环缝隙可以等效成面磁流的环形分部, 表示为<sup>[7]</sup>:

$$\mathbf{M}(\rho, \varphi) = \mathbf{E}_a(\rho, \varphi) \times \mathbf{n}.$$

式中,  $\mathbf{E}_a$  是口面电场,  $\mathbf{n}$  是垂直于口面的单位矢量。

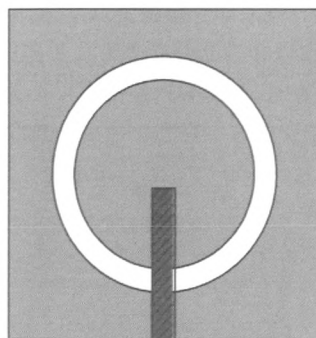


图1 传统圆环缝隙天线结构示意图

圆环缝隙天线阻抗带宽的中心频率可由式(1)求得<sup>[8]</sup>。

2012年3月12日收到

第一作者简介: 赵波 (1986—), 河南洛阳人, 助理工程师, 硕士, 研究方向: 主要从事天线系统的设计研究。

$$fc \approx \frac{c}{2\pi(r_1 + r_2)}\delta. \quad (1)$$

式(1)中:  $r_1$ 、 $r_2$  为圆环缝隙的内外半径,  $\delta$  为修正因子, 用于修正由于缝隙上、下介质层不同对天线造成的影响, 其值与介质材料以及介质板的厚度有关。

## 1.2 双频宽带圆环缝隙天线

圆环缝隙天线易于实现双频工作, 传统的设计方法是利用 2 个圆环缝隙作为辐射元来实现双频段工作。当高低频段对应的谐振频率之比不大, 即 2 个圆环缝隙距离比较近时, 在 2 个环缝周围都有密集的电分布, 天线的双频效果十分明显; 可当高低频段对应的谐振频率之比较大, 即两个圆环缝隙距离比较远时, 只有外环周围有密集的电分布, 而内环周围几乎没有电分布, 高频段的谐振效果会受到很大影响, 甚至失去双频效果。

为了克服传统圆环缝隙天线的缺点, 本文提出了一种形式新颖的双频宽带圆环缝隙天线, 天线结构如图 2 所示。

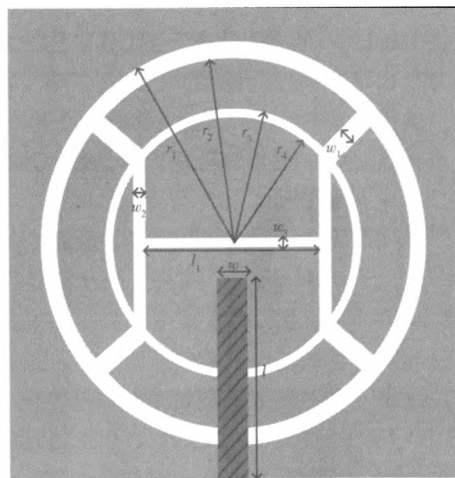


图2 双频宽带圆环缝隙天线结构示意图

天线由三部分组成: 顶部为金属接地面, 在金属接地面上有 2 个同心的圆环缝隙, 分别作为高低频段的辐射元, 并用 4 个对称分布的矩形切口连接两个圆环缝隙, 使能量可以从外环耦合到内环, 从而保证了在高低谐振频率之比很大时依然可以实现明显的双频效果, 内环中 H 形缝隙的引入明显改善低频段的频率特性, 使其带宽提高了 1 倍; 中间

为介质基板层, 为了节约成本实现工程化应用, 采用常用的 FR-4 介质板, 介电常数  $\epsilon_r = 4.4$ , 厚度为 1.6 mm, 大小为 50 mm × 50 mm; 底部为 50  $\Omega$  开路微带馈线。其中微带馈线的宽度为  $w$ , 长度为  $l$ ; 外圆环缝隙的外径为  $r_1$ , 内径为  $r_2$ ; 内圆环缝隙的外径为  $r_3$ , 内径为  $r_4$ ; 内外圆环缝隙间对称分布的四个矩形切口的宽度均为  $w_1$ ; H 形缝隙横臂的长度为  $l_1$ , 宽度为  $w_3$ , 两对称竖臂的宽度均为  $w_2$ 。

