

文章编号 1005-0388(2008)03-0572-04

# 高增益低副瓣圆极化微带天线阵的研制

张福顺<sup>☆</sup> 商远波 张 涛 黄迎春 焦永昌

(西安电子科技大学天线与微波技术国家重点实验室, 陕西 西安 710071)

**摘要** 以工作频率为 4.14 GHz, 5 单元圆极化微带天线阵为研究对象, 研制出了与馈电网络为一体、具有圆极化特性的微带天线阵。利用不等幅馈电网络实现了天线方向图的低副瓣, 采用枝节匹配技术解决了圆极化微带天线阵与馈电网络为一体的工程实现较为困难这一技术难题。在此基础上, 研制了天线阵实验样机, 并对实验样机进行了测量, 实验结果表明: 该天线阵具有良好的圆极化特性和低副瓣特性, 进而说明了该方法是有可行性的。

**关键词** 微带天线阵; 圆极化; 低副瓣; 实验样机

**中图分类号** TN821

**文献标志码** A

## A circular-polarization microstrip array with high-gain and low-side lobe

ZHANG Fu-shun SHANG Yuan-bo ZHANG Tao

HUANG Ying-chun JIAO Yong-chang

(National Laboratory of Antenna and Microwave Technology,  
Xidian University, Xi'an Shaanxi 710071, China)

**Abstract** A circular-polarization microstrip array incorporated the feed network with 5 elements working at 4.14 GHz are analyzed in this paper. The low side-lobe-level of pattern for the array is achieved by the feed network with ununiform amplitude, and the integrative problem for the radiator elements and the feed network which is difficult to realize in engineering is solved by using the branch match technique. The experiment array is fabricated and its electric parameters are measured. The measured results show that the antenna has good performance.

**Key words** micro-strip antenna; circular polarization; low side-lobe-level; experiment array

## 1 引言

众所周知, 微带天线具有体积小、重量轻、易于共形等优点已在多种通信系统中得到应用。

线极化微带天线阵列<sup>[1~8]</sup>可以采用单端口边馈微带单元, 较易组阵且实现天线单元与馈电网络一体化。

然而对圆极化天线, 传统的圆极化微带天线<sup>[9]</sup>

是采用馈电网络与辐射单元分离的方式来实现圆极化的, 采用这种方式对单元进行排阵, 会导致阵列馈电网络设计复杂, 工程实现难度大, 圆极化极化带宽只有 0.8%, 给工程应用带来了诸多问题。

为此, 本文研究了枝节边馈方式馈电, 辐射单元与馈电网络为一体的圆极化高增益微带天线阵列, 其圆极化极化带宽达到了 2%。

根据微带天线理论, 对辐射单元进行等幅同相

馈电,天线阵方向图的副瓣电平约在-13 dB 左右,很难达到-20 dB 左右的副瓣电平,这对某些通信系统是不允许的,本文通过不等幅功分器<sup>[10]</sup>的设计,实现了天线单元的不等幅馈电,使天线阵副瓣电平达到了一22 dB,从而很好的解决了这个问题。

论文采用 Ansoft HFSS 软件对天线单元及阵列进行了优化仿真设计,同时研制了天线实物样机,并对实物样机进行了电指标测量,测量结果表明天线阵具有圆极化、低副瓣和高增益的特性,从而说明设计方法的有效性。

2 天线单元的设计

2.1 单元尺寸的设计

矩形微带天线尺寸<sup>[9]</sup>按下列公式确定

$$a = \frac{c}{2f_0} \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \tag{1}$$

$$b = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_r}} \tag{2}$$

式中:ε<sub>r</sub>—等效介电常数

f<sub>0</sub>(λ<sub>0</sub>)—微带天线工作的中心频率(波长)

c—光速(3×10<sup>8</sup> m/s)

2.2 单元仿真与测试结果

采用介电常数 ε<sub>r</sub>=2.65,板厚为 h=2mm,设计天线单元,如图 1 所示。

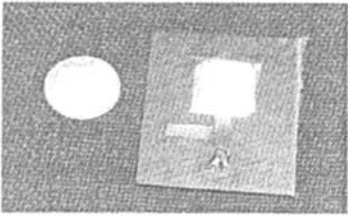


图 1 天线单元

图 1 中,单元的边长分别为 22 mm 和 20.5 mm,调配枝节长度为 20 mm。

采用 Ansoft HFSS 软件进行仿真,天线单元的圆极化轴比与频率的关系曲线如图 2 所示。由图 2 可以看出:该单元的圆极化轴比最小值在频率为 4.14 GHz,轴比小于 3 dB 的极化带宽大于 100 MHz。

