

## 平面单极天线的设计

郭安波 陈惠民 上海大学通信和信息工程学院 上海 200072

**摘要** 随着 SDR(软件无线电)和 UWB(超宽带)无线系统对宽带天线的需求,平面单极天线逐渐成为研究的热点,它具有频带宽、体积小、制作简单、成本低等诸多优点。首先给出了平面单极天线的应用场合;然后阐述了该天线的设计方法,包括天线的四种形式、最佳馈电点间隙的选择和对称切角天线馈电点的处理;其次给出了天线设计时的边长选择,切角度数的选择和不同材料的比较;最后做了总结并提出了今后的研究方向。

**关键词** 平面单极天线 阻抗带宽 驻波比 方向图

**中图分类号** TN957 **文献标识码** A

### 1 引言

为满足软件无线电和 UWB(超宽带)系统对天线的需求,有人想设计这样一种天线——宽带并且能覆盖无线终端的全部所需频段的宽带平面单极天线就是符合这种条件的天线之一<sup>[1]</sup>。

平面单极天线能够在很宽的阻抗带宽上提供令人满意的辐射性能,并且制作简单,成本低廉。该类天线不仅能覆盖 GSM900、GSM1800/PCS1900, IMT-2000, 2.45GHz 和 5.8GHz 的 ISM 频段,而且能覆盖 1.9~10.6GHz 的 UWB 频段。

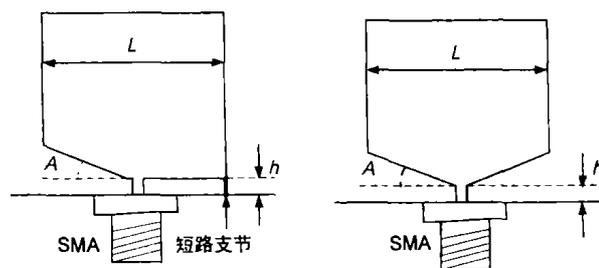
### 2 平面单极天线的设计

#### 2.1 四种平面单极天线的设计

平面单极天线的形状可以是正方形、圆形、椭圆形或三角形。考虑到生产的方便性和实用性,本文仅研究正方形和正方形切角天线。制作天线的材料可以选择 0.5mm 左右厚度的铜板或铁板,切割成正方形。接地板可以选择边长 100~200mm 的正方形覆铜的印刷电路板。馈电处钻一个 4mm 的园孔,安装一个 SMA 插座,芯线露在接地板之上,作为天线的馈电点。将正方形平面天线垂直地焊接在 SMA 插座芯线之上,馈电点为平面天线底边的中点,焊接时留出馈电间隙(Feed Gap)  $h$ 。

不切角的正方形平面单极天线阻抗带宽较窄,但其四种变化的形式可以不同程度地展宽天

线的阻抗带宽<sup>[1]</sup>。第一种变形,即在制作好正方形天线的基础上,在底边的一个角上用一根 1mm 直径的导体或 2mm 宽的铜片和接地板相连,也称短路支节(Shorting Post),以下简称 a 形天线;第二种变形,即在底边上的一边截去一个三角形缺口,角度的大小可以为  $10^\circ \sim 64^\circ$  不等,以下简称 b 形天线;第三种变形,即在制作好 b 形天线之后,在底边的另一边增加一个短路支节,如图 1(a)所示;第四种变形,即在制作好 b 形天线的基础上,在底边的另外一边对称地截去一个三角形缺口,以下简称 d 形天线,如图 1(b)所示。



(a) 带短路支节的不对称切角平面单极天线(c形天线) (b) 对称切角的平面单极天线(d形天线)

图 1 平面单极天线外形

之所以将正方形天线作四种变形,根本目的是为了增加天线的阻抗带宽,并且可以减小天线的尺寸。

#### 2.2 最佳馈电间隙及对称切角天线馈电点的处理

根据大量的实验发现,平面底边和接地板之间的间隙  $h$  会影响整个天线的最大阻抗带宽。

收稿日期:2004年4月

设阻抗带宽的下限为  $f_L$ , 则  $f_L$  反比于  $(L + h)$ , 因此  $h$  和天线的最低频率关系不大, 但根据实验证明,  $h$  会极大地影响天线的最高频率。当天线边长  $L$  选择 50 ~ 65mm 时, 最佳馈电间隙为 3mm; 当  $L$  选择 25 ~ 45mm 时, 最佳馈电间隙为 2.5mm<sup>[2]</sup>。

对称切角天线在切完角之后会留下一个尖角, 尤其是切角度数较大时, 如图 2 所示。在实验的过程中发现, 适当地修剪留下的尖角可以明显改善驻波比和阻抗带宽, 以 65mm × 65mm 平面对称切角天线为例, 切角度数为 40°, 修剪切角高度为 3mm 时, 阻抗带宽最优, 其 2:1VSWR 带宽为 6.38GHz, 下限频率为 1.99GHz, 上限频率为 8.37GHz。

