

## 超宽带折合环天线的设计与研究

吕文俊, 朱洪波

(南京邮电大学 通信与信息工程学院 江苏省无线通信重点实验室, 江苏 南京 210003)

**摘 要:** 提出了一种新型超宽带折合环形天线的设计。该天线采用共面波导馈电, 易于与其他微波电路集成在一起; 通过引入五边形的折合环结构, 该天线的工作带宽较常规的折合环天线提高了一倍以上; 通过数值计算研究了某些尺寸参数对天线输入特性的影响, 在计算的基础上通过大量的实验详细研究了天线的频域工作特性。计算与实验的结果表明, 该天线具有超过 4.75:1 的工作带宽和全向辐射特性, 因此是一种有实用意义的超宽带天线。

**关键词:** 平面天线; 印制天线; 折合环天线; 超宽带

中图分类号: TN82

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2010)02-0076-05

## Design and study of ultra-wideband folded loop antennas

LV Wen-jun, ZHU Hong-bo

(College of Telecommunications and Information Engineering, Nanjing University of Posts & Telecommunications,  
Jiangsu Key Laboratory of Wireless Communications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Design of a novel ultra-wideband folded loop antenna was proposed. It was fed by coplanar waveguide and can be easily integrated with other microwave circuits. By introducing a pentagonal folded loop, the bandwidth of the antenna is improved twice than that of conventional folded loop antenna. Parametric study is carried out numerically by using EM simulators. Based on numerical results, the antenna is also studied experimentally. As can be seen, an operation bandwidth of over 4.75:1 is obtained. The presented antenna may be practical for ultra-wideband applications.

**Key words:** planar antennas; printed antenna; folded loop antenna; ultra-wideband

### 1 引言

随着现代无线通信的发展, 宽带化、高速化已经成为无线通信的发展趋势。为了满足宽带化的需要, 同时兼容现有的无线通信系统, 研制具有超宽带特性的小型平面天线<sup>[1]</sup>是非常有必要的。常见的超宽带天线包括单/偶极子天线<sup>[2~5]</sup>和缝隙天线<sup>[6~10]</sup>, 前者的设计方案主要包括印刷型单极子与板状单极子, 一般通过把单极子的形状设计为水滴形、多边形或椭

圆形即可获得超宽带工作特性; 后者则一般采用不同形状的宽缝隙或半闭合渐变槽<sup>[11]</sup>, 通过调整调谐枝节的尺寸参数获得超宽带特性, 其优点是只需在电路的屏蔽层上刻蚀辐射单元而无需预留额外的安装位置, 集成度较高。除此以外, 另一类具有宽带特性的天线是折合环天线<sup>[12,13]</sup>, 与常规的宽缝隙天线相比, 这类天线结构相对简单, 无需采用结构复杂的辐射单元<sup>[14]</sup>或馈电结构<sup>[15]</sup>, 而且具有较宽的阻抗带宽 (可达 50% 左右), 具备实现超宽带工作特性的

收稿日期: 2008-10-27; 修回日期: 2010-01-08

基金项目: 教育部博士学科点专项科研基金资助项目 (20050293003); 国家重点基础研究发展计划 (“973” 计划) 基金资助项目 (2007CB310607); 南京邮电大学引进人才科研基金资助项目 (NY207019)

Foundation Items: The Ph.D. Programs Foundation of Ministry of Education of China (20050293003); The National Basic Research Program of China (973 Program) (2007CB310607); The Research Project of Nanjing University of Posts and Telecommunications (NY207019)

潜力；由于采用了折合结构，其体积也较小。由于这些特点，折合环天线有望应用在超宽频带的便携式设备中。然而，现存的折合环天线在应用中也存在一些问题：首先，它们的带宽只能做到 50% 左右，在保持简单结构的基础上，其带宽提高程度有限；另一方面，折合环天线是完全对称结构<sup>[16]</sup>，馈电需要宽带平衡器，频率较低（L 波段及以下）时不难实现，但随着工作频率的提高，实现体积小、结构简单、插损低的宽带平衡器并不容易，况且平衡器的引入还可能会增加系统的损耗和复杂性。因此，如何有效地改进这类天线的馈电方式，对其宽带化和实用化有重要意义。

