

一种宽带全向圆极化天线

全旭林, 李融林

(华南理工大学电子与信息学院, 广东广州 510640)

摘要: 基于环天线-偶极子模型, 本文提出一种宽带全向圆极化天线. 天线包含四对围绕圆柱放置的倾斜振子和一个宽带馈电网络. 每对振子包含一个主辐射振子和一个用以增加带宽的寄生振子. 馈电网络包括四个宽带巴伦和一个阻抗匹配电路. 实验结果表明, 该天线 15-dB 回波损耗带宽和 3-dB 轴比带宽分别为 31% (1.68 – 2.31GHz) 和 30% (1.7 – 2.3GHz), 水平面不圆度小于 1dB.

关键词: 全向天线; 圆极化天线; 宽带天线

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2014)01-0187-04

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2014.01.030

A Broadband Omnidirectional Circularly Polarized Antenna

QUAN Xu-lin, LI Rong-lin

(School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510640, China)

Abstract: This paper proposes a broadband omnidirectional circularly polarized (CP) antenna based on a loop-dipole configuration. The antenna consists of four pairs of titled dipoles and a broadband feeding network. The four pairs of titled dipoles are wrapped around a cylinder. Each pair of titled dipoles includes a driven dipole and a parasitic element which is introduced to enhance the bandwidth. The feeding network is composed of four broadband baluns and an impedance matching circuit. Experimental results show that this CP antenna has a 15-dB return loss bandwidth of 31% (1.68-2.31GHz) and a 3-dB axial ratio bandwidth of 30% (1.7 – 2.3GHz). The gain variation in the horizontal plane is less than 1dB

Key words: omnidirectional antenna; circularly polarized antenna; broadband antenna

1 引言

全向圆极化天线在遥感遥测、空间飞行器、海上通信以及无线通信等领域有着广泛的应用^[1~4]. 目前, 国内外对全向圆极化天线已作了大量研究. 文献[2,5]提出的全向圆极化天线结构简单, 但尺寸相对较大(直径 $D = 1\lambda$), 且最大带宽仅为 7.4%^[5]; 文献[6]采用了微带天线实现全向圆极化辐射, 该天线剖面低, 但由于是驻波天线, 带宽很窄 ($< 5\%$); 文献[7]利用圆极化器实现全向圆极化辐射, 此天线具有良好的全向辐射特性, 但带宽非常窄 ($< 1\%$). 综上所述, 目前全向圆极化天线设计的突出问题是带宽不足, 成为制约全向圆极化天线广泛应用的主要因素.

本文基于环天线-偶极子模型, 提出一种新型宽带全向圆极化天线. 利用四对围绕圆柱放置的倾斜振子实现了全向圆极化辐射. 通过寄生单元和宽带馈电网络设计, 实现约 30% 的带宽.

2 天线结构

本文提出的全向圆极化天线结构如图 1(a)所示. 该天线包括四对围绕圆柱放置的倾斜振子(图 1(b))和一个宽带馈电网络(图 1(c)). 每对倾斜振子包括一个主辐射振子和一个寄生振子. 四对振子印制在柔性介质板上, 将其弯曲成柱形以实现水平面上的全向辐射. 馈

表 1 天线参数

参数	尺寸	参数	尺寸	参数	尺寸
R	32mm	β	40deg	DE	14.25mm
H	60mm	g	14.5mm	$w1$	0.5mm
$L1$	75mm	ug	18mm	$w2$	1.5mm
$W1$	7.5mm	OA	5.25mm	ls	19mm
$L2$	50mm	AB	25.25mm	ws	1.2mm
$W2$	3mm	BC	2.75mm	hf	2.5mm
α	35deg	CD	7.75mm	uf	1.5mm

电网络包括四个宽带巴伦和一个阻抗匹配电路. 宽带巴伦利用微带线-缝隙耦合实现宽带耦合馈电^[8]. 匹配

电路实现四个宽带巴伦与 50-Ω 同轴线的阻抗匹配. 通过仿真优化, 图 1 中各参数尺寸如表 1 所示.

