

文章编号: 2095-4980(2019)03-0448-04

## 宽带高增益圆极化微带天线与阵列

朱乃达, 杨雪霞, 邱厚童

(上海大学 通信与信息工程学院, 上海 200072)

**摘要:** 设计了一副宽带高增益圆极化微带天线, 并进行组阵分析。天线中心频率 2.6 GHz, 通过增加寄生贴片和空气层来提高天线单元的增益和带宽。上下两层介质板上边长不同的切角方形贴片分别激励一个低频与高频的圆极化模, 有效地拓宽了轴比带宽。仿真结果表明, 反射系数  $|S_{11}| < -10$  dB 带宽 21.8%, 3 dB 轴比带宽 12.0%, 中心频率点增益 9.0 dBi。对天线单元进行加工测试, 与仿真结果较为吻合。设计了  $2 \times 4$  元阵列, 并进行了仿真, 增益提升至 17.5 dBi, 3 dB 轴比带宽 10.4%。

**关键词:** 微带天线; 圆极化; 宽带; 天线阵列

**中图分类号:** TN822

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201903.0448

## Circularly polarized wideband microstrip antenna with high gain and array design

ZHU Naida, YANG Xuexia, QIU Houtong

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** A circularly polarized wideband microstrip antenna with high gain and array is presented. In order to achieve wideband and high gain, a parasitic patch and the air layer are added to the antenna which works at 2.6 GHz center frequency. Two square patches with different sizes on two dielectric layers are corner-truncated with perturbation to excite circular polarization operation at a low and a high frequency, respectively, which effectively broadens the axial ratio bandwidth. The simulated bandwidth is 21.8% with the reflection coefficient  $|S_{11}| < -10$  dB, the 3dB axial ratio bandwidth is 12.0%, the gain is 9.0 dBi at center frequency. The prototype is fabricated, and the measurement results coincide with those of the simulation. A  $2 \times 4$  antenna array is designed, the simulated gain goes up to 17.5 dBi and the 3 dB axial ratio bandwidth maintains 10.4%.

**Keywords:** microstrip antenna; circular polarization; wideband; antenna arrays

圆极化天线在雷达、导航等系统中有广泛应用, 而微带天线具有低剖面、易集成、低造价等优点, 是这些系统中天线的首选之一。微带天线实现圆极化一般有双馈和单馈 2 种方法。双馈法<sup>[1]</sup>利用功分器及相移网络容易激励圆极化, 但馈线结构复杂, 较难组阵。文献[2-3]中的微带天线与基片集成波导(Substrate Integrated Waveguide, SIW)天线, 使用双馈法激励圆极化波时, 轴比带宽小于 2.5%。单馈法<sup>[1]</sup>又称微扰法, 通过引入微扰产生 2 个正交简并模激励圆极化波, 微扰法馈电网络相比双馈法更小。文献[4-6]通过微扰激励圆极化波, 轴比带宽均小于 0.4%。前面几种均为谐振式天线, 所以圆极化轴比带宽较窄。展宽带宽有很多方案, 如宽缝法、层叠法等。宽缝法<sup>[7-9]</sup>, 这类天线有超宽的阻抗带宽, 普遍大于 20%, 但增益较低, 仅 3~4 dBi; 层叠法<sup>[10-12]</sup>, 通过多个贴片产生多个谐振点展宽频带至 10%以上, 增益可达 5~6 dBi。

本文通过覆盖寄生贴片和增加空气层设计了一副单馈方形微带天线, 拓展了天线的阻抗和轴比带宽并提升了增益。实际加工测试了天线单元, 验证了天线模型的有效性, 最后进行了组阵分析。

收稿日期: 2017-12-01; 修回日期: 2018-01-18

基金项目: 国家高技术研究发展计划 863 资助项目(2015AA016201)

### 1 天线单元仿真与测试

#### 1.1 天线单元设计

圆极化天线单元由 3 层介质组成。上下 2 层均为 F4B-2 介质板，其介电常数  $\epsilon_r=2.65$ ，厚度  $h_1=h_3=1.5\text{ mm}$ ，中间是厚度  $h_2=9\text{ mm}$  的空气层。下层介质板的上表面是辐射贴片，下表面是金属地板。上层介质板的下表面是寄生贴片。天线中心频率 2.6 GHz，单元尺寸 75 mm×100 mm，如图 1 所示。