基于这一研究背景，下文将提出一种新型的折合环天线设计。这种新型天线直接采用共面波导（CPW, coplanar waveguide）进行馈电，而无需如同文献[13]中的天线那样采用平衡器进行馈电；为了提高其工作带宽，借鉴文献[10, 11]的做法，引入了含有渐变结构的五边形折合环；天线采用印制电路板（PCB, printed circuit board）工艺实现。下文将结合数值计算、样品制作和实物测试，对这种天线进行详细的研究。

2 天线的基本结构

天线的基本结构、尺寸参数和参照坐标系如图 1 所示。天线的正面采用共面波导馈电，馈线末端带有矩形贴片状调谐枝节；印制电路板的两面分别

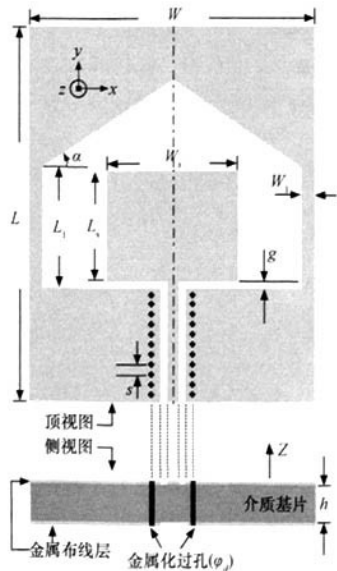


图 1 天线结构示意图

制作了 2 个相同结构的“子环”，由馈线附近的两列金属化过孔将它们连接成一个完整的折合环。可见，与文献[12, 13]类似，天线的整体结构是非常简单的。为了方便直接与测试仪器相连接，馈电共面波导的特性阻抗应设计为 50Ω。

所有天线样品均制作在相对介电常数  $\epsilon_r = 2.65$ 、厚度  $h = 2\text{mm}$ ，损耗角正切  $\tan\delta \leq 0.001$  的聚四氟乙烯基板上。整个天线的体积为  $110\text{mm} \times 90\text{mm} \times 2\text{mm}$ ，最终制作的天线实物正、反面结构如图 2 所示，具体的尺寸参数如表 1 所示。

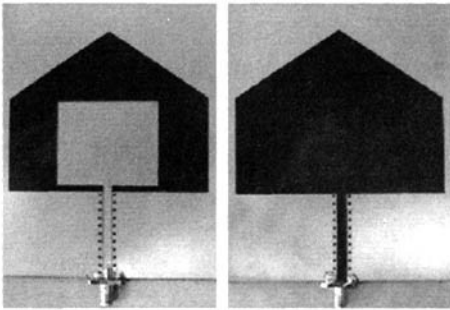


图 2 天线实物图

表 1 天线具体尺寸参数

尺寸参数	数值
$d/\text{mm}$	1
$g/\text{mm}$	2.5
$h/\text{mm}$	2
$L/\text{mm}$	110
$L_1/\text{mm}$	36
$L_2/\text{mm}$	32
$s/\text{mm}$	2
$W/\text{mm}$	90
$W_1/\text{mm}$	4
$W_2/\text{mm}$	41
$\alpha/^\circ$	35

3 天线的参数分析

采用商用软件 IE3D 对该天线进行了分析计算，研究了某些尺寸参数对天线输入反射性能的影响。设计过程中，发现影响天线输入特性的敏感参数包括  $g$ 、 $W_2$  和  $L_2$ 。因此，下面将对这几个参数进行详细的数值模拟与分析。以表 1 中的数值作为基准参数，为了不使变动过于剧烈，每次只变动其中一个

参数而保持其他参数不变,而且参数的变动都限制在一个较小的范围内。这些参数分析将为天线的设计提供依据。

首先研究馈电枝节与环底部边缘之间的馈电缝隙  $g$  对阻抗带宽的影响。图 3 给出了  $g$  分别取 1.5mm、2.5mm 和 3.5mm 时计算的反射特性曲线。可见  $g$  的轻微变动对天线的阻抗带宽影响极大: $g$  较小时,低频的反射特性较差,高频的反射特性变化较平缓; $g$  较大时,中频的反射特性变差,低频、高频的反射特性都有所改善;当  $g$  的取值为 2.5mm 时,全频带内的反射系数分布比较均匀,表明此时调谐枝节与折合环之间的耦合达到临界状态,使得谐振频点之间的耦合达到最佳,因此阻抗特性比较平缓均匀、带宽最宽。因此,为了控制调谐枝节与折合环之间的耦合程度,必须仔细调整馈电缝隙  $g$  的数值。