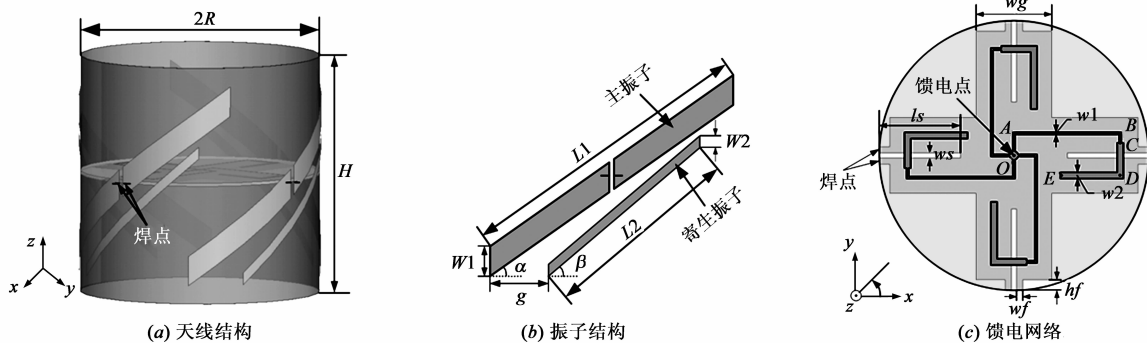


图1 宽带全向圆极化天线

3 天线设计

3.1 倾角和半径的选取

倾斜振子的倾斜角度和放置位置是实现全向圆极化辐射的关键. 当四个倾斜振子围绕圆周放置并对其进行幅同相馈电时, 天线可近似等效为四个垂直振子和四个水平振子的组合, 如图 2 所示.

水平面夹角; r 为远场点 P 距离原点的距离; θ 为 P 点与水平面夹角; φ 为 P 点在水平面上投影与 x 轴夹角.

由式(1)、(2)可知, E_θ 、 E_φ 具有 90° 相位差, 只要满足 $|E_\theta| = |E_\varphi|$, 即可实现圆极化辐射. 但实际上, 不能在水平面上任一点均满足 $|E_\theta| = |E_\varphi|$. 如果要在 $\varphi = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 时实现 $|E_\theta| = |E_\varphi|$, 则需满足:

$$\tan \alpha = \tan(kR/2) \tag{3}$$

若要在 $\varphi = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$ 时实现 $|E_\theta| = |E_\varphi|$, 则需满足:

$$\tan \alpha = \frac{1}{\sqrt{2}} \tan\left(\frac{kR}{\sqrt{2}}\right) \tag{4}$$

依据式(3)、(4), 可确定半径 R 和倾角 α 之间的关系, 如图 3 所示. 当倾角很小时, 对应的半径也很小, 此时天线具有小尺寸的优点, 但小空间不利于馈电网络的设计. 随着倾角的变大, 对应的半径增大, 则水平面上的全向性也随之恶化. 经过仿真试验, 选取 $\alpha = 35^\circ$ 和 $R = 0.21\lambda$ 可实现良好的圆极化及全向特性.

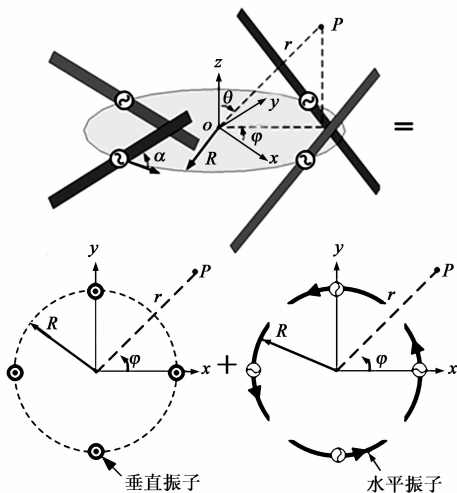


图2 天线等效模型

为简化分析, 我们假设垂直/水平振子具有均匀电流分布. 四个垂直振子在远场水平面上点 $P(\theta = 90^\circ)$ 所产生电场仅有垂直分量 $E_\theta^{[9]}$:

$$E_\theta = j \frac{60kl_0 l \sin \alpha}{r} e^{-jkr} \sin \theta \left[\cos(kR \sin \theta \cos \varphi) + \cos(kR \sin \theta \sin \varphi) \right] \tag{1}$$

