



一种用于 GPS 的小型化全向圆极化天线设计

摘要

圆极化天线在卫星导航通信、雷达及信息对抗上有非常重要的作用.本文提出了一种工作在 GPS L1 频段(1.575 GHz)上的小型圆极化天线,它具有较低的剖面 and 较小的尺寸,结构紧凑、馈电简单,并呈现良好的全向圆极化特性.天线的辐射结构由一个 4 轴弧形贴片和直接馈电的金属柱组成,同时,贴片内环引入额外的弧形枝节,外环枝节的末端引入 4 个短路探针来实现天线的小型化.通过 Ansoft HFSS 16.1 对该天线进行仿真验证,结果表明,该圆极化天线在 1.575 GHz 频段上具有良好的驻波特性,且工作频带内的轴比 < 3 dB,最高增益达到 0.2 dBic.

关键词

全向圆极化;短路针;轴比;低剖面

中图分类号 TN820

文献标志码 A

收稿日期 2018-11-29

资助项目 国家自然科学基金(61871309,61801346)

作者简介

刘英(通信作者),女,博士,教授,博士生导师,主要从事天线隐身特性、新一代移动通信基站天线、无线终端天线特性以及电磁隐身技术等研究.liuying@mail.xidian.edu.cn

¹ 西安电子科技大学 天线与微波技术重点实验室,西安,710071

² 南京电子技术研究所,南京,210039

0 引言

极化是电磁波的一个重要特性.电磁波根据极化形式可分为线极化波、圆极化波和椭圆极化.为有效避免线极化天线在发射接收时极化失配的情况,在飞行器或一些弹载设备上,圆极化具有更好的稳定性.同时,圆极化波可以减少复杂环境中电磁波的多径衰落和多径反射效应,保证电磁波的高功率传播.此外,在现代电子战中,圆极化波可以起到更好的侦察作用和干扰作用.因此,圆极化天线在卫星通信系统、雷达、电子对抗和电视广播中有着广泛的应用^[1-2].近年来,对于圆极化天线的需求日益增长,国内外的学者已经提出各种各样的全向圆极化天线^[3-7].伴随着天线不断小型化的趋势,小型化的圆极化天线成为目前的一个研究热点.

本文提出一种工作在 GPS L1 频段上的全向圆极化天线,其在工作频点 1.575 GHz 处具有良好的驻波特性和全向圆极化特性,同时,该天线具有较小的尺寸和剖面,馈电简单,在飞行器和一些弹载设备上有着很好的应用前景.

1 天线工作机理

根据电磁场与天线理论^[8],如图 1 所示,位于坐标原点沿着 z 轴放置的偶极子天线,其远场方向图可以表示为

$$E = j \frac{LIZ_0}{2\lambda r} (\sin \theta) \cdot \hat{\theta}, \quad (1)$$

式中, L 是偶极子天线的长度, Z_0 是空间波阻抗, I 是偶极子上的电流强度, λ 为天线的工作波长, r 为观察点到原点的距离.

而对于一个圆心处于原点, xoy 面上的电小环天线,其远场方向图可以表示为

$$E = \frac{\pi a I Z_0}{\lambda r} J_1(\beta a \sin \theta) \cdot \hat{\phi}, \quad (2)$$

式中, a 是偶极子天线的长度, Z_0 是空间波阻抗, I 是电小环上的电流强度, λ 为天线的工作波长, r 为观察点到原点的距离, β 是相移常数, $J_1(\beta a \sin \theta)$ 是 $\beta a \sin \theta$ 的一阶贝塞尔函数.

由式(1)、(2)可以看出,当相同的电流 I 激励在偶极子天线和环天线时,它们产生的电场方向分别是垂直极化和水平极化的,因此它们相互正交,且相位差相差 90° .因此,将这种天线如图 1 垂直放置时,

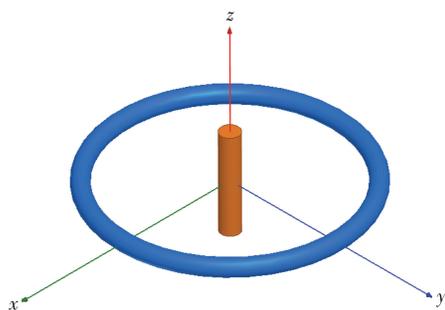


图1 全向圆极化天线模型

Fig. 1 Omnidirectional circularly polarized antenna model

它们产生的叠加场为

$$E = j \frac{LIZ_0}{2\lambda r} (\sin \theta) \cdot \hat{\theta} + \frac{\pi a I Z_0}{\lambda r} J_1(\beta a \sin \theta) \cdot \hat{\phi}. \quad (3)$$