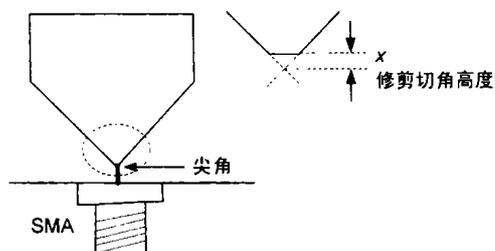


图 2 对称切角天线切角后留下的尖角和修剪切角高度示意图

### 3 平面单极天线的数值设计

#### 3.1 天线边长和切角的选择

为得到天线边长和切角与阻抗带宽之间的关系, 使用网络分析仪对边长 35 ~ 65mm 的 7 种铜质 a 形天线的阻抗带宽进行了测量, 得到天线边长和 2:1VSWR 阻抗带宽的关系, 结果如图 3 所示。

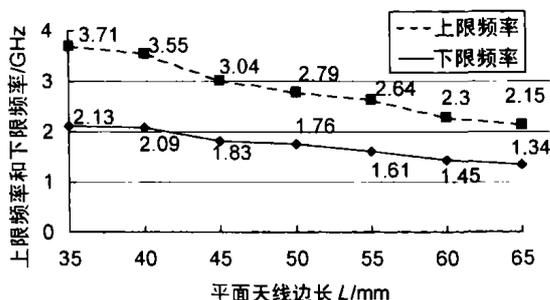


图 3 a 形天线 2:1 VSWR 阻抗带宽数值设计对照图

从图 3 可以看出, 随着天线尺寸的增大, 天线的阻抗带宽的上下限频率都会减小, 并且阻抗带

宽也会随之减小。

为进一步展宽天线的阻抗带宽, 本文通过对铜质 b 形天线和 d 形天线改变切角角度的方法, 达到了展宽阻抗带宽的目的, 切角度数和阻抗带宽对应关系如表 1 所示。

表 1 b 形天线和 d 形天线的切角度数和阻抗带宽的对应关系(天线原始尺寸为 25mm × 25mm)

切角度数	b 形天线 2:1VSWR 频率范围(GHz)	d 形天线 2:1VSWR 频率范围(GHz)
0	2.35 ~ 4.83	2.35 ~ 4.83
10	2.25 ~ 4.91	2.16 ~ 5.38
20	2.34 ~ 4.96	2.22 ~ 6.35
30	2.34 ~ 5.05	2.10 ~ 7.25
40	2.34 ~ 5.23	2.12 ~ 11.5
50	2.23 ~ 5.60	2.13 ~ 12.34
64	2.01 ~ 6.82	2.11 ~ 12.60

从表 1 可以看出, b 形天线和 d 形天线可以明显地增加阻抗带宽, 而且上限频率和下限频率都有不同程度的改善, 切角较大时, 下限频率基本稳定下来, 上限频率会增加较多。而且实践证明对称切角天线的阻抗带宽比不对称切角的阻抗带宽要宽。

#### 3.2 不同材质天线的比较

本文制作天线所使用的材质有两种: 0.5mm 厚的铜板和 0.2mm 厚的镀锡钢板。将这两种材质制作成同样形状的天线, 测试结果如表 2 所示。

表 2 铜板和镀锡钢板制作的天线的比较

天线尺寸 (mm)	天线形状	材质	1:2 VSWR 频率范围(GHz)	阻抗带宽 (MHz)
40 × 40	a 形	铜板	2.29 ~ 3.55	1260
40 × 40	a 形	镀锡钢板	2.36 ~ 3.50	1140
25 × 25	b 形, 10°切角	铜板	2.25 ~ 4.91	2660
25 × 25	b 形, 10°切角	镀锡钢板	2.34 ~ 4.83	2490

根据统计发现, 同样形状的天线, 0.2mm 的镀锡钢板天线比 0.5mm 的铜板天线的阻抗带宽要窄 5% ~ 10%, 但是按照制造成本来说, 镀锡钢板天线的性价比要比铜板天线高许多。制作成本低是平面单极天线的又一大优点。

#### 3.3 辐射实验结果

在阻抗带宽之内, 上述四种天线的辐射方向图基本上是类似的, 都是典型的单极性。以 25mm

## 天线技术

×25mm 对称切角 30°的平面天线为例,其阻抗带宽为 2.1~7.25GHz。本文分别测量了 2.45GHz 和 5.75GHz 频率的 E 平面和 H 平面的方向图。这些方向图经过归一化到最大增益之后发现,增益随频率的变化是可接受的。在 2.45GHz 和 5.75GHz 上,最大增益分别为 4.0dBi 和 5.1dBi。

