

# 一种 CPS 喂电的宽带圆极化双菱环天线

周建永, 杨雪霞, 高艳艳

(上海大学 特种光纤与光接入网省部共建重点实验室, 上海 200072)

**摘要** 提出了一种新型的双菱环形天线, 通过在双菱环内添加寄生环来提高天线的圆极化带宽, 每个环上槽口的位置决定天线的圆极化特性。双菱环和寄生双菱环分别在低频和高频处产生圆极化波, 从而使天线的圆极化带宽增加, 3 dB圆极化带宽达到了24.1%, 在圆极化频带内增益为10 dB以上。为了测量天线性能, 设计了共面带状线到微带线的转换巴伦, 因为巴伦和天线在同一个平面内, 所以对天线的性能产生了一点影响。

**关键词** 圆极化; 环天线; 宽带; 共面带状线 (CPS)

中图分类号 TN821.4 文献标识码 A 文章编号 1003-3106(2010)05-0040-03

## Broadband Circularly Polarized Dual Loop Antenna Fed by Coplane Stripline

ZHOU Jian-yong, YANG Xue-xia, GAO Yan-yan

(The Key Lab of Specialty Fiber Optics and Optical Access Network, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

**Abstract** A dual rhombic loop antenna with a parasitic loop which increases the bandwidth of circular polarization is proposed. The gap position of each loop controls the sense of antenna circular polarization. The large dual rhombic loop radiates a CP wave at a lower frequency while the parasitic loop produces CP radiation at a higher frequency, which leads to the enhancement of the circular polarization bandwidth, and a bandwidth of 24.1% ( $AR \leq 3$  dB) with a gain of 10 dB is obtained. For measuring, a balun from the coplanar stripline (CPS) to a microstrip line is designed. The balun is on the same plane with the antenna so it has a little effect on the antenna characteristics.

**Key words** circular polarization; loop antenna; broadband; coplanar stripline (CPS)

## 0 引言

圆极化天线应用于很多领域, 如雷达和通信系统。文献[1]提出了一种高增益圆极化双菱环天线, 通过在距离中心馈电处相等距离位置开槽来产生圆极化波, 圆极化带宽( $\leq 2$  dB)为20%。文献[2]通过在双菱环天线中增加寄生环使天线的圆极化带宽达到了46%, 天线馈电和阻抗匹配是通过与天线接地板垂直的巴伦实现的, 很难与固态器件共面。

共面带状线(CPS)在平面微波毫米波电路设计中有着极好的适用性, 它具有平衡结构特性, 用于印刷偶极子天线馈电<sup>[3]</sup>、整流天线<sup>[4]</sup>、光控微波衰减器和调制器, 以及其他的一些微波毫米波电路中。

提出了一种用CPS喂电的圆极化双菱环天线。通过在双菱环中引入寄生双菱环来提高圆极化带宽, 为了测量天线性能, 设计了CPS到微带线的转换巴伦。该天线可以用于整流天线或其他射频前端。

## 1 天线设计

天线结构如图1所示。

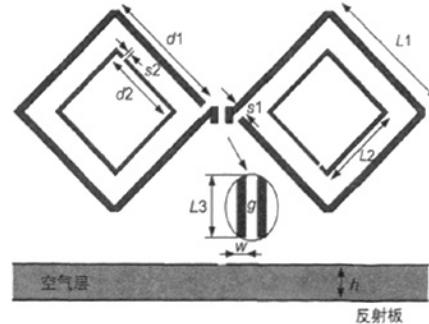


图1 天线结构

天线由双菱环、寄生双菱环、CPS馈线、空气层和金属反射板5部分组成。双菱环和寄生双菱环的边长为 $L_1$ 和 $L_2$ , 在双菱环的顶点处分别切去一个三角形的口用来调节天线的输入阻抗。环上缝隙的长度分别为 $s_1$ 和 $s_2$ , 宽度和其所在环的宽度相同, 缝隙与双菱环顶点的距离分别为 $d_1$ 和 $d_2$ , CPS馈线宽度和间距分别为 $W$ 和 $g$ ,  $L_3$ 为调谐枝节长度, 天线与反射板的距离为 $h$ 。