天线的工作频带由边长  $a_1$  和  $a_2$  的 2 个辐射贴片决定。这 2 个贴片分别产生 2 个频率的谐振点，叠加后便展宽了天线的反射系数带宽。通过寄生贴片和空气层<sup>[12]</sup>展宽带宽并提高天线的增益。采用微扰法<sup>[1]</sup>激励圆极化的工作模式，将上下 2 个方形贴片切角，使天线同时产生 2 个相位相差 90°的正交模。天线通过下层的微带线进行馈电并引入一个开路枝节以减小匹配网络的面积。

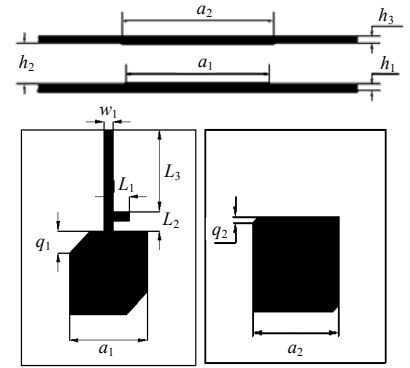


Fig.1 Geometry of the proposed CP antenna  
图 1 天线单元结构

#### 1.2 主要变量分析

##### 1.2.1 $a_1, a_2$ 的影响

天线的工作频带主要由边长  $a_1$  和  $a_2$  的 2 个辐射贴片决定。如图 2、3 所示，反射系数带宽中有 2 个谐振点，下层贴片  $a_1$  产生低频的谐振模，上层贴片  $a_2$  产生高频的谐振模。当  $a_1$  增大，即下层贴片面积变大时，低频的谐振点向低频偏移，高频的谐振点频率不变。增大上层贴片  $a_2$  时，天线的高频谐振点向低频偏移，低频谐振点频率不变。上下 2 层贴片的工作频带相互叠加，极大地拓宽了反射系数带宽。

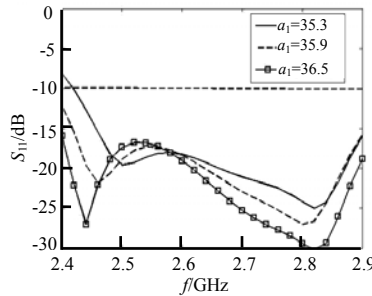


Fig.2 Variation of  $|S_{11}|$  versus  $a_1$   
图 2  $a_1$  变化时反射系数  $|S_{11}|$  随频率变化

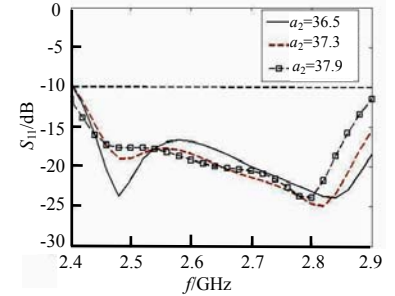


Fig.3 Variation of  $|S_{11}|$  versus  $a_2$   
图 3  $a_2$  变化时反射系数  $|S_{11}|$  随频率变化

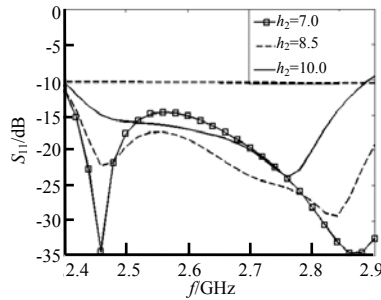


Fig.4 Variation of  $|S_{11}|$  versus  $h_2$   
图 4  $h_2$  变化时反射系数  $|S_{11}|$  随频率变化

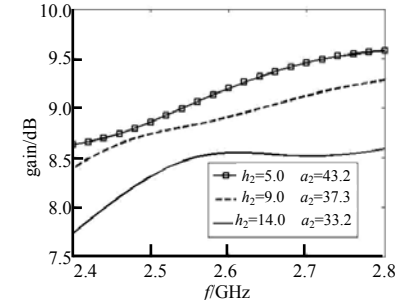


Fig.5 Variation of gain versus  $h_2$   
图 5  $h_2$  变化时增益随频率变化

##### 1.2.2 空气层 $h_2$ 的影响

空气层  $h_2$  的厚度主要影响上层贴片的工作频率。如图 4 所示，随着  $h_2$  的增加，低频的谐振模频率不变，上层贴片的工作频率向高频偏移；反之则向低频偏移。

