

文章编号: 2095-4980(2023)10-1244-03

一种宽带小型化的双圆极化天线设计

宋道军¹, 齐照辉², 尹应增³

(1. 北方通用电子集团有限公司, 江苏 无锡 214145; 2. 航天飞行器生存技术与效能评估实验室, 北京 100085;
3. 西安电子科技大学 天线与微波技术重点实验室, 陕西 西安 710071)

摘 要: 设计了一种覆盖 X 频段的双圆极化天线, 通过 1 个 3 dB 电桥分别给 2 个垂直交叉放置的 Vivaldi 天线馈电来实现双圆极化。为了实现宽带小型化, 在 Vivaldi 天线表面开槽并且电桥采用耦合形式实现。仿真结果表明, 所设计的天线整体尺寸为 $0.48\lambda \times 0.48\lambda \times 0.5\lambda$ (λ 对应最低频率处波长), 能够在 8~12 GHz 的频带内实现天线驻波比(VSWR)<2, 轴比为 3 dB, 带宽为 40% 的左旋和右旋圆极化。

关键词: 双圆极化; 宽带; 小型化; 宽波束

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2021319

A broadband and miniaturized dual circularly polarized antenna

SONG Daojun¹, QI Zhaohui², YIN Yingzeng³

(1. The Northern General Electronics Group Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214145, China;

2. The Institute of Effectiveness Evaluation of Flying Vehicle, Beijing 100085, China;

3. The National Key Laboratory of Antennas and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an Shaanxi 710071, China)

Abstract: A dual circularly polarized antenna covering X-band is designed. Two vertical Vivaldi antennas are fed by a 3 dB coupler to achieve dual circular polarization. In order to achieve broadband miniaturization, the Vivaldi antenna is slotted and a slot-coupled 3 dB coupler is adopted. The simulation results show that the overall size of the designed antenna is $0.48\lambda \times 0.48\lambda \times 0.5\lambda$ (λ corresponding to the wavelength at the lowest frequency); it can achieve Left-Handed and Right-Handed Circular Polarization (LHCP/RHCP) with Voltage Standing Wave Ratio(VSWR)<2 and 3 dB of Axial Ratio(AR), 40% of bandwidth from 8 to 12 GHz.

Keywords: dual circular polarization; wideband; miniaturized; wide beam

近年来, 双圆极化天线因其能够减小多径干扰, 抑制极化失配和提高空间利用率等优势, 在通信系统中发挥着越来越重要的作用^[1]。但是随着无线通信技术的飞速发展, 通信系统和各种电子设备朝着宽带化和小型化发展, 促使双圆极化天线在宽带、宽波束、小型化等方面的应用急剧增加。共面 Vivaldi 天线具有工作频带宽、增益平稳、方向图对称、交叉极化低等特点, 在双圆极化天线的设计中备受青睐^[2]。

另一方面, 3 dB 电桥是实现双圆极化的关键器件之一。其中分支线耦合器是最常用的设计之一, 但是 20% 左右的带宽限制了其在宽带系统中的应用, 并且高阻抗分支线所要求的线宽在制造加工中也会造成困难^[3]。而常用的宽带耦合器, 例如兰格耦合器、串联耦合器等, 由于其空气桥的结构, 也存在加工和体积较大的问题^[4-5]。

针对双圆极化天线在宽带、小型化和宽波束等方面的应用需求, 本文提出了一种宽带小型化的双圆极化天线。设计了一个多层板耦合的 3 dB 电桥, 通过电桥的 2 个端口分别给垂直交叉的 Vivaldi 天线馈电, 实现宽带双圆极化。通过在 Vivaldi 天线开指数型的渐变缝隙, 能够有效地提高天线在低频的波束宽度, 并且大大缩小了天线的尺寸。仿真结果表明, 所设计的天线整体尺寸为 $0.48\lambda \times 0.48\lambda \times 0.5\lambda$ (λ 对应最低频率处波长), 能够在 8~12 GHz 的频带内实现天线驻波比(VSWR)<2, 并且轴比(AR)<3 dB。

1 天线结构的分析与设计

天线结构如图 1 所示, Vivaldi 天线印刷在厚度为 0.254 mm, 介电常数为 2.2, 损耗角正切为 0.000 9 的介质基

板上，其中 $W_1=17\text{ mm}$ ， $L_1=18\text{ mm}$ 。在辐射贴片上，除了正常的指数曲线开口外，还引入了一对指数型缝隙，用来减小天线尺寸和改善低频辐射特性。指数曲线 E_1 、 E_2 和 E_3 可表示为：

$$y_i=\pm c_i \exp(r_ix)\mp(c_i-b_i), \quad i=1,2,3$$

(1)