因此,其轴比可以表示为

$$R_A = \left| 20 \log_{10} \left(\frac{2\pi a J_1(\beta a \sin \theta)}{L \sin \theta} \right) \right|. \quad (4)$$

当 a 很小时, $J_1(\beta a \sin \theta)$ 趋近于 $\frac{\beta a \sin \theta}{2}$, 因此,

$$R_A = \left| 20 \log_{10} \left(\frac{\pi \beta a^2}{L} \right) \right|. \quad (5)$$

因此,当 $\pi \beta a^2 = L$ 时,可以实现 $R_A = 0$ dB,此时天线的辐射波将呈现出理想的圆极化特性.由于偶极子天线和环天线产生的辐射场均与方位角 φ 无关,因此,偶极子和环天线的组合可以形成全向圆极化的特性.

2 天线设计与仿真

基于上述理论,本文提出了一款小型全向圆极化天线.天线结构由金属贴片、馈电金属柱和4个短路探针3部分组成.其中金属贴片采用4轴形式,末端引出4个弧形枝节,印刷在厚度为1 mm、介电常数为6.0的Rogers TMM6介质板上,处于中心的金

属柱底部连接印刷在0.6 mm厚度的Rogers TMM6下层介质板上的金属环,并与馈电端口相连接,电流流经中心金属柱并耦合到顶层的金属贴片上.如上节所述,处于上层介质上的带有弧形枝节的贴片可以产生水平极化的电磁波,而金属柱上电流可以辐射出垂直极化的电磁波,且这两种电磁波相互正交,相位相差 90° ,因此在远场可以叠加形成沿水平方向传播的右旋圆极化波.

为了实现天线的小型化,弧形枝节末端通过4个短路钉接地,同时贴片的每个轴上引入额外的弧形枝节.整个天线为单端口馈电,最终天线整体尺寸为 $23 \text{ mm} \times 23 \text{ mm} \times 9.1 \text{ mm}$,工作频段在GPS L1频段(1.575 GHz).天线结构如图2所示.相关的结构参数为 $R = 13.5 \text{ mm}$, $W_o = 2 \text{ mm}$, $W_a = 0.8 \text{ mm}$, $R_c = 1.25 \text{ mm}$, $R_{ii} = 1.6 \text{ mm}$, $R_i = 2.1 \text{ mm}$, $R_n = 8.8 \text{ mm}$, $W_f = 2.5 \text{ mm}$, $W_s = 0.2 \text{ mm}$, $T_r = 1 \text{ mm}$, $T_s = 0.6 \text{ mm}$, $H = 9.1 \text{ mm}$.

3 结果及分析

为了说明该设计的可行性,对该天线进行了仿真和加工实测.图3是天线的 S_{11} 曲线,可以看出所提出的天线在1.575 GHz处的仿真和实测的 S_{11} 均在 -10 dB 以下.天线的轴比如图4所示,可以看出,1.575 GHz下天线的水平面轴比在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 内均在2.8 dB左右,且天线的轴比在1.565~1.585 GHz频带内均小于3 dB,说明天线具有良好的全向圆极化特性.为了进一步说明天线的辐射特性,对天线的远场特性进行了仿真和实测.图5是天线的主极化和交叉极化的增益方向,在1.575 GHz处,天线的右旋圆极化峰值增益达到了0.2 dBic,同时 $\theta = 90^\circ$ 和 $\varphi = 0^\circ$ 面的交叉极化的幅度均远小于主极化的幅度,因此天线具有良好的右旋全向圆极化辐射特性.天线

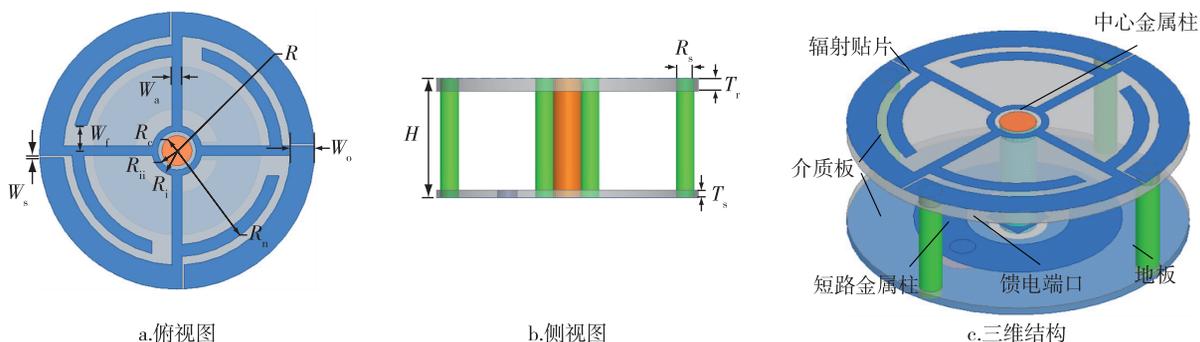


图2 圆极化天线结构

Fig. 2 Structure of the circularly polarized antenna: (a) top view; (b) side view; (c) perspective view