在相同的工作频率下研究  $h_2$  变化对增益的影响才有意义，而当空气层层高变化时，上层贴片的工作频率有频偏，此时调整上层贴片  $a_2$  使 2 个谐振频率为 2.45 GHz, 2.85 GHz。如图 5 所示，当  $h_2$  减小，上层天线贴片的边长  $a_2$  增大，天线的增益变高。考虑到组阵要预留空间，最后选取  $h_2=9\text{ mm}$ ，此时  $a_2=37.3\text{ mm}$ ，比同频单层微带天线的面积增大 40%(同频时，使用厚度为 1.5 mm

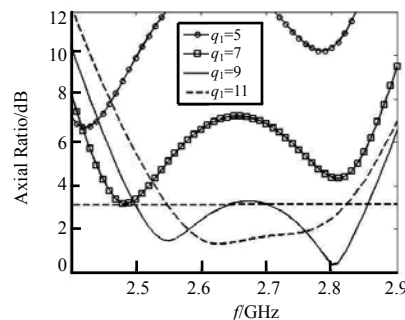


Fig.6 Variation of AR(Axial Ratio) versus  $q_1$   
图 6  $q_1$  变化时轴比 AR 随频率变化

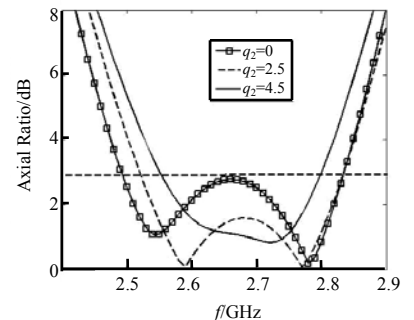


Fig.7 Variation of AR(Axial Ratio) versus  $q_2$   
图 7  $q_2$  变化时轴比 AR 随频率变化

的 F4B-2, 微带贴片边长 31.5 mm, 增益 7.3 dBi, 增益提高 1.7 dB。

### 1.2.3 $q_1, q_2$ 的影响

两层贴片的切角主要影响天线的轴比性能。在确定工作频率, 空气层高度  $h_2$ 、辐射贴片的边长  $a_1, a_2$  后, 对下层贴片切角, 如图 6 所示, 随着切角  $q_1$  增加, 轴比性能逐渐变好。取  $q_1=9$  mm, 并对上层贴片切角, 将圆极化性能优化至最佳, 如图 7 所示。切角的最佳尺寸为  $q_1=9$  mm,  $q_2=2.5$  mm。

### 1.2.4 开路枝节的影响

在  $L_2=8.3$  mm 的微带线上引入一个开路枝节用于阻抗匹配, 其长  $L_1=7.4$  mm, 宽  $W_1=4.1$  mm。如图 8 所示, 未加匹配网络的天线在中心频率 2.6 GHz 处的反射系数  $|S_{11}|$  为 -12 dB; 使用四分之一波长阻抗变换器<sup>[1]</sup>为 -15 dB; 使用开路枝节在工作频率内的反射系数低于 -17 dB。四分之一阻抗变换器长  $0.18\lambda_0$ , 开路枝节仅占  $0.07\lambda_0$ , 提高了反射系数带宽, 有效减小了馈电网络的面积。

## 2 仿真与测试结果

天线单元反射系数、轴比和增益的仿真和测试结果分别如图 9~11 所示。反射系数  $|S_{11}| < -10$  dB 的仿真和测试频带分别为 2.4~2.97 GHz(21.8%)和 2.48~3.02 GHz(20.7%); 3 dB 轴比仿真和测试频带分别为 2.49~2.8 GHz(12%)和 2.57~2.89 GHz(11.6%); 天线测试增益均大于 8.4 dBi, 最大增益为 9.4 dBi。反射系数和轴比的测试工作频率均向高频偏移, 再次仿真表明, 其原因在于天线组装时空气层  $h_2$  略低, 如图 10 所示。

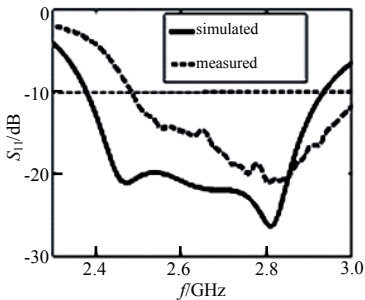


Fig.9 Reflection coefficient  $|S_{11}|$  of the element  
图 9 天线单元反射系数  $|S_{11}|$  随频率变化