### 4 结束语

详细阐述了四种平面单极天线的设计方法,并对天线的阻抗带宽和辐射效果进行了测量比较,并得到明确和有效的量化结果。这四种天线能够在很宽的频带上满足 2:1 的驻波比,对正方形平面天线进行切角有助于扩展天线的阻抗带宽,对称切角比不对称切角效果更佳,阻抗带宽随切角角度的增大而增大。制作同样规格的天线,用 0.2mm 厚镀锡钢板制作的天线阻抗带宽比 0.5mm 厚铜板制作的天线要窄 5%~10% 左右。正方形平面天线四种变形的方向图基本上是类似

的,在阻抗频率内,天线增益随频率的变化是可以接受的。平面切角天线基本符合未来 UWB 和软件无线电应用对天线的要求,但是天线尚须小型化,方向图随频率变化的稳定性也有待进一步研究。✦

#### 参考文献

- [1] M. J. Ammann and Z. N. Chen. A Wideband Shorted Planar Monopole with Bevel. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2003, 51(4): 901~903.
- [2] M. Hammoud, P. Poey, and F. Colombel. Matching the Input Impedance of a Broadband Disc Monopole. Electronics Letters, 1993, 29(4): 406~407.
- [3] M. J. Ammann and Zhi Ning Chen. Wideband Monopole Antennas for Multi-Band Wireless Systems, IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2003, 45(2): 146~150.
- [4] Reinhold Ludwig, Pavel Bretchko, 王子宇,张肇仪等译. 射频电路设计——理论与应用. 北京:电子工业出版社, 2002: 45~49.

#### 作者简介

郭安波 硕士研究生,研究方向:无线通信和无线电子干扰。  
陈惠民 教授,博士生导师。主要从事数字通信、微波通信、无线通信、通信信号处理等的教学与研究。

(上接第 19 页)

的分组密码算法,分别用于 WLAN 设备的数字证书、密钥协商和传输数据的加解密,从而实现设备的身份鉴别、链路验证、访问控制和用户信息在无线传输状态下的加密保护。WAPI 在认证方面具有以下几个重要特点:完整的“用户-接入点”双向认证,集中式或分布集中式认证管理;证书-密钥双认证,灵活多样的证书管理与分发体制;可支持多证书,方便用户多处使用,充分保证其漫游功能;认证服务单元易扩充,支持用户的异地接入。

国际方面,IEEE 正在致力于制定新一代无线局域网安全标准—802.11i。目前 802.11i 还处在草案阶段,预计今年年底公布正式版本。802.11i 标准的认证是围绕 802.1X 用户端口身份验证和设备验证来制定的。802.11i 实现了双向认证,但和我国的 WAPI 标准相比,身份凭证易被盗取,认证过程复杂。IEEE 802.11 工作组组长斯图亚特·凯利表示 IEEE 有可能在 802.11i 标准中加入 WAPI 协议的支持,目前 IEEE 正在调研是否可以把 WAPI 协议作为 802.11i 标准的补充改进。

从上述的分析可以看出:WLAN 认证是不断发展的过程,它按照简单、安全、有效的原则由基本的 802.11 发展到 802.1X。而未来不管是采用

WAPI 还是 802.11i 或者其他更好的认证机制,相信只要通过运用相关的关键技术来搭建增强的、有足够安全性的 WLAN 网络,这样 WLAN 就能够保证接入安全,顺利地与其他的有线网络、无线网络及 3G 网络实现互联互通,发挥其巨大的潜力。✦

#### 参考文献

- [1] LAN MAN Standards of the IEEE Computer Society. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Standard 802.11, 1999: 10~14.
- [2] LAN MAN Standards of the IEEE Computer Society. Port-based Network Access Control. IEEE Standard 802.1X, 2001.
- [3] J. Walker. Unsafe at any Key Size: An Analysis of the WEP Encapsulation. Tech. Rep. 03628E. IEEE 802.11 Committee, 2000: 1~9.
- [4] A Mishra, W Arbaugh. An Initial Security Analysis of the IEEE 802.1X Standard, 2001.
- [5] B Aboba, D Simon. RFC2716: PPP EAP-TLS Authentication Protocol, 1999.

#### 作者简介

冯茜 女,1978 年生,解放军信息工程大学通信与信息系专业硕士研究生。研究方向为无线局域网攻防。

王玉东 男,1979 年生,解放军信息工程大学通信与信息系专业硕士研究生。研究方向为无线通信技术。

张效义 男,1966 年生,西安电子科技大学通信与电子系统硕士,解放军信息工程大学研究生导师。研究方向为第三代移动通信、无线移动通信。

## 射频和天线设计培训课程推荐

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,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 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。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



### 射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

### ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



### HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

## CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



## 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,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.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>



### 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并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
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,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>