实际测试结果很好地验证了仿真设计的合理性。

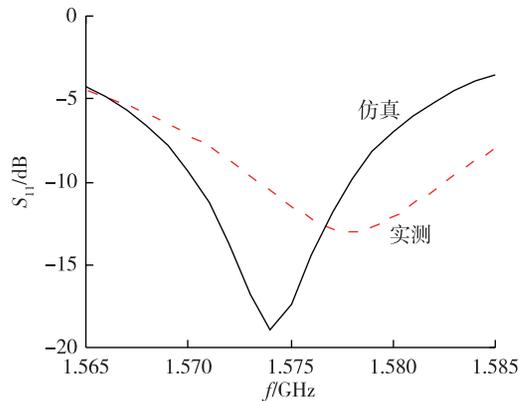
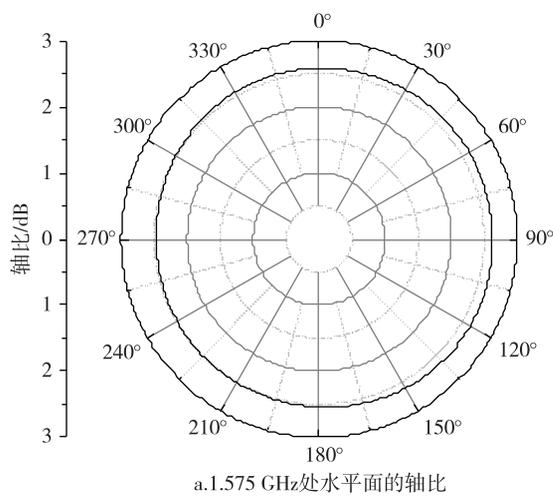
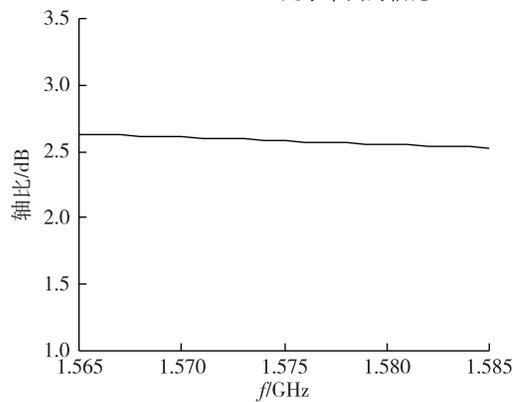


图3 天线的 S_{11} 曲线

Fig. 3 The simulated S_{11} of the proposed antenna



a.1.575 GHz处水平面的轴比



b.轴比与频率的关系

图4 天线的轴比

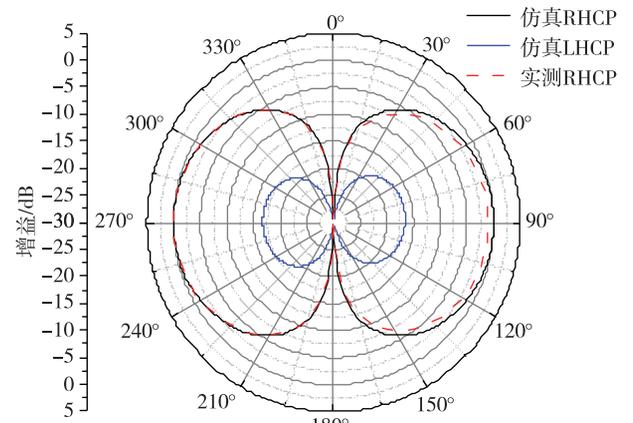
Fig. 4 The simulated axial ratio of the proposed antenna;