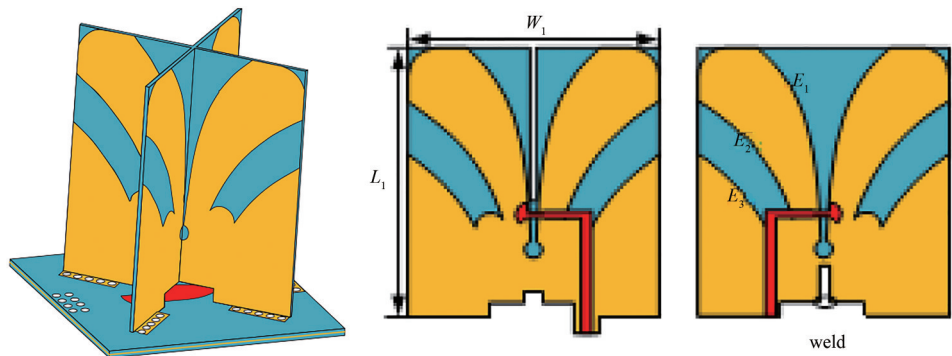


Fig.1 Overall structure of the antenna and the Vivaldi radiator
图1 整体结构和 Vivaldi 天线结构图

通过优化参数 c_i 、 b_i 、 r_i 可以获得较好的辐射性能。其中 $c_1=0.117$ ， $b_1=0.18$ ， $r_1=0.258$ ， $c_2=1.148$ ， $b_2=1.565$ ， $r_2=0.19$ ， $c_3=2.71$ ， $b_3=3.316$ ， $r_3=0.19$ 。辐射贴片由常见的微带线耦合缝隙馈电。当频率较低的时候，天线的辐射主要由一对对称的指数型缝隙辐射，当频率较高时由中间的开口辐射。

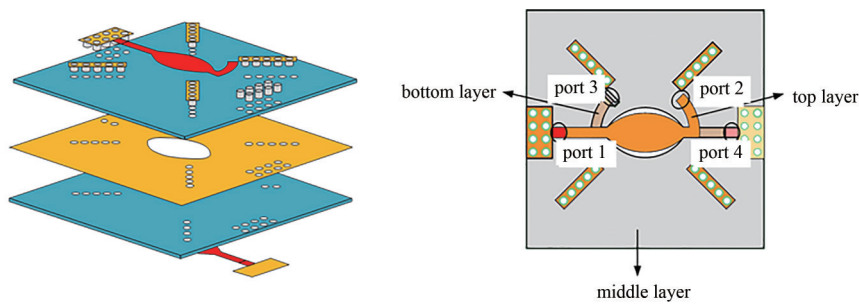


Fig.2 Structure of 3 dB hybrid coupler
图2 3 dB 电桥结构图

3 dB 电桥由 3 个导体层和 2 个介质基板交错而成，中间金属层为上下微带的地，如图 2 所示。顶层微带线包括端口 1 和 2，底层微带线与顶层类似，但端口为 3 和 4。两层通过一个椭圆形槽耦合，其位于中间的金属地上。顶层和底层的金属过孔贯穿 2 层介质基板，分别与顶层或底层的矩形金属片相接，以便天线的地与馈电共地，保证天线性能的稳定，其结构如图 2 所示。对于理想的 3 dB 电桥，若信号从端口 1 输入，则信号功率将会从端口 2、3 正交等分流出，端口 4 为隔离端口；若信号从端口 4 流入，则信号功率将会从端口 2、3 正交等分流出，端口 1 为隔离端口。通过优化椭圆槽和线的长轴与短轴参数，能够达到设计要求。

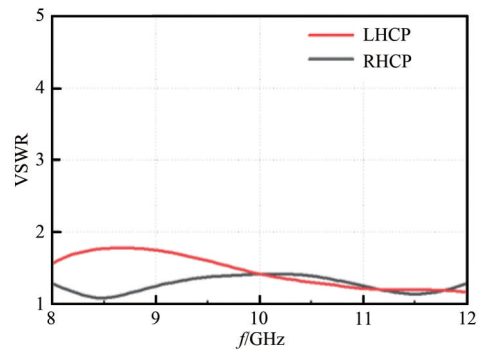


Fig.3 The VSWR of port 1 and port 4
图3 左旋和右旋圆极化驻波比曲线

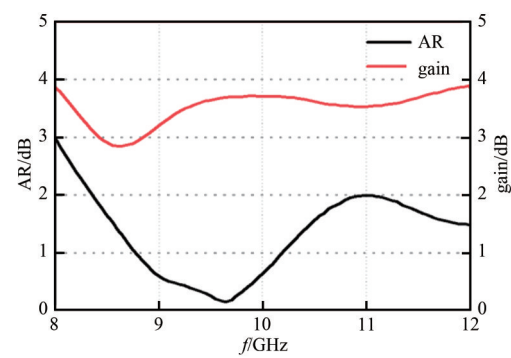


Fig.4 Axial ratio and antenna gain for LHCP port of the proposed antenna
图4 左旋圆极化轴比和增益

2 仿真结果与分析

本文采用商用仿真软件 HFSS 对天线进行仿真分析, 该天线激励端口 1 和端口 4 时的驻波比曲线如图 3 所示。从图中可以看出, 在 8~12 GHz 频段内, $VSWR < 2$, 表现出良好的阻抗匹配特性。