阻抗性能测试结果如图 3 所示;从图 3 可以看出:单元的驻波比小于 2 的阻抗带宽远大于 100 MHz。因此,该单元可以作为圆极化天线阵列的单元。

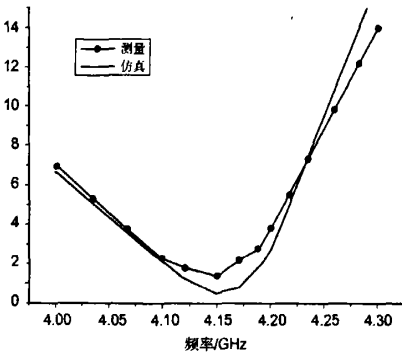
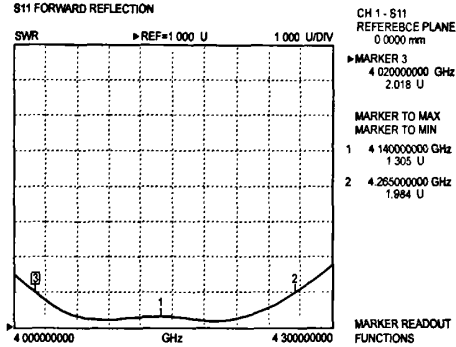
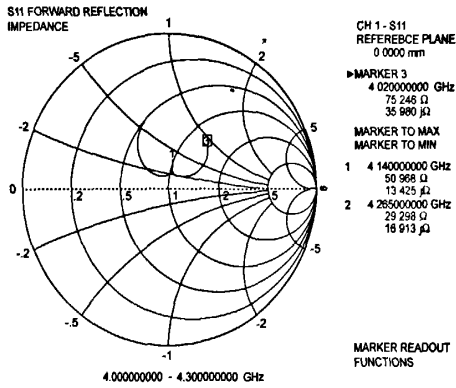


图 2 单元实测轴比曲线



(a)Smith 圆图



(b)驻波比曲线

图 3 单元 Smith 圆图和驻波曲线

3 天线阵的设计

3.1 馈电网络的设计

为了保证各单元的馈电相位为同相馈电,采用多级不等分功分器对单元进行馈电,使各天线单元的馈电同相但不等幅,经过四个功率分配器实现二

项式分布(1:4:6:4:1)的幅度,这样的设计,结构简单,一致性好,利于天线的实现。

传输线结构的功率分配器<sup>[11,12]</sup>如图 4 所示,输入端口(port1)特性阻抗为  $Z_0$ ,两段分支微带线电长度为  $\lambda/4$ ,特性阻抗分别为  $Z_{02}$  和  $Z_{03}$ ,终端分别接负载  $R_2$  和  $R_3$ 。首先做以下 3 条假设:

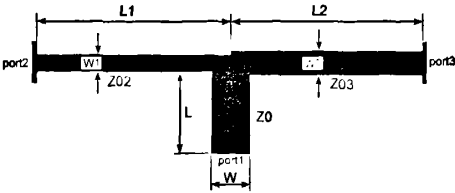


图 4 功率分配器结构图

- (1) port1 无反射;
- (2) port2 ,port3 输出电压相等且同相;
- (3) port2 ,port3 输出功率比值为任意指定值  $1/k^2$ 。

根据上面 3 条可得:

$$\begin{cases} Z_{02} = Z_0 \sqrt{k(1+k^2)} \\ Z_{03} = Z_0 \sqrt{(1+k^2)/k^3} \\ R_3 = Z_0/k \end{cases} \quad (3)$$

3.2 天线阵的设计与实验结果

根据以上单元设计进行组阵,单元数为 5。图 5 给出了天线阵的实物照片,经过实际加工、调试和测量测试结果如下:

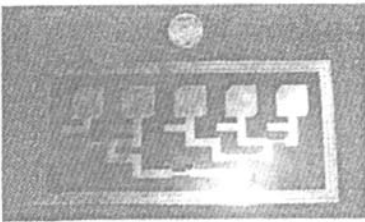


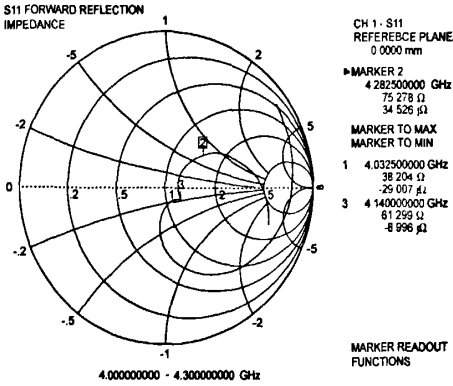
图 5 天线阵示意图

3.2.1 Smith 圆图和驻波比曲线的测量

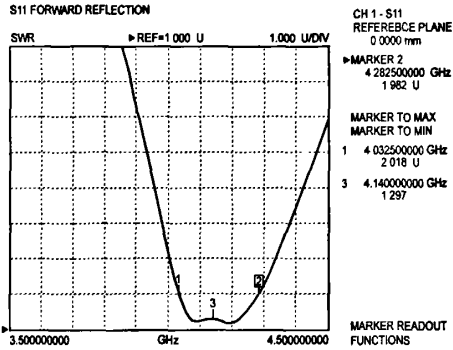
用 HP8753D 矢量网络分析仪对该天线阵的 Smith 圆图和驻波比曲线进行了测量,如图 6 所示,天线的中心频率为  $F_r=4.14\text{ GHz}$ ,由图 6(b)可见带宽大于 150 MHz,在整个工作频带内驻波小于 1.8,而且由图 6(a)可知圆极化特性良好。满足了通信系统的要求。