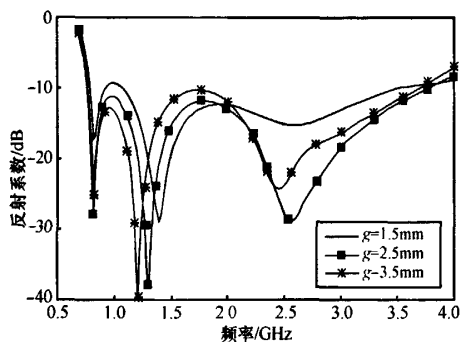


图3 天线反射特性随  $g$  的变化曲线

第二个需要研究的参数是调谐枝节的宽度  $W_s$ 。图 4 给出了所有其他参数不变,  $W_s$  分别取 40mm、41mm 和 42mm 的情况下计算所得的反射特性曲线。由结果可见,  $W_s$  的变化敏感程度不如  $g$ , 主要影响高频谐振点的耦合程度。

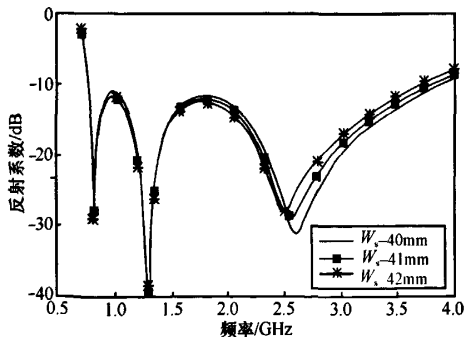


图4 天线反射特性随  $W_s$  的变化曲线

第三个研究的参数是调谐枝节的长度  $L_s$ 。图 5 给出了  $L_s$  分别取 35mm、36mm 和 37mm 时算得的反射特性曲线。由结果可见,  $L_s$  主要影响中低频率谐振点的特性,其变化敏感程度也不如  $g$ 。

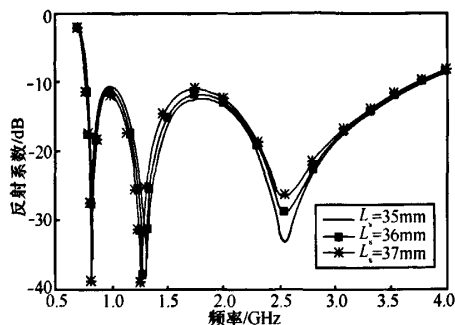


图5 天线反射特性随  $L_s$  的变化曲线

综合上述分析的结果,可知参数  $g$  的敏感程度最高,因此,设计、加工时需要特别注意控制该参数的误差范围。其他参数的影响应该综合考虑,折衷选取,以使天线的工作带宽达到最大。

#### 4 实验研究结果

在数值计算的基础上不难发现,由于天线的尺寸参数较多,因此必须在理论计算的基础上进行样品加工和实验研究,才能确定天线的真实性能。

天线的输入特性采用安捷伦公司的 8720ET 矢量网络分析仪进行测量。图 6 所示的是实测反射系数与计算结果的比较。可见天线的阻抗带宽(按反射系数低于 -10dB 计)为 0.81~3.85GHz,达到 4.75:1,即相对带宽超过 130%;相比之下,文献[12,13]中的折合环天线仅有 50% 左右的相对带宽。可见这种新型天线确实较一般的折合环天线具有更宽的阻抗带宽,而且其馈电结构很简单,便于集成,不需要如同文献[13]中的天线那样采用平衡器进行馈电。

