

文章编号 1005-0388(2010)06-1073-06

## 小型双频 E 形缝隙手机天线

褚庆昕 叶亮华

(华南理工大学电子与信息学院, 广东 广州 510640)

**摘要** 提出了一种小型的双频 E 形缝隙手机天线。E 形缝隙采用终端开路结构, 并雕刻在地板的顶部, 使天线的结构更紧凑, 减小了天线的尺寸。同时, E 形缝隙天线增加了天线的谐振路径, 能产生双频宽频带特性, 高低频带宽能覆盖 GSM900/1800/1900/DCS/PCS/BuleTooth/UMTS/ WLAN2400/WiMAX 2600 通信频段。

实测和仿真的结果基本吻合, 验证了这种设计方法的有效性。

**关键词** 双频天线; 手机天线; 缝隙天线; 小型天线; 宽频天线

**中图分类号** TN82

**文献标志码** A

### 1. 引言

随着现代移动通信技术的迅速发展, 具有小型化、宽频带、低成本、易制作等特性的多频天线已经成为现代移动通信系统中最重要的电路组成器件之一, 并引起了人们的广泛关注<sup>[1-3]</sup>。例如, 如果要同时覆盖第一代移动通信系统 GSM850/900, 第二代移动通信系统 GSM1800/1900/DCS/PHS/PCS, 以及最近推出的第三代移动通信系统 TD-SCDMA/WCDMA/CDMA2000/UMTS 等通信频段, 就需要天线工作在多个频段。

印刷缝隙天线具有结构简单、加工容易、成本低且易与其他微波电路相集成等特性, 引起了天线研究人员的广泛关注。文献[4-5]中提出了几种终端开路的 1/4 波长缝隙天线, 与传统的半波长缝隙天线<sup>[6-7]</sup>相比, 这些天线的尺寸减小了一半左右, 但这些天线只工作在单个频段, 不能满足多个通信系统的要求。为了使天线工作在多个通信频段, 文献[8]提出了一种组合缝隙天线, 天线的辐射单元由两个长度不同的半波长缝隙单极子构成, 并由它们分别辐射产生两个工作频段, 但天线的尺寸较大, 不利于实现与前端电路的集成化设计。文献[9]中提出了单个 U 形缝隙手机天线的设计, 该天线由 U 形缝隙天线谐振产生的 1/4 和半波长谐振频率分别产生高

低频通带, 但天线的高低带宽较窄, 不能覆盖 BuleTooth/WLAN 2400 和 WiMAX2600 通信频段, 且天线所占的尺寸也较大。

基于多频缝隙天线的研究, 提出了一种 E 形缝隙多频天线的设计方法, 设计了一副工作在 GSM900/1800/1900/DCS/PCS/BuleTooth/UMTS/WLAN2400/WiMAX2600 等通信频段的手机天线。天线采用 E 形缝隙作为辐射单元, 能在 500~3000 MHz 产生 3 个谐振频率并实现了良好的阻抗匹配。E 形缝隙的终端开路, 且结构紧凑, 减小了天线的尺寸, 同时, 天线在各通信频段内的辐射方向图都具有良好的全向性, 具有较好的实用价值。

### 2. 天线设计与仿真

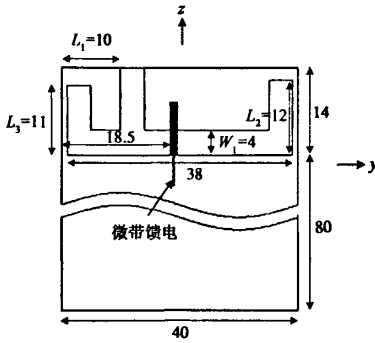
天线印制在一块厚度为 1.6 mm、相对介电常数为 4.4 的 FR4 印刷电路基板上, 天线结构如图 1 所示。天线的辐射单元为 E 形缝隙, E 形缝隙结构紧凑, 且雕刻在地板的顶部, 减小了天线的尺寸。E 形缝隙天线采用阶梯微带线馈电方式, 确保天线在较宽的频带内获得良好的阻抗匹配。天线的地板的长度为 94 mm、宽度为 40 mm, 能满足大部分手机天线的要求。