四个水平振子在远场水平面上点 P 所产生电场仅有水平分量 E_φ :

$$E_\varphi = \frac{60kl_0 l \cos \alpha}{r} e^{-jkr} \left(\frac{\sin \varphi (\sin(kR \sin \theta \sin \varphi))}{\cos \varphi (\sin(kR \sin \theta \cos \varphi))} \right) \tag{2}$$

其中, $k = 2\pi/\lambda$, λ 为中心频率波长; l 为垂直/水平振子上电流; R 为圆柱半径; l 为倾斜振子长度; α 为倾斜振子与

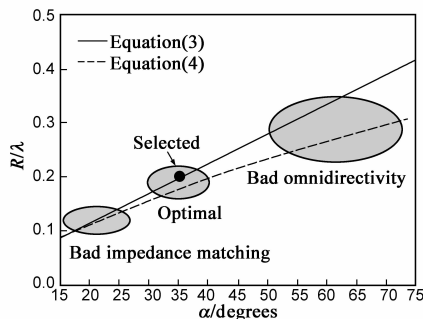


图3 半径 R 与倾角 α 关系

3.2 寄生振子的设计

当主辐射振子倾角 α 及圆周半径 R 确定后, 引入寄生振子以增加天线带宽. 图 4 给出了寄生振子倾角 β 对轴比的影响. 当寄生振子与主辐射振子平行时 ($\beta = \alpha = 35^\circ$), 3-dB 轴比带宽有所展宽, 且轴比最小值也有所下降. 但当寄生振子与主辐射振子倾角不同时 ($\beta = 40^\circ$), 轴比性能得到进一步改善, 实现 3-dB 轴比带宽

32% (1.62 - 2.25 GHz).

图 5 显示了寄生振子长度对回波损耗的影响,当没有添加寄生振子时($L_2 = 0$ mm),回波损耗带宽较窄.随着寄生振子长度增加,在高频部分出现一个新的谐振点.通过调整寄生振子长度,可改变高频谐振点的位置.当选取 $L_2 = 50$ mm,天线可实现 15-dB 回波损耗带宽为 30% (1.672 - 2.25 GHz).

3.3 馈电网络

馈电网络包括四个宽带巴伦和一个阻抗匹配电

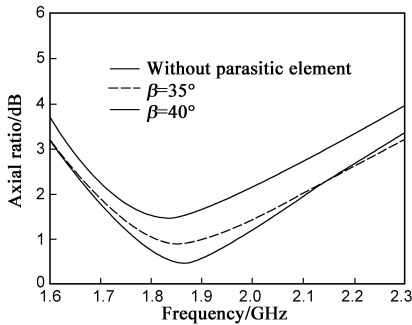


图4 寄生振子倾角对轴比的影响

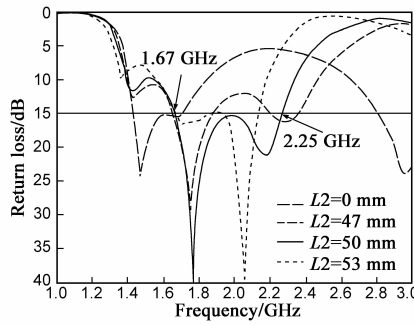


图5 寄生振子长度对S11的影响

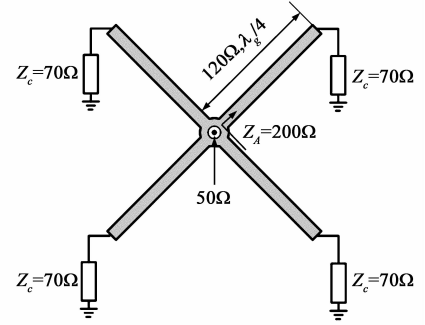


图6 馈电网络等效电路

4 结果与分析

根据仿真结果制作了天线实物,如图 7 所示.四对倾斜振子印制在介电常数为 3.2,厚度为 0.05mm 的柔性介质板(Panasonic R-F775)上以便于弯曲成柱形;馈电网络印制在介电常数为 2.2 的介质板上,所选取介质材料为 Taconic TLY-5,厚度为 0.8mm.天线通过同轴线在中心馈电,参见图 1(c)中“馈点”;最后将馈电网络和倾斜振子在主辐射振子中部焊接以保证其良好的导电性能.