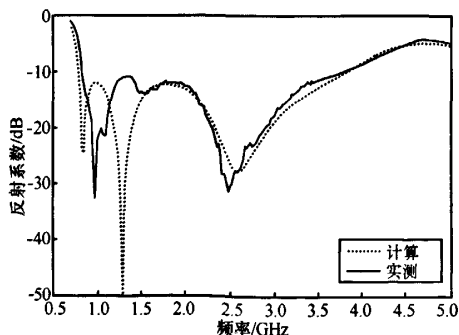


图6 实测与计算的反射系数

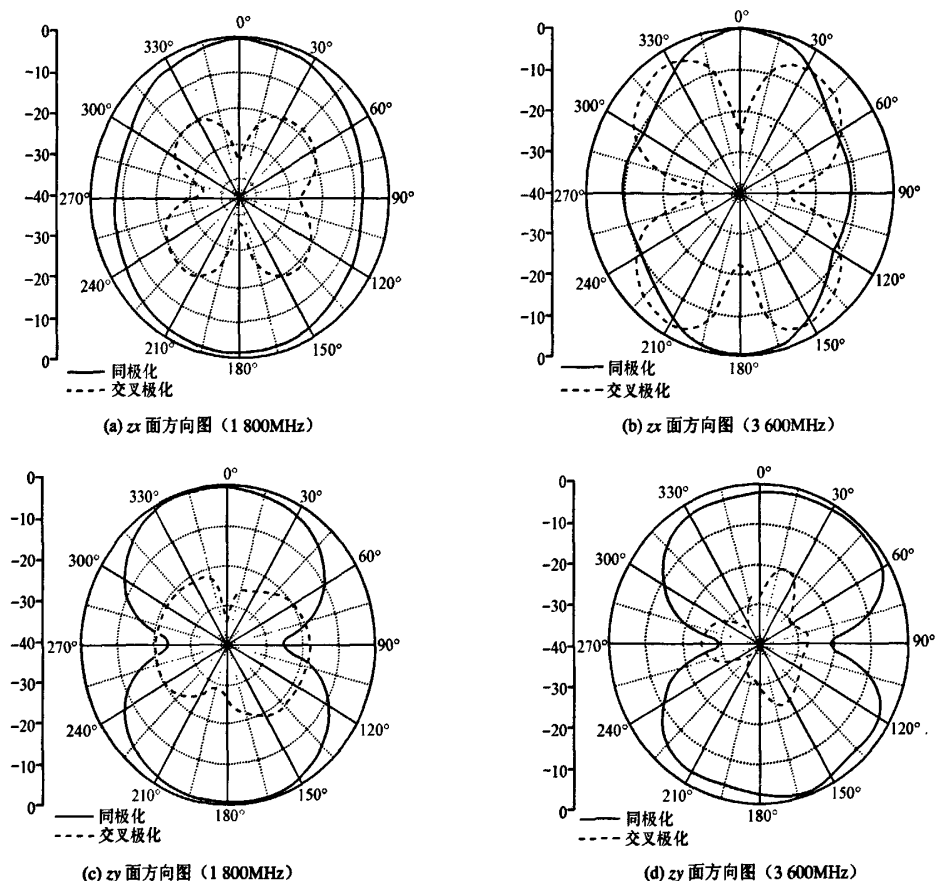


图7 实测的天线方向图

为了进一步确定天线的辐射带宽，还需要对天线的辐射方向图和增益特性进行测量。天线的辐射特性在微波暗室中完成。图7给出了天线的2个工作面（zx面和zy面）在1800MHz和3600MHz 2个频率上的实测方向图。

从实测结果可见，在整个工作频带内，天线呈现稳定的全向辐射特性。随着工作频率的增加，zx面（水平面）的交叉极化电平增加，但主瓣内的交叉极化电平仍然不高；zy面（俯仰面）的主极化方向图呈余弦规律，交叉极化电平很低；随着频率提高，由于zx面的交叉极化变大，zy面方向图出现轻微的上翘，最大增益偏离视轴（+z方向，对应图7中的0°方向）约20°左右，但波动不超过2dB。可见，天线的辐射方向图非常稳定，可认为其方向图带宽等于其阻抗带宽。

最后，利用IE3D软件和标准增益喇叭对天线在视轴（+z轴）方向的增益频率特性分布进行了计算和测量。表2中给出了6个频点上的计算与测试

数值。通过两者的比较，可见吻合良好，整个频带内，天线视轴方向的增益保持在3.5dBi左右，平均波动不超过3dB，其增益特性与方向图特性一样具有宽带特性。由此可知，天线的辐射带宽（方向图带宽、增益带宽）等于其阻抗带宽，因此确实是一种性能优良的超宽带天线。