(a) at 1.575 GHz in azimuth plane; (b) with respect to frequency

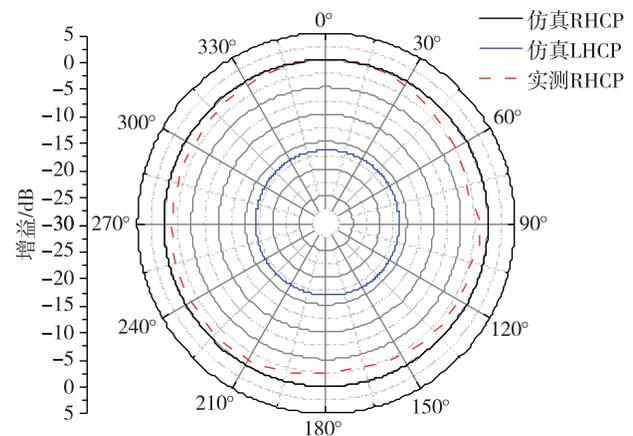
4 结束语

本文针对工程需要提出了一种单馈型的小型化全向圆极化天线,天线结构由加载弧状枝节的贴片

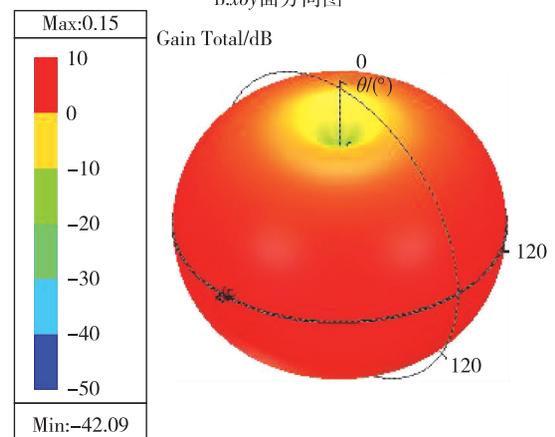
和中心柱金属形成全向的圆极化辐射.天线工作在GPS L1 频段上,具有低剖面、结构紧凑、馈电简单的优点,仿真结果表明该天线在GPS L1 频段具有良好的圆极化特性,且易于工程实现.因此,在飞行设备上和弹载设备上具有很好的应用价值.



a.xoz面方向图



b.xoy面方向图



c.三维方向图

图5 1.575 GHz 处天线的方向图

Fig. 5 The radiation pattern of the proposed antenna at

1.575 GHz: (a) xoz plane ($\varphi=0^\circ$);

(b) xoy plane ($\theta=90^\circ$); (c) 3D

参考文献

References

- [1] 林昌禄,宋锡明.圆极化天线[M].北京:人民邮电出版社,1986
LIN Changlu, SONG Ximing. Circularly polarized antenna [M]. Beijing: Post & Telecom Press, 1986
- [2] 余恒清,符果行.电磁波极化的教学研究[J].天线与电波传播,1996,18(2):45-47
YU Hengqing, FU Guoxing. Teaching research on electromagnetic wave polarization[J]. Journal of Electrical & Electronic Engineering Education, 1996, 18(2): 45-47
- [3] Pan Y M, Zheng S Y, Li W W. Dual-band and dual-sense omnidirectional circularly polarized antenna [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2014, 13: 706-709
- [4] Zhou B, Geng J P, Bai X D, et al. An omnidirectional circularly polarized slot array antenna with high gain in a wide bandwidth [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2015, 14: 666-669
- [5] Cai Y M, Gao S, Yin Y Z, et al. Compact-size low-profile wideband circularly polarized omnidirectional patch antenna with reconfigurable polarizations [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2016, 64(5): 2016-2021
- [6] Pan Y M, Zheng S Y, Hu B J. Wideband and low-profile omnidirectional circularly polarized patch antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014, 62(8): 4347-4351
- [7] Yu D, Gong S X, Wan Y T, et al. Wideband omnidirectional circularly polarized patch antenna based on vortex slots and shorting vias [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014, 62(8): 3970-3977
- [8] Kraus J D, Mathefka R J. Antennas for all applications [M]. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2003

A miniaturized omnidirectional circularly polarized antenna design for GPS applications

WANG Chenyang¹ LIU Ying¹ JIA Yongtao¹ WANG Kan²

1 Science and Technology on Antenna and Microwave Laboratory, Xidian University, Xi'an 710071

2 Nanjing Research Institute of Electronics and Technology, Nanjing 210039

Abstract Circularly polarized antennas play an important role in communication through satellite navigation, radar, and information confrontation. In this letter, a miniaturized circularly polarized antenna operating in the GPS L1 band (1.575 GHz) is proposed. The proposed antenna possesses the advantages of having a low profile, small size, and compact structure, which in turn imply superior omnidirectional circular polarization. The radiation structure of the proposed antenna comprises a four-axis arched patch and a direct feeding metallic pin. Four inner additional arcs and four shorting pins were introduced for achieving the antenna miniaturization. The proposed design was verified by employing the Ansoft HFSS 16.1 simulation tool. The simulation results indicate that the proposed circularly polarized antenna matches well at the frequency of 1.575 GHz. Furthermore, the axial ratio is found to be less than 3 dB at the operating frequency band and the peak gain can reach a value of 0.2 dBic.

Key words omnidirectional circular polarization; shorting pins; axial ratio; low-profile