3.2.2 方向图的测量

在远区条件下,用天线远场自动测量系统对该



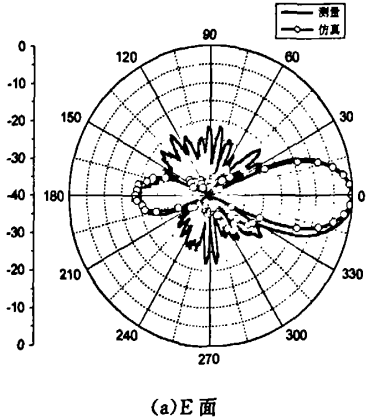
(a) Smith 圆图



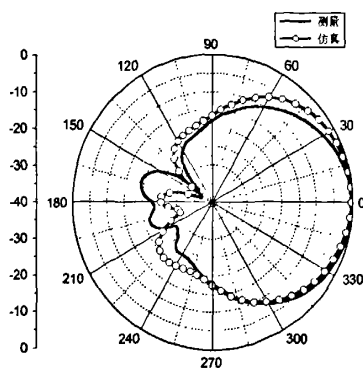
(b) 驻波比曲线

图 6 阵列 Smith 圆图和驻波比曲线

天线的方向图进行了实测。图 7 比较了在中心频率 4.14 GHz,在半开放式暗室实测阵列 E 面, H 面方向图和由 Ansoft HFSS 软件得到的仿真结果。可以看到仿真结果与实验结果一致性良好,半功率波瓣宽度分别为 22°(图 6(a)E 面)和 67°(图 6(b) H 面),副瓣电平平均小于 -20 dB,实测增益为 12.5 dB,与仿真结果基本一致。



(a) E 面



(b) H 面

图7 天线阵列 E 面, H 面方向图

## 4 结论

论述了一种低副瓣高增益圆极化微带天线阵列的设计方法,从我们研制的5单元圆极化微带天线阵实测结果来看,具有良好的圆极化特性和低副瓣性能,其测量结果与仿真结果基本吻合,说明本文所述的设计方法具有一定的应用价值,并对更低副瓣高增益的圆极化微带天线系统的开发与应用具有重要的参考价值。

## 参考文献

- [1] 薛睿峰,钟顺时. 微带天线圆极化技术概述与进展[J]. 电波科学学报, 2002, 17(4): 331-336.
- [2] 路占波,张安,侯新宇等. 采用FDTD/FVTD混合算法分析蝶形微带天线[J]. 电波科学学报, 2007, 22(3): 527-532.
- [3] 胡明春,杜小辉,李建新. 宽带宽角圆极化微带贴片天线设计[J]. 电波科学学报, 2001, 16(4): 441-446.
- [4] M Haneishi and S Yoshida. A design method of circularly polarized rectangular microstrip antenna by one-point feed [J]. Microstrip Antenna Design, K. C. Gupta and A. Benalla (Eds), Artech House, Norwood, MA, USA, 1988, 313-312.

- [5] 崔俊海,钟顺时. 角馈微带天线的全波分析[J]. 电波科学学报, 2000, 15(2): 194-198.
- [6] 蔡明娟,尹家贤,刘克诚. 一种结构新型的双频双极化共口径微带天线[J]. 电波科学学报, 2006, 21(1): 121-125.
- [7] T Seki, N Honma, K Nishikawa, et al.. Millimeter-wave high-efficiency multilayer parasitic microstrip antenna array on teflon substrate [J]. IEEE Trans. Microwave. Theory Tech., 2005, 53(6): 2101-2106.
- [8] J Huang. A Ka-band circularly polarized high-gain Micro-strip array antenna [J]. IEEE Trans. Antennas Propagation, 1995, 43: 113-116.
- [9] 钟顺时. 微带天线理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991.
- [10] 清华大学《微带电路》编写组. 微带电路[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1976.
- [11] 魏文元,宫德明,陈必森. 天线原理[M]. 西北电讯工程学院, 1985.
- [12] 张钧,刘克诚. 微带天线理论与工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.



张福顺 (1960—), 男, 陕西人, 西安电子科技大学教授, 博士生导师, 博士。主要研究方向为天线理论与工程及测量, 发表学术论文90余篇, 其中, 30余篇被EI、SCI收录, 出版了专著《天线工程手册》和《天线测量》, 编写了《天线近场测量误差分析与系统》。



商远波 (1981—), 男, 山东人, 西安电子科技大学电磁场与微波技术专业硕士生, 主要研究兴趣为微带天线与天线小型化。

张涛 (1983—), 男, 陕西人, 2004年毕业于西安电子科技大学, 现就读于西安电子科技大学, 电磁场与微波技术专业硕士生, 主要研究方向微带天线与圆极化天线的设计。

## 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>