图 4 为激励端口 1 产生左旋圆极化在天顶方向的轴比曲线和增益, 图 5 为激励端口 4 产生的右旋圆极化在天顶方向的轴比和增益。在整个 X 频段内, 该天线表现出良好的双圆极化特性。图 6(a)~(d) 分别为左旋圆极化和右旋圆极化在 8 GHz 和 12 GHz 处的方向图。从图 6 中可以看出, 在天顶方向交叉极化小于 -15 dB, 并且具有较宽的半功率波束宽度, 表现出良好的左旋和右旋圆极化特性。

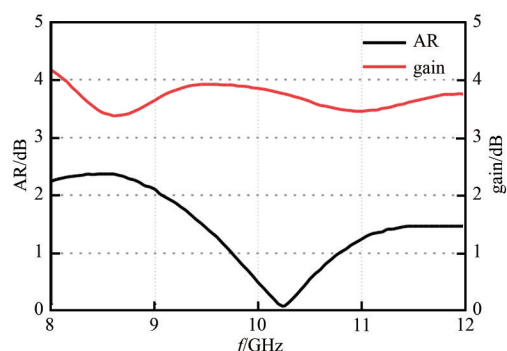


Fig.5 Axial ratio and antenna gain for RHCP port of the proposed antenna

图 5 右旋圆极化轴比和增益

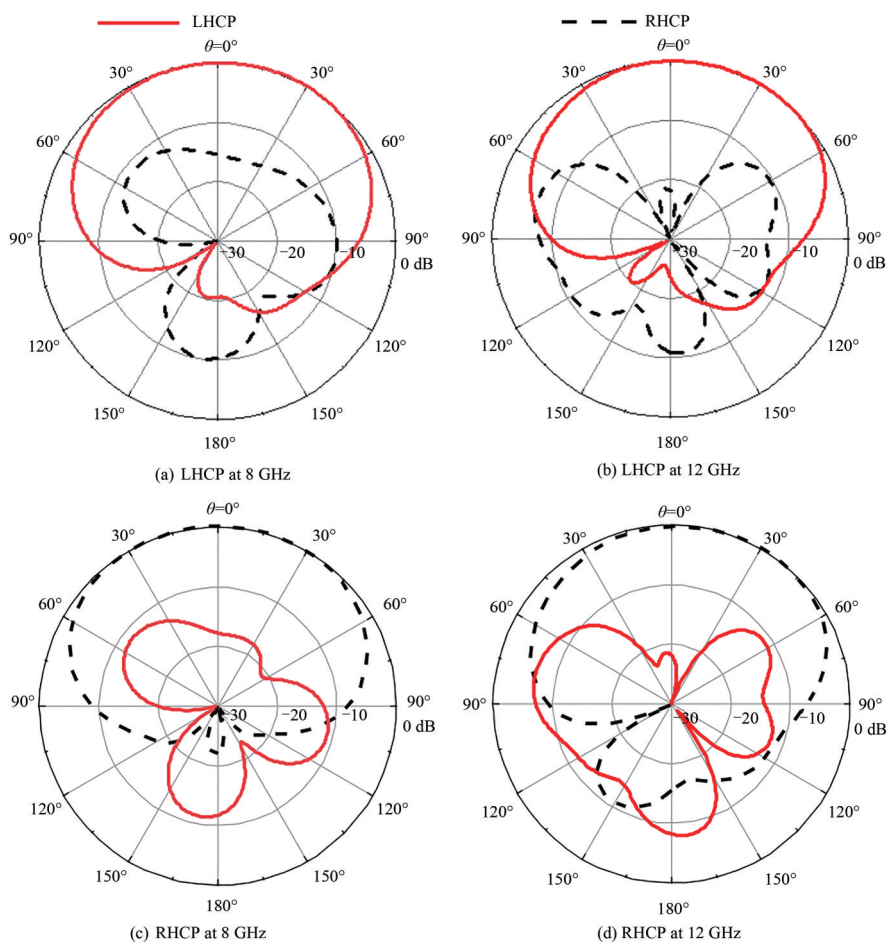


Fig.6 Radiation pattern for left- and right-handed circular polarization at different frequencies

图 6 不同频率处的左旋和右旋圆极化方向图

3 结论

本文提出了一种覆盖 X 频段的双圆极化天线。通过在 Vivaldi 天线的辐射贴片开一对对称的指数曲线型槽, 能够降低天线的尺寸和改善 Vivaldi 天线在较低频率处的辐射特性。优化多层板耦合器椭圆地板缝隙和椭圆微带线的长轴和短轴参数, 设计出 8~12 GHz 宽带 3 dB 电桥。通过 3 dB 电桥端口 2 和 3 分别给 Vivaldi 天线馈电, 实现双圆极化。仿真结果表明, 所设计的天线整体尺寸为 $0.48\lambda \times 0.48\lambda \times 0.5\lambda$ (λ 对应最低频率处波长), 能够在整个 X 频段内实现 $SWR < 2$, AR 为 3 dB, 带宽为 40% 的双圆极化。

(下转第 1270 页)