## 2 仿真结果及分析

在确定了天线的结构以后, 为了进一步研究天线的各项性能指标, 利用基于有限元法的电磁仿真软件 Ansoft HFSS V10.0 对天线的各个参数进行了优化仿真。

通过综合分析内外圆环缝隙半径尺寸、矩形切口宽度和 H 形缝隙的大小等几个参数变化对天线  $S_{11}$  频率特性的影响, 经过一系列的优化对比, 最后得到的天线尺寸为:  $l = 23.0$  mm,  $w = 3.0$  mm,  $r_1 = 19.5$  mm,  $r_2 = 18.0$  mm,  $r_3 = 12.0$  mm,  $r_4 = 11.0$  mm,  $w_1 = 2.0$  mm,  $w_2 = 1.5$  mm,  $l_1 = 15.3$  mm,  $w_3 = 0.8$  mm。优化后仿真得到的天线的性能参数  $S_{11}$  及远区场的辐射方向图如图 3 ~ 图 4 所示。

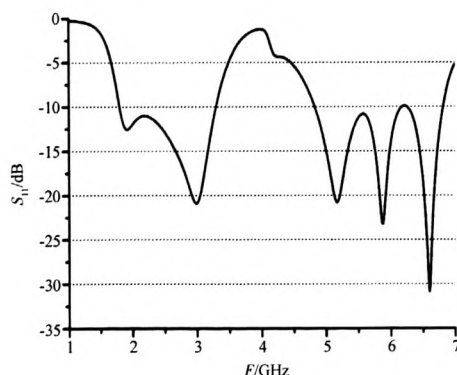


图3 天线回波损耗的仿真结果

图 3 给出了天线阻抗带宽的仿真结果。回波损耗是描述天线的输入端由于阻抗不匹配造成的能量反射损失, 定义为  $10 \lg |S_{11}|^2$ , 通信系统中一般认为 -10 dB 以下为可以接受的范围, 并将其定义为天线的阻抗带宽。从仿真结果可以看出, 该天线有

2 个工作频段,回波损耗小于  $-10$  dB 阻抗带宽分别为  $(1.80 \sim 3.29)$  GHz 和  $(4.83 \sim 6.82)$  GHz,天线的相对带宽分别达到了 58.5% 和 34.2%,完全覆盖了 IEEE 802.11 a/b/g 规定的无线局域网(WLAN)的 2.45 GHz  $(2.4 \text{ GHz} \sim 2.4835 \text{ GHz})$ 、5.2 GHz  $(5.15 \text{ GHz} \sim 5.35 \text{ GHz})$  和 5.8 GHz  $(5.725 \text{ GHz} \sim 5.825 \text{ GHz})$  三个频段和宽带互通微波接入(WiMAX)的 2.5 GHz  $(2.5 \text{ GHz} \sim 2.69 \text{ GHz})$  和 5.5 GHz  $(5.25 \text{ GHz} \sim 5.85 \text{ GHz})$  频段。

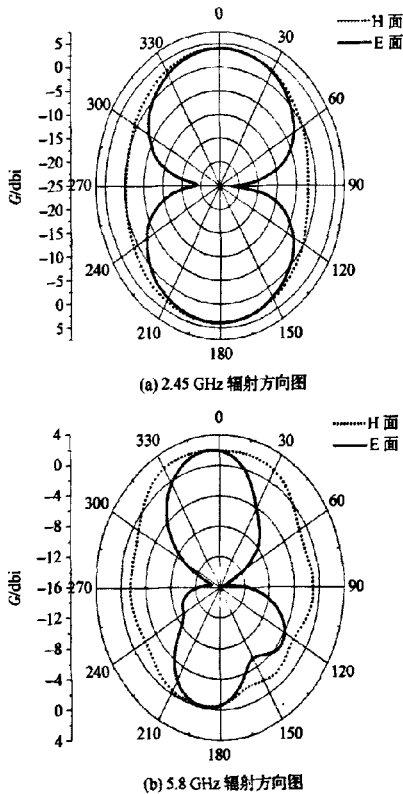


图4 天线在 2.45 GHz 和 5.8 GHz 的辐射方向图

图4 分别给出了天线在 2.45 GHz 和 5.8 GHz 的辐射方向图。从图中可以看出,该天线为双向天

线,上下辐射最大,中间辐射较小,上下对称。在 5.8 GHz 时方向图有一定的变形,主要是 5.8 GHz 频段的辐射电场受到了 2.45 GHz 频段高次谐波的干扰。其中 2.45 GHz 时天线的最大增益达到了 4.0 dBi;在 5.8 GHz 时天线的最大增益为 2.7 dBi。