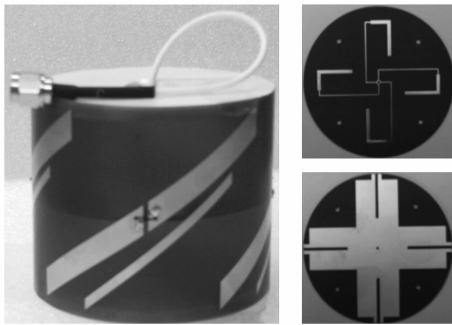


图7 天线实物(含馈电网络)

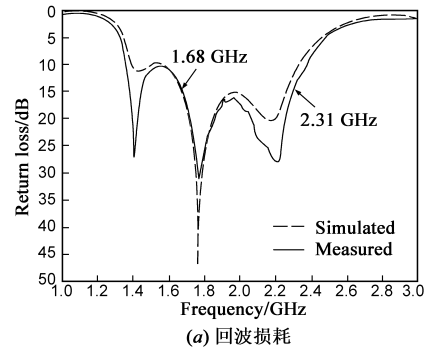
图 8 给出了仿真和测试所得的回波损耗和轴比结果.测试结果表明天线的 15-dB 回波损耗带宽为 31% (1.68 - 2.31GHz), 3-ddB 轴比带宽为 30% (1.7 - 2.3GHz),测试与仿真结果吻合.

图 9 给出了在 2GHz 仿真所得的归一化三维辐射

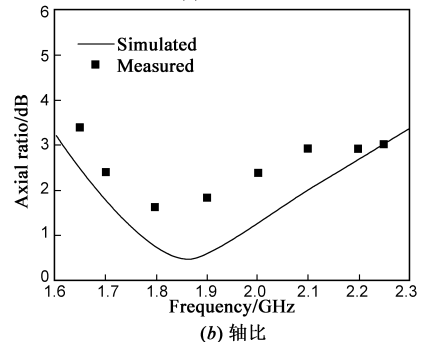
路,宽带巴伦利用微带线-缝隙耦合实现了宽频段内的阻抗匹配阻抗匹配.电路连接了四个巴伦与馈电所用的同轴线,其等效电路如图 6 所示.

十字型交叉振子通过微带线-缝隙转换后在“C”点得到的输入阻抗 Z_B 为 70Ω .为了在“O”点得到与同轴线匹配的 70Ω 输入阻抗,则每条支路的输入阻抗需为 200Ω .因此利用一段特征阻抗为 120Ω ($\sqrt{200\Omega \times 70\Omega} = 120\Omega$) 的 $\lambda_g/4$ (OA + AB + BC) 阻抗变换线来实现 50Ω 到 200Ω 的阻抗变换.

方向图,显示了良好的全向圆极化性能.图 10 给出了 1.7,2,2.2GHz 时测试所得辐射方向图,表明此天线在宽频带内均具有良好的全向圆极化特性,水平面上的不圆度小于 1dB.天线增益约为 1dBi,如图 11 示,仿真与测试结果吻合.