E 形缝隙作为天线的辐射单元, 印刷在地板的

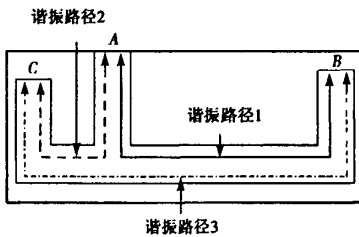
收稿日期: 2010-01-18

基金项目: 国家自然科学基金(广东联合基金)重点项目(U0635004); 广东省自然科学基金重点项目(07118061)

联系人: 褚庆昕 E-mail: qxchu@scut.edu.cn



(a) E形缝隙天线结构(单位:mm)



(b) E形缝隙天线谐振路径

图1 天线结构和谐振路径

顶部,中间缝隙枝节(A)终端开路。E形缝隙天线可以分解为三条谐振路径缝隙天线,即从枝节A分别到枝节B和C形成的两条 $1/4$ 波长开路缝隙天线,和从枝节B到枝节C形成的传统半波长缝隙天线。作为谐振型天线,可以通过调整各谐振路径的设计参数,来控制它们的谐振频率。E形缝隙三条谐振路径的基本谐振频率(分别为 $f_1$ 、 $f_2$ 和 $f_3$ )可以分别通过下面的等式得到

$$f_1 = \frac{c}{4L_{11} \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1)$$

$$f_2 = \frac{c}{4L_{22} \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2)$$

$$f_3 = \frac{c}{4L_{33} \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3)$$

式中: $L_{11}$ 、 $L_{22}$ 和 $L_{33}$ 分别为谐振路径1、2和3的总长度; $c$ 为光速; $\epsilon_{eff}$ 为有效介电常数。

根据上面的阐述,这种E形缝隙天线的设计步骤可以概括为如下:首先确定微带线馈电结构的尺寸,使馈电端口的特征阻抗约为 $50 \Omega$ ;然后根据等式(1)~(3)确定E形缝隙各谐振路径的初始长度,使各辐射单元能辐射产生给定的谐振频率;最后调整天线其他的设计参数(如 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $W_1$ )的尺寸,使天线具有良好的双频特性,满足设计要求。根据

上面阐述的设计步骤,首先应用电磁仿真软件 Ansoft HFSS 对天线进行了初始化设计,获得天线的尺寸参数如图1所示,天线所占的总尺寸为 $40 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} \times 1.6 \text{ mm}$ 。为了说明各谐振路径的辐射特性,分别对各缝隙天线进行了仿真(对应的设计参数与图1中的尺寸相同),仿真的各缝隙天线的回波损耗如图2所示。从图中可以看出,当只有谐振路径1时,缝隙天线只在低频产生单个谐振频率;当只有谐振路径3时,天线只在高频产生两个谐振频率;当谐振路径1、2和3组合在一起形成E形缝隙天线时,天线能产生3个谐振频率,并由它们形成高低频两个通带。

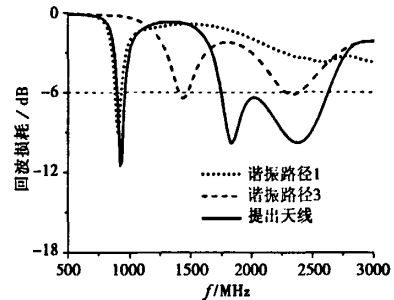


图2 各缝隙天线的回波损耗

通过电磁仿真软件 Ansoft HFSS 仿真,图3(见1233页)给出了E形缝隙天线的电流分布情况。从图中可以看出,在低频谐振频率920 MHz时,电流主要聚集在谐振路径1周围,说明920 MHz谐振频率是由谐振路径1辐射产生的,即谐振路径1是低频段辐射单元;在1830 MHz时,电流主要集中在谐振路径2周围,由谐振路径2辐射产生1830 MHz谐振频率;在2380 MHz时,电流主要集中在谐振路径3周围,由谐振路径3辐射产生2380 MHz谐振频率。当1830 MHz和2380 MHz谐振频率耦合在一起时,就形成宽频高频通带,即谐振路径2和3缝隙是天线高频段的辐射单元。从图3中还可以看出,地板上的电流较小,有利于减小地板或其他手机器件对天线性能的影响。