### 3 结论

本文针对传统圆环缝隙天线存在的不足提出了一种基于圆环缝隙结构的双频宽带天线,并利用 HFSS 对其关键参数进行了分析优化,仿真结果表明,该天线具有明显的双频及宽带效果, $-10$  dB 阻抗带宽分别达到了 58.5% 和 34.2%,完全覆盖了 WLAN 的 2.45 GHz、5.2 GHz 和 5.8 GHz 全部三个频段和 WiMAX 的 2.5 GHz 和 5.5 GHz 两个频段。同时,该天线结构简单,加工方便,易于和微波电路集成,具有良好的应用前景和参考价值。

### 参 考 文 献

- 1 钟顺时. 微带天线理论与应用. 西安:西安电子科技大学出版社,1991
- 2 鲍尔 J J,布哈蒂亚 P. 微带天线. 北京:电子工业出版社,1984
- 3 Wang C J, Tasi W T. A stair-shaped slot antenna for the triple-band WLAN application. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2003; 39(05): 370—372
- 4 Hsiao H M, Wu J W, Wang Y D. Novel dual-broadband rectangular-slot antenna for 2.4/5 GHz wireless communication. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2005; 46(03): 197—200
- 5 王江曼,陈德智. 微带环形平面双频超宽带天线设计. *信息技术*, 2011; 8: 119—121
- 6 吴启铎,张广求,任 帅. 一种双 U 形缝隙加载的分形多频天线. *信息工程大学学报*, 2010; 11(3): 276—278
- 7 高向军,王光明,张晨新. 宽带微带圆环缝隙天线的分析与设计. *微波学报*, 2006; 22(2): 38—40
- 8 任 王,邓俊勇,洪少华等. 无线局域网的双频圆极化圆环缝隙天线设计. *浙江大学学报*, 2008; 42(8): 1306—1309

## A Dual-band Broadband Antenna Based on Ring Slot Structure

ZHAO Bo, LI Hai-yang

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, P. R. China)

[Abstract] A dual-band broadband antenna based on ring slot structure is presented. Four notches are placed between the ring slots to guarantee that the energy flows into the inner ring slot. Through adding H-shaped slot can double the antenna bandwidth at lower frequency. The simulated results demonstrate that the  $-10$  dB impedance bandwidths of the antenna are  $(1.80 \sim 3.29)$  GHz and  $(4.83 \sim 6.82)$  GHz, and the relative bandwidths are 58.5% and 34.2%, respectively, which can meet the requirement of WLAN and WiMAX (2.5 GHz and 5.25 GHz bands).

[Key words] ring slot structure dual-band broadband WLAN

(上接第 3864 页)

## Electromechanical Analysis of Composite Piezoelectric Harvester

WEN Sheng, ZHANG Tie-min\*, LIANG Li, ZHANG Jian-tao, YAN Guo-qi

(Engineering College of South China Agricultural University, Guangzhou 510642, P. R. China)

[Abstract] The dynamics and electromechanical analysis of composite piezoelectric harvester consisting metal and piezoelectric ceramic disks under simply-supported boundary condition in different sizes are studied. A mechanical theoretical model is established for this composite piezoelectric harvester. The analytical relational expression between the excitation voltage/power and the geometric parameters of this structure under periodic uniform load is obtained. The peak power produced by this structure under different electrical resistance and the energy conversion efficiency are discussed according to the analytical solution and experimental data. The electromechanical conversion properties of composite piezoelectric harvester in different sizes are discussed. The results show that, the converter with the piezoelectric ceramic/metal disk diameter and thickness ratio chosen as 0.5 and 1 produces the maximum voltage. The piezoelectric conversion properties of three different converters consist of aluminum, copper and steel are discussed.

[Key words] piezoelectric harvester piezoelectric conversion mechanical vibration electromechanical analysis

## 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>