(a) 回波损耗



(b) 轴比

图8 仿真与测试回波损耗和轴比

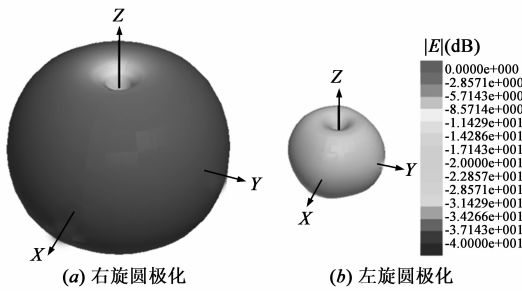


图9 归一化三维辐射方向图

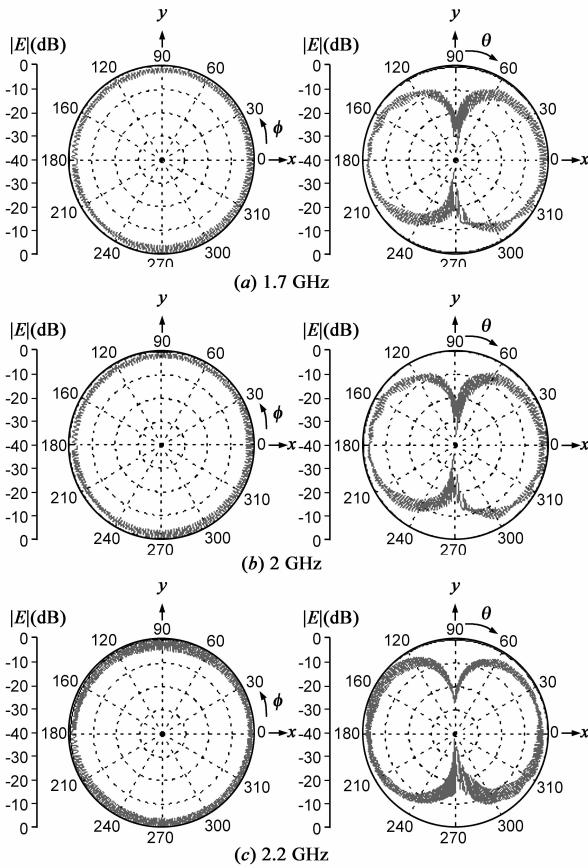


图10 测试方向图

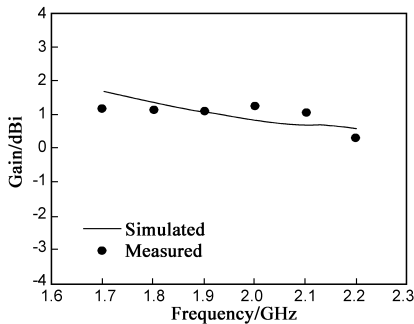


图11 仿真与测试增益

5 结论

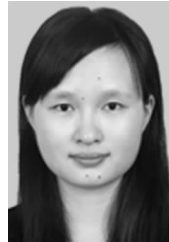
本文提出了一种新型宽带全向圆极化天线. 通过引入寄生振子实现了 30% (1.7 – 2.3GHz) 的 3-dB 轴比

带宽. 宽带馈电网络实现了 31% (1.68 – 2.31GHz) 的 15-dB 回波损耗带宽. 该天线具有结构简单、便于制作等优点, 具有广阔的应用前景.

参考文献

- [1] 吴开胜, 刘昊, 李绪平, 张海磊. 新型圆极化全向对称振子天线[J]. 遥测遥控, 2007, 28(1): 68 – 72.
- [2] Schulze R, Wallis R E, Stilwell R K, Cheng W. Enabling antenna systems for extreme deep-space mission applications [J]. Proceedings of the IEEE, 2007, 95(10): 1976 – 1985.
- [3] 黄子旻. 高增益全向圆极化海上移动天线的研究[D]. 山东大连: 大连海事大学, 2010. 6.
- [4] Kajiwara A. Circular polarization diversity with passive reflectors in indoor radio channels [J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 2000, 49(3): 778 – 782.
- [5] Morrow J D. Polarization-adjustable omnidirectional dipole array [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2003, 2: 223 – 225.
- [6] Park B C, Lee J H. Omnidirectional circularly polarized antenna utilizing Zeroth-order resonance of epsilon negative transmission line [J]. IEEE Trans on Antennas Propag, 2011, 59(7): 2717 – 2721.
- [7] Fernández J M, et al. Circularly polarized omnidirectional millimeter wave monopole with parasitic strip elements [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2007, 49: 664 – 668.
- [8] Li R L, Wu T, et al. Equivalent-circuit analysis of a broadband printed dipole with adjusted integrated balun and array for base station applications [J]. IEEE Trans on Antennas Propag, 2009, 57: 2180 – 2184.
- [9] Balanis CA. Antenna Theory Analysis and Design [M]. Hoboken: John Wiley & Sons Inc, 2005. 151 – 162.

作者简介



全旭林 女, 1987 年生于河南南阳, 现为华南理工大学电子与信息学院博士研究生. 研究方向为宽带全向天线.
E-mail: ielinxu@163.com



李融林 男, 1963 年生于重庆, 现为华南理工大学电子与信息学院教授, 博士生导师. 研究方向包括通信天线理论与技术、射频识别与无线传感器, 相控阵与智能天线, 电磁场与信息论.
E-mail: lir@scut.edu.cn