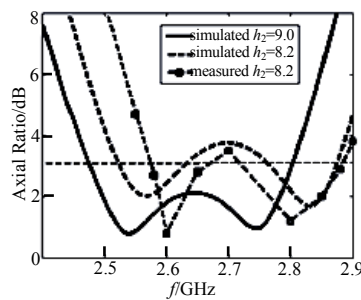


Fig.10 AR of the element  
图 10 天线单元轴比 AR 随频率变化

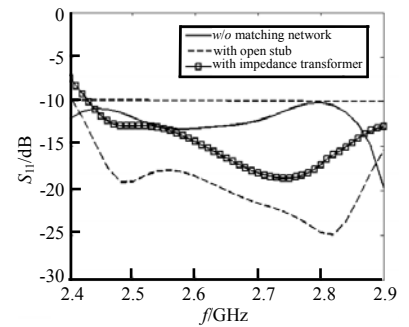


Fig.8 Variation of  $|S_{11}|$  versus matching network  
图 8 不同匹配网络下  $|S_{11}|$  随频率变化

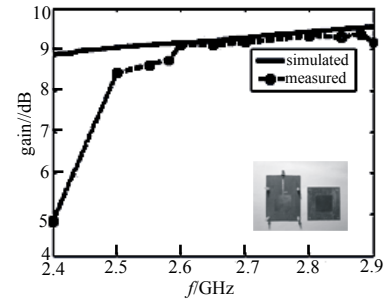


Fig.11 Gain of the element  
图 11 天线单元增益随频率变化

## 3 天线阵列设计

将上述天线单元组成  $2 \times 4$  元阵列, 阵列馈电层结构如图 12 所示, 阵元间距  $D_1=0.762\lambda_0=87.4$  mm。为了使阵列的馈电网络更加紧凑, 去掉天线单元馈线上的开路枝节, 使用一段特性阻抗为  $50 \Omega$ 、长度  $L_1=16$  mm 的微带线, 将天线输入阻抗转成  $100 \Omega$ 。由此设计阵列的并馈网络<sup>[13-15]</sup>, 宽度为  $W_1, W_2, W_3$  的微带线特性阻抗分别为  $50 \Omega, 100 \Omega, 35 \Omega$ , 天线阵尺寸  $180 \text{ mm} \times 340 \text{ mm}$ 。

图 13~15 分别是天线阵的反射系数、轴比和方向图仿真曲线。 $|S_{11}| < -10$  dB 频带范围 2.34~2.85 GHz(19.6%); 3 dB 轴比频带 2.48~2.75 GHz(10.38%)。天线阵列增益大于 16.9 dBi, 最大增益 17.7 dBi。见图 15,  $2 \times 4$  元阵旁瓣 4 dB, 与主瓣增益相差 13 dB。

## 4 结论

本文设计了一副宽带高增益圆极化微带天线并进行了组阵分析。天线中心频率 2.6 GHz, 对天线单元测试表明: 反射系数  $|S_{11}| < -10$  dB 频带为 2.48~3.02 GHz(20.7%), 3 dB 轴比频带为 2.57~2.89 GHz(11.6%), 在轴比带宽内增益均大于 8.4 dBi, 最大增益 9.4 dBi。将天线单元组成  $2 \times 4$  元阵列, 仿真结果表明, 反射系数  $|S_{11}| <$

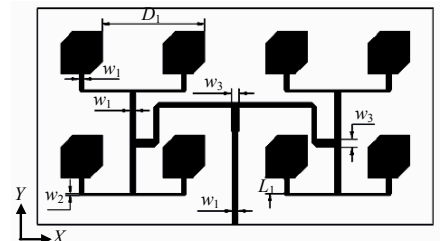


Fig.12 Geometry of the antenna array  
图 12 天线阵列结构

-10 dB 频带为 2.34~2.85 GHz(19.6%), 3 dB 轴比频带为 2.48~2.75 GHz(10.4%), 天线阵列增益大于 16.9 dBi, 最大增益为 17.7 dBi。