收稿日期: 2010-02-01

### 1.1 天线馈线设计

天线馈线为 CPS。特性阻抗可由以下公式算出<sup>[5]</sup>：

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_r}} \frac{K(k_1)}{K'(k_1)} \quad (\Omega); \quad (1)$$

$$\epsilon_{re} = 1 + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{K'(k_1)}{K(k_1)} \frac{K(k_2)}{K'(k_2)}; \quad (2)$$

$$k_1 = \frac{s}{s + 2W} = \frac{a}{b}; \quad (3)$$

$$k_2 = \frac{\sinh(\frac{\pi a}{2h})}{\sinh(\frac{\pi b}{2h})}; \quad (4)$$

$$W_s = W_c = W. \quad (5)$$

式中,  $\epsilon_r$  为介质板的介电常数;  $\epsilon_{re}$  为相对介电常数;  $K$  为椭圆积分函数;  $h$  为介质版的厚度;  $W$  和  $g$  分别为带状线的宽度及其二者的间隙。

当  $0 \leq k \leq 0.707$  时,

$$K(k) = \frac{\pi}{2} \left\{ 1 + 2 \frac{k^2}{8} + 9 \left( \frac{k^2}{8} \right)^2 + 50 \left( \frac{k^2}{8} \right)^3 + 306.25 \left( \frac{k^2}{8} \right)^4 + \dots \right\};$$

当  $0.707 \leq k \leq 1$  时,

$$K(k) = p + (p-1) \left( \frac{k'^2}{4} \right) + 9 \left( p - \frac{7}{6} \right) \left( \frac{k'^4}{64} \right) + 25 \left( p - \frac{37}{30} \right) \left( \frac{k'^6}{256} \right) + \dots, \\ p = \ln \frac{4}{k'}, k' = \sqrt{1 - k^2}.$$

介质板的介电常数为 2.55, 厚度为 0.8 mm, 损耗角正切为 0.001。 $W$  和  $g$  分别为 0.8 mm 和 0.4 mm, 由以上公式可得特性阻抗为 172  $\Omega$ 。

### 1.2 天线结构设计

双菱环和寄生双菱环间没有直接接触, 通过电磁耦合进行工作。天线的工作频率主要由双菱环的周长决定, 双菱环的周长约等于  $1.2\lambda_0$ , 因此天线尺寸越大工作频率越低。引入寄生双菱环后, 天线在 2 个频率点上分别产生轴比最低点, 这样就能有效地降低 2 个频点中间的轴比, 从而展宽圆极化带宽。因为天线的尺寸并没有因寄生环的引入而改变, 所以这种方法和其他展宽圆极化带宽的方法相比具有一定的优越性。

这种双菱环形式的天线属于微带振子天线, 天线上的电流幅度约为常数, 电流的相位呈线性变化, 通过在适当的位置开口就可以产生圆极化波, 因此槽口与双菱环顶点的距离  $d_1$  和  $d_2$  主要决定着天线的轴比; 长为  $L_3$  的短截线为调谐枝节, 用来调节天线的虚部阻抗,  $L_2$  越长虚部阻抗越大。为了提高天线的增益并减小后向辐射, 在距离天线约  $0.2\lambda_0$  处放置一金属反射板, 反射板距离  $h$  对圆极化轴比影响也较大。

### 1.3 天线仿真

采用软件 HFSS 进行仿真, 天线的中心频率为

5.8 GHz。在仿真的过程中发现  $L_1$ 、 $L_2$  对天线的轴比也有所影响, 而通过调节  $s_1$ 、 $s_2$  和  $L_3$  则可以较好地对阻抗进行匹配。因此在仿真的过程中要综合考虑, 通过结合工作在 2 个不同频率上的圆极化波增强天线的圆极化带宽。