在天线的设计过程中,如果知道天线的尺寸参数的变化对天线性能的影响规律,那么就可以快速、有效地完成天线的设计。在不改变天线其他尺寸参数的情况下,我们知道了缝隙宽度对天线回波损耗的影响,如图4所示。从图中可见,缝隙宽度 $W_1$ 的变化对天线低频段影响不大,但对高频段影响较大,随着 $W_1$ 的增大,高频通带的阻抗匹配得到改善。

从上面的分析可以看出,通过改变缝隙天线的宽度,可以改变高频通带的阻抗特性。

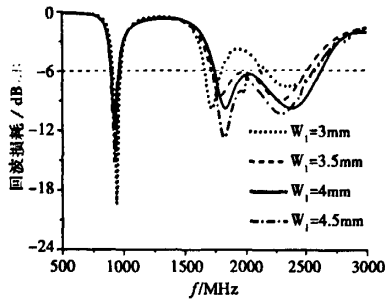
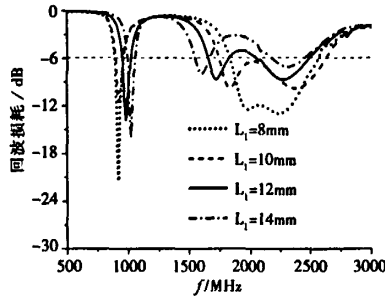
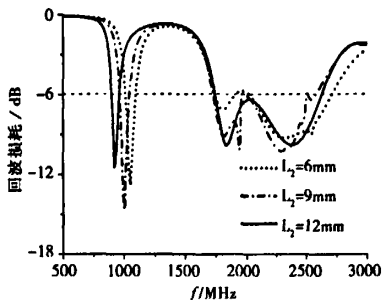


图 4 缝隙天线宽度对天线性能影响

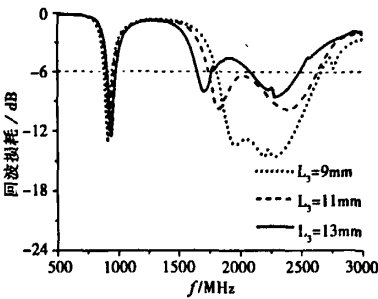
从上面的分析中可见,作为天线的辐射单元,E形缝隙的长度必定会对天线的输入特性产生影响。因此,有必要研究 E 形缝隙的尺寸参数对天线性能的影响。图 5 研究了天线的输入特性随 E 形缝隙的尺寸参数  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  变化的频率特性曲线。从图中可以看出,随着  $L_1$  的增大,天线的第一个谐振点往高频移动,而第二个谐振频率点向低频移动,这与表达式(1)和(2)相符合,即通过改变  $L_1$  的长度,可以有效地控制天线的第一个和第二个谐振频率;随着  $L_2$  的增大,天线的低频通带向低频移动,而高频影响较小,这与等式(1)相符,即改变  $L_2$  的尺寸,可以有效地控制低频谐振频率;在其他尺寸不变的情况下,当  $L_3$  增大时,第二个谐振频率向低频移动,



(a)



(b)



(c)

图 5 天线尺寸参数对天线性能影响

与等式(2)相符。从图 5 中可见,通过改变  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  的数值,可以有效地控制天线的各谐振频率,改善天线的阻抗匹配。

3. 实验结果分析

为了验证这种天线设计方法的有效性,基于图 1 给出的天线尺寸,制作天线的样品(实物如图 6 所示),使用 HP 5320A 网络分析仪对天线的输入特性进行了测试,天线仿真和实测的回波损耗如图 7 所示。从图中可以看出,仿真和实测的结果基本吻合,天线实测高低频段阻抗带宽分别为 870~965 MHz 和 1700~2720 MHz,能覆盖 GSM900/1800/1900/DCS/PCS/BuleTooth/UMTS/WLAN2400/WiMAX2600 等通信频段。