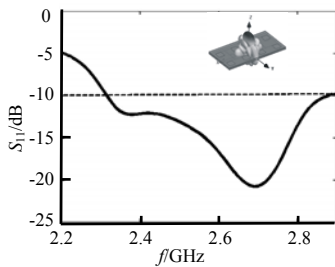


Fig.13 Simulated  $S_{11}$  of the array  
图 13 天线阵列反射系数 $|S_{11}|$ 随频率变化

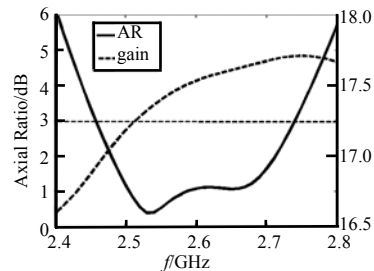


Fig.14 Simulated Axial Ratio and gain of the array  
图 14 天线阵列轴比和阵列增益

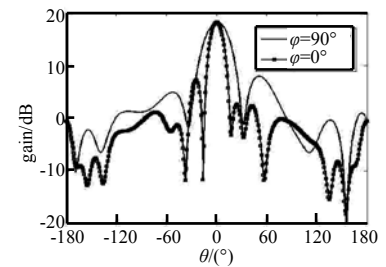


Fig.15 Radiation pattern of the array at 2.6 GHz  
图 15 天线阵列轴在 2.6 GHz 方向图

#### 参考文献:

- [1] 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. (ZHONG Shunshi. Theory and application of microstrip antenna[M]. Xi'an,China:Xidian University Press, 1991.)
- [2] KINGSUWANNAPHONG T,SITTAKUL V. Compact circular polarization microstrip antenna[C]// International Conference on Communication and Signal Processing. Melmaruvathur,India:IEEE,2016:0862-0865.
- [3] LEE H,SUNG Y,WU C T M,et al. Dual-band and polarization-flexible cavity antenna based on substrate integrated waveguide[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2016(15):488-491.
- [4] RAMIREZ R R,FLAVIIS F De,ALEXOPOULES N G. Single-feed circularly polarized microstrip ring antenna and arrays[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2000,48(7):1040-1047.
- [5] NASIMUDDIN Z,CHEN Zhining,QING Xianming,et al. Asymmetric-circular shaped slotted microstrip antennas for circular polarization and RFID applications[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2010,58(12):3821-3828.
- [6] ABDULHADI A E,SEBAK A R. Single feed circularly polarized microstrip antenna and array[C]// 2007 2nd International ITG Conference on Antennas. Munich,Germany:[s.n.], 2007:713-716.
- [7] SADEGHI P,NOURINIA J,GHOBADI C. Square slot antenna with two spiral slots loaded for broadband circular polarization[J]. Electronics Letters, 2016,52(10):787-788.
- [8] XUE H G,YANG X X,MA Z. A novel microstrip-CPW fed planar slot antenna with broadband and circular polarization[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2015,41(14):1392-1395.
- [9] LI Y,ZHANG Z,CHEN W,et al. A dual-polarization slot antenna using a compact CPW feeding structure[J]. In IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010(9):191-194.
- [10] SHEKHAWAT S,SEKRA P,BHATNAGAR D,et al. Stacked arrangement of rectangular microstrip patches for circularly polarized broadband performance[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010(9):910-913.
- [11] JIANG H,XUE Z,LI W,et al. Broad beamwidth stacked patch antenna with wide circularly polarized bandwidth[J]. Electronics Letters, 2015,51(1):10-12.
- [12] GAO S,LI L,LEONG M. Dual-polarized slot-coupled planar antenna with wide bandwidth[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2003,51(3):441-448.
- [13] NESIC A D,NESIC D A. Printed planar 8x8 array antenna with circular polarization for millimeter-wave application[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2012(11):744-747.
- [14] HAO Z C,FAN K K,WANG H. A planar polarization-reconfigurable antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2017,65(4):1624-1632.
- [15] MAO C X,GAO S,LUO Q. Low-cost X/Ku/Ka-band dual-polarized array with shared aperture[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2017,65(7):3520-3527.

#### 作者简介:



朱乃达(1995-), 男, 福建省邵武市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为宽带天线, 高增益、阵列天线, 圆极化、双极化天线等。  
email:zndshu@shu.edu.cn.

杨雪霞(1969-), 女, 甘肃省成勤县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为微带天线、微波无线输能技术和计算电磁学等。

邱厚童(1987-), 男, 山东省泰安市人, 博士, 主要研究方向为 CTS 波束扫描天线等。