天线和馈线采用相同的介质板, 通过仿真优化所得天线的所有尺寸如下:  $L_1 = 15.4$  mm,  $L_2 = 10.8$  mm,  $d_1 = 14$  mm,  $d_2 = 8.5$  mm,  $s_1 = 1.44$  mm,  $s_2 = 0.55$  mm,  $h = 11.2$  mm。

在仿真的过程中对引入寄生双菱环前后天线轴比的频率特性仿真曲线进行对比, 从对比中可以看出无寄生环的双菱环天线的圆极化带宽( $\leq 3$  dB)为 3%, 引入寄生双菱环后圆极化带宽为 24.1%, 明显增加了天线的圆极化带宽。天线在 5.8 GHz 工作频率上的回波损耗仿真值为 -47 dB, S11 带宽( $\leq -10$  dB)为 1.2 GHz。仿真增益 5.8 GHz 频率上达到了 11.57 dB, 在 5.1 ~ 6.2 GHz 频带内增益在 10 dB 以上。在仿真过程中对天线在 5.4 GHz、5.8 GHz、6 GHz 的 E 面、H 面方向图进行观察, 发现天线在整个频带内都有着较好的方向图特性。

### 2 天线与巴伦的设计与测试

巴伦(balun)即平衡不平衡转换器。CPS 馈电天线属于平衡型天线, 而同轴电缆属不平衡传输线, 若将其直接连接, 同轴电缆的外导体就有高频电流流过, 会影响天线的辐射, 所以就要在天线和电缆之间加入平衡不平衡转换器, 把流入电缆屏蔽层外部的电流扼制掉。

为了测量天线特性设计了巴伦。巴伦的接地面在介质板下方。天线实测 S11 的频率特性如图 2 所示。

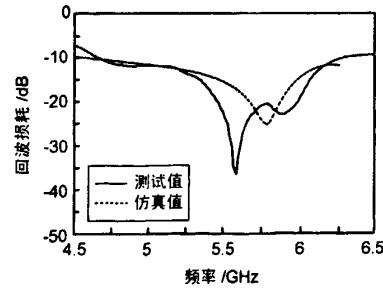


图 2 天线仿真与实测 S11 的频率特性

为了便于比较, 将不加巴伦的 S11 仿真曲线也画在该图上。由图 2 可见, 加巴伦后天线的 S11 实测值在 5.8 GHz 为 -22 dB, S11 带宽( $\leq 10$  dB)约为 1.5 GHz。由于巴伦还有阻抗匹配的作用, 因此天线的实测 S11 值要略好于仿真值。

天线不加巴伦时仿真中在 5.1 GHz 和 6.1 GHz 产生了 2 个轴比最低点, 分别为 0.08 dB 和 0.29 dB,

圆极化带宽( $\leq 3$  dB)从4.81~6.21GHz,为24.1%。天线实测轴比的频率特性如图3所示。

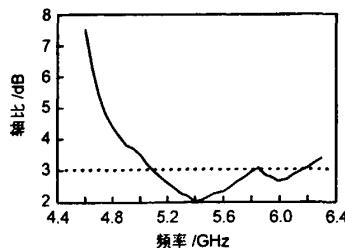


图3 天线仿真与实测轴比的频率特性

由图3可以看到加上巴伦后天线的轴比有所升高,并且频率偏高了0.3 GHz,原因是由于巴伦和天线在同一个平面内,巴伦也能产生轻微的辐射。从已得到的实验数据可以看出,轴比实测图与仿真整体趋势还是比较吻合,在5.4 GHz与6.0 GHz出现了2个轴比最低点,分别为1.99 dB和2.64 dB,圆极化带宽从5.1~6.2 GHz,为18.96%。实际测试中对比了加巴伦前后天线在5.4 GHz、5.8 GHz、6 GHz的E面、H面方向图,发现巴伦对天线的方向图特性也有一定的影响,原因也是巴伦自身的辐射特性。