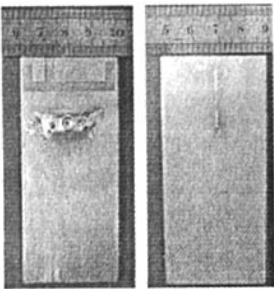


图 6 天线实物照片

测量了天线在 900 MHz、2000 MHz 和 2500 MHz 频率点上的 E 面( $xz$  平面)和 H 面( $xy$  平面)方向图,如图 8 所示。天线在 H 面具有比较好的全向性,可收发各个方向的信号。仿真和测量的辐射方向图基本吻合,但有一定差异,这是因为天线是在室外测试系统测量的,会受到周围物体、天气因素等影响。天线的增益如图 9 所示,在低频段(860~960 MHz)的增益大约为 1.6~1.9 dBi,在高频段(1700

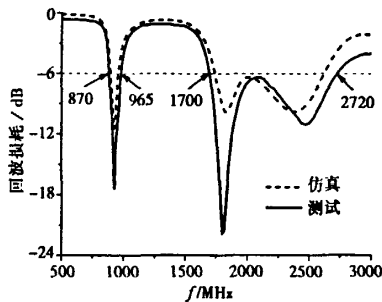
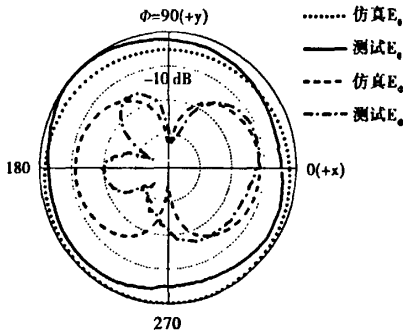
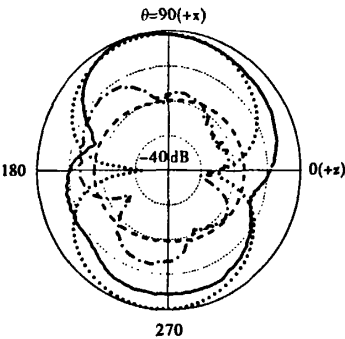


图 7 天线回波损耗

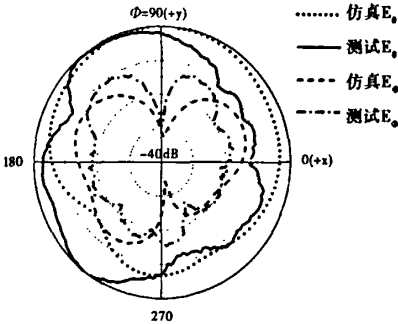
~2700 MHz)的增益大约为 2.7~5.3 dBi。



(a) 900 MHz



(b) 2000 MHz



(c) 2500 MHz

图 8 天线辐射方向图

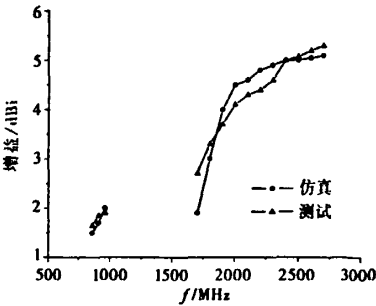
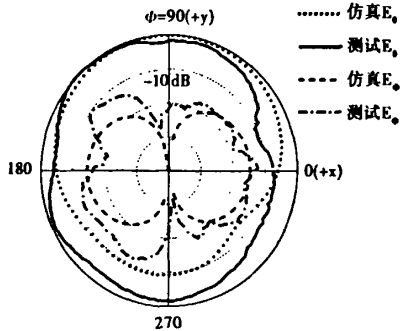


图 9 天线增益

## 4. 结 论

提出了一种双频E形缝隙天线的设计,实测的高低频阻抗带宽分别为870~965 MHz和1700~2720 MHz,实现了双频宽频带设计。天线的结构简单、制造容易、成本低,而且具有较小的体积和较低的剖面尺寸,有利于实现与前端电路的集成化设计。同时该天线具有比较好的辐射方向特性,是一种性能较好、具有实用价值、能广泛应用于各种移动通信系统中的手机天线。