表2 计算与测量的视轴增益（dBi）

工作频率/MHz	计算值	测量值
900	3.06	2.85
1 600	3.62	3.42
1 800	4.09	4.15
2 200	4.58	4.82
2 400	4.50	4.78
3 600	3.01	3.35

## 5 结束语

首先提出了一种新型超宽带折合环天线的设

计思想,然后通过充分的数值模拟和实验研究,确定了其实际性能。结果表明这种天线具有超过130%的相对带宽,远远高于现有文献中报道的50%,表明其工作特性有了显著的提高。由于这种新型天线的结构非常简单,性能良好,制作工艺简单,成本低廉,能覆盖现有的整个移动通信频段,有望用作移动通信室内分布系统的全向收发天线,具有较大的实际价值。

## 参考文献:

- [1] 吕文俊. 小型平面超宽带天线的理论与设计[D]. 南京: 南京邮电大学, 2006.  
LV W J. On the Compact Planar Ultra-Wideband Antennas[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts & Telecommunications, 2006.
- [2] SCHANTZ H G. The Art and Science of Ultra-Wideband Antennas[M]. Artech House INC, Boston, MA: USA, 2005.
- [3] CHEN Z N. A new bi-arm roll antenna for UWB applications[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 2005, 53(2): 672-677.
- [4] LAU K L, LI P, LUK K M. A monopolar patch antenna with very wide impedance bandwidth[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 2005, 53(2): 655-661.
- [5] LIANG J, CHIAU C C, CHEN X, *et al.* Study of a printed circular disc monopole antenna for UWB systems[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 2005, 53(11): 3500-3504.
- [6] JANG Y W. Broadband cross-shaped microstrip-fed slot antenna [J]. Electronics Letters, 2000, 36(25): 2056-2057.
- [7] CHEN H D. Broadband CPW-fed square slot antenna with a widened tuning stub[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 2003, 51(8): 1982-1986.
- [8] BEHDAD N, SARABANDI K. A multiresonant single-element wide slot antenna[J]. IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, 2004, 3: 5-8.
- [9] LIN Y C, HUANG K J. Compact ultra-wideband rectangular aperture antenna and band-notched designs[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 2006, 54(11): 3075-3081.
- [10] 程勇, 吕文俊, 程崇虎等. 一种小型平面超宽带天线的设计与研究[J]. 电波科学学报, 2006, 21(4): 582-585.  
CHENG Y, LV W J, CHENG C H, *et al.* Design and analysis of a compact planar ultra-wideband antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2006, 21(4): 582-585.
- [11] LUI W J, CHENG C H, ZHU H B. Experimental investigation on novel tapered micro strip slot antenna for ultra-wideband applications[J]. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2007, 1(2): 480-487.
- [12] HAYASHIDA S, MORISHITA H, KOYANAGI Y, *et al.* Wideband folded loop antenna for handsets [A]. IEEE Antenna and Propagation Symposium[C]. San Antonio, Texas, USA, 2002. 440-443.
- [13] 吕文俊, 程勇, 程崇虎等. 共面波导馈电小型平面超宽带天线的设计与研究[J]. 微波学报, 2006, 22(4): 19-23.  
LV W J, CHENG Y, CHENG C H, *et al.* Design and study of coplanar waveguide (CPW)-fed compact planar ultra-wideband (UWB) antenna[J]. Journal of Microwaves, 2006, 22 (4): 19-23.
- [14] 吕文俊, 程崇虎, 朱洪波. 一种新型的超宽带微带折线环天线的设计与研究[J]. 通信学报, 2005, 26 (10): 65-68.  
LV W J, CHENG C H, ZHU H B. Novel ultra-wideband microstrip meandered-loop antenna[J]. Journal on Communications, 2005, 26(10): 65-68.
- [15] TANAKA S, HAYASHIDA S, MORISHITA H, *et al.* Wideband and compact folded loop antenna[J]. Electronics Letters, 2005, 41(17): 945-946.
- [16] HU S H. The balun family[J]. Microwave Journal, 1987, 30(6): 227-229.

## 作者简介:



吕文俊(1978-), 男, 广东江门人, 博士, 南京邮电大学副教授, 主要研究方向为微波与天线技术。



朱洪波(1956-), 男, 苏扬州人, 博士, 南京邮电大学教授、博士生导师, 南京邮电大学副校长, 主要研究方向为无线通信与电磁兼容。

## 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>