### 3 结束语

提出了一种新型的CPS馈电圆极化双菱环天线,通过在双菱环中添加寄生双菱环增加了天线的

(上接第29页)

经过充分的算法仿真,介绍的载波同步与自适应均衡的联合结构在XILINX的FPGA平台上已经实现,并且成功用于侦察接收机中的QAM解调器中,均衡器采用5抽头正交DFE结构。接收机工作稳定可靠,可以有效去除系统中的回波干扰和信道失真,载波捕获范围超过40 kHz,完全满足侦察接收机的需要。

### 4 结束语

载波同步与自适应均衡的并行结构适用于信道多径时延较小的情况,这种情况FFE不需要太长的节数,针对QPSK、16QAM、64QAM信号分别做了仿真,载波环与均衡器工作良好。如果信道多径时延较大,FFE的节数就需要加长,这种结构就会造成载波环的延时过大,从而造成载波跟踪性能变差,此时可以把解旋模块移到FFE的后面。

高速QAM均衡器的FPGA实现是QAM接收机设计的难点。载波同步与均衡的并行实现保证了均

圆极化带宽。轴比带宽( $\leq 3$  dB)达到了24.1%。为了测试天线性能,设计了CPS到微带线的转换巴伦,因为巴伦和天线在同一平面内,所以加上巴伦后天线的轴比性能有所恶化。测试数据与仿真结果比较吻合,圆极化带宽( $\leq 3$  dB)从5.1~6.2 GHz,为18.96%。◆

#### 参考文献

- [1] MORISHI TA H, HIRASAWA K, NAGAO T. Circularly Polarized Wire Antenna with a Dual Rhombic Loop[J]. IEE Proc.-Microwave Antennas Propagation, 1998, 145 (3): 219~224.
- [2] LI R, TRAILLE A, LASKAR J, et al. Antennas and Wireless Propagation Letters[J]. IEEE, 2006, 5(1): 84~87.
- [3] KIM Young-gon, WOO Dong-sik, KIM K W, et al. Microwave Symposium[J]. IEEE/MTT-S International, 2007 (6): 1563~1566.
- [4] MCSPADEN J O, FAN Lu, CHANG Kai. Design and Experiments of a High-Conversion-Efficiency 5.8-GHz Rectenna[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory And Techniques, 1998, 46(12): 2053~2060.
- [5] MCSPADEN J O, FAN Lu. Design and Experiments of a High-Conversion-Efficiency 5.8GHz Rectenna [J]. IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, 1998, 46(12): 2053~2060.

#### 作者简介

周建永 男,(1984-),上海大学通信学院硕士研究生。主要研究方向:射频微波技术。

衡器的稳态跟踪性能,并且使载波同步在衰落信道中能可靠锁定。实际测试结果表明,这种结构可以应用于侦察接收机中的QAM信号的解调。◆

#### 参考文献

- [1] 张力,宫丰奎,李兵兵. DVB-C接收机中自适应均衡器的新设计[J]. 电视技术,2004(4):46~48.
- [2] 黄伟,吴建辉,晏飞,等. 基于DVB-C的自适应均衡电路优化实现[J]. 电视技术,2006(7):31~34.
- [3] 李庆,吴川,邓运松,等. 一种高性能QAM解调器的设计与实现[J]. 计算机工程与应用,2008,44(12):85~87.
- [4] 田骏骅. 高速QAM解调器的算法及VLSI实现研究[D]. 上海:复旦大学,2005:68~75.
- [5] 孙江勇,吴建辉,王春林. 一种用于数字QAM解调芯片中的盲均衡器实现[J]. 电子器件,2006,29(2):550~552.
- [6] 姚彦,梅顺良,高葆新. 数字微波中继通信工程[M]. 北京:人民邮电出版社,1990:175~180.

#### 作者简介

张华冲 男,(1974-),中国电子科技集团公司第五十四研究所工程师。主要研究方向:通信信号处理、解调。

## 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,一直致力于专注于微波、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>