## 参考文献

- [1] 吴迪,熊木清高. 车载电话用双频共面振子天线的设计[J]. 电波科学学报, 2004, 19(3): 302-306.  
WU Di, KUMAKI Kiyotaka. A design of dual-frequency coplanar dipole antenna for mobile phone[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2004, 19(3): 302-306. (in Chinese)
- [2] 郭辉萍,蔡文锋,刘学观,等. 一种新型组合式多频带天线的设计与实现[J]. 电波科学学报, 2008, 23(2): 368-372.  
GUO Huiping, CAI Wenfeng, LIU Xueguan, et al. Design and realization of a new combined multi-band antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2008, 23(2): 368-372. (in Chinese)
- [3] KUO Y L, WONG K L. Printed double-T monopole antenna for 2.4/5.2 GHz dual band WLAN operations [J]. IEEE Trans. Antennas Propag., 2003, 51(9): 2187-2192.
- [4] LIU W C. Wideband dual-frequency double inverted-L CPW-fed monopole antenna for WLAN application[J]. IEE Pro. Microw. Antennas Propag., 2005, 152(6): 505-510.
- [5] 吕文俊,程勇,程崇虎,等. 一种新型多频缝隙微带天线的设计[J]. 电波科学学报, 2006, 21(2): 265-269.  
LV Wenjun, CHENG Yong, CHENG Chonghu, et al. Design of a novel multi-frequency microstrip slot antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2006, 21(2): 265-269. (in Chinese)
- [6] TAO J, CHENG C H, ZHU H B. Compact dual-band slot antenna for WLAN applications[J]. Microwave Opt. Technol. Lett., 2007, 49(5): 1203-1204.
- [7] 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): 171-175.  
QI Dongsheng, LI Binhong, LIU Haitao, et al. Slot-loaded H-shaped dual-frequency antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2004, 19(1): 171-175. (in Chinese)
- [8] ROW J S. Dual-frequency triangular planar inverted-F antenna[J]. IEEE Trans. Antennas Propag., 2005, 53(2): 874-876.
- [9] YOON J H. Fabrication and measurement of rectangular ring with open-ended CPW-fed monopole antenna for 2.4/5.2-GHz WLAN operation[J]. Microwave Opt Technol Lett, 2006, 48(8): 1480-1483.
- [10] ZHANG L, JIAO Y C, ZHAO G, et al. Broadband dual-band CPW-fed closed rectangular ring monopole antenna with a vertical strip for WLAN operation[J]. Microwave Opt. Technol. Lett, 2008, 50(7): 1929-1931.
- [11] CHU Q X, YANG Y Y. A compact ultrawideband antenna with 3.4/5.5 GHz dual band-notched characteristics [J]. IEEE Trans. Antennas Propag., 2008, 56(12): 3637-3644.

## 作者简介



褚庆昕 (1958—),男,陕西人,华南理工大学电子与信息学院教授、博士生导师、射频与无线技术研究所所长,目前主要研究领域包括无线通信中的射频电路和天线、微波集成电路的全域建模、有源集成天线与空间功率合成、计算电磁学和人工媒质等。



叶亮华 (1984—),男,江西人,华南理工大学电子与信息学院硕士生,主要从事多频天线和超宽带天线的研究。

## Compact dual-band E-shaped slot antenna for mobile phone application

CHU Qing-xin YE Liang-hua

*(School of Electronic and Information Engineering, South China*

*University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China)*

**Abstract** A compact dual-band E-shaped slot antenna for mobile phone application is presented. An open-ended E-shaped slot is placed on the top of the system circuit board, which makes the structure of the antenna more compact and miniature. The E-shaped slot antenna increases the resonant paths and generates dual-wideband operation. The lower and upper bands can cover GSM900/1800/1900/DCS/PCS/Bluetooth/UMTS/WLAN2400/WiMAX2600 communication. The measurement and simulation results are in good agreement, which validates the proposed design.

**Key words** dual-band antenna; mobile phone antenna; slot antenna; small antenna; wideband antenna

## 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>