

# 具有方向图可重构特性的小型化天线设计

陈彬 许伟民 王小军

(中航工业雷华电子技术研究所 无锡 214063)

**摘要:**设计了一款具有方向图可切换特性的新型平面圆形可重构天线。该天线制作于介电常数为4.4的RR-4介质板上,半径为60 mm,在 $x$ - $o$ - $y$ 平面上紧凑对称,具有低剖面、低成本、小型化的优点。天线可用阻抗带宽为2.36~2.51 GHz,可以适用于Wibro, Bluetooth和WLAN系统。通过改变不同辐射单元与馈电微带的连接关系,天线可在6个方向上实现波束可重构。若结合快速切换开关系统,天线可在 $x$ - $o$ - $y$ 平面上完成方向图电扫描。同时,测量和仿真结果具有很好一致性。

**关键词:**蓝牙;圆形天线;可重构;可切换

**中图分类号:** TN82    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.1025

## Design of compact antenna with reconfigurable lobe patterns

Chen Bin Xu Weimin Wang Xiaojun

(LeiHua Electronic Technology Research Institute of AVIC, Wuxi 214063, China)

**Abstract:** A novel planar circular reconfigurable antenna with six switchable lobe patterns is proposed. The antenna was fabricated on a FR-4 epoxy substrate with radius of 60 mm and relative dielectric constant of 4.4, and has a compact structure located symmetrically in  $x$ - $o$ - $y$  plane. The proposed antenna is of low profile, low cost and small volume, and has an available impedance bandwidth of 2.35~2.51 GHz, which can be applied in the systems of Wibro, Bluetooth, ZigBee and wireless local area networks (WLAN). By changing the connections between the radiators and feed, six reconfigurable lobe patterns are achieved. Combining rapid switchable control system of switches, the patterns can be scanned in  $x$ - $o$ - $y$  plane. Meanwhile, a good agreement between measured and expected results is obtained.

**Keywords:** bluetooth; circular antenna; reconfigurable; switchable

## 1 引言

从1999年美国国防部提出可重构孔径计划后,可重构天线因其可通过电控开关变换物理结构改变电特性的特点而成为了研究热点,按照功能的不同,可以分为频率可重构、方向图可重构和极化可重构三种类型<sup>[1-4]</sup>。

方向图可重构天线可以在保持工作频率和极化方式基本不变的情况下实现方向图的电控。由于天线收发电磁波具有固定的方向性,因此,方向图可重构天线能够定向地抑制噪声、减小电磁干扰、提高辐射效率、节约能量和提高系统安全性<sup>[5-6]</sup>。一般来说,方向图可重构通过相控阵天线来获得,但其结构复杂、成本昂贵、体积巨大,难以满足一般工程需要,而方向图可重构天线,可以克服以上缺点。

一种实现方向图可重构的方法是通过体积小、功耗

低、低插损的电控开关(例如PIN管, MEMS开关等)动态的变更天线物理结构,进而实现方向图的电子扫描功能;另一种方式是通过有目的的选择辐射单元来改变天线辐射方向<sup>[7-12]</sup>。在文献[7]中,通过改变辐射单元与地之间的连接关系,八木天线在方位的平面上具有两种方位角相差180°可重构方向图。在文献[8-9]中,通过开关控制不同辐射单元与接地面的连接情况,天线具有8种不同的方向图。在文献[10-12]中,通过加载不同的印制槽线或者选择辐射单元,实现天线在方位面和俯仰面上方向图的可重构。

本文提出了一种具有6种不同辐射方向图的新颖印刷型天线。该天线具有结构对称,覆盖工作带宽2.35~2.51 GHz,可适用于Wibro(2 300~2 390 MHz)、WLAN(2 400~2 485 MHz)系统<sup>[13-14]</sup>。通过电控选择不同辐射单元,实现方向图在 $x$ - $o$ - $y$ 面上的电扫描。

## 2 天线设计

文中给出了优化后的天线结构和尺寸图,如图 1 所示。天线制作于介电常数为 4.4、厚度为 1.5 mm、半径为 60 mm 的 FR-4 介质板上,具有对称的结构,包括半径为 1.7 mm 的圆形中心馈点、3 个尺寸为 6.0 mm×1.6 mm 的微带寄生单元、6 个对称辐射单元和 3 个 Y 形接地面(#1, #2, #3)。采用特征阻抗为 50 Ω 的同轴电缆对辐射单元底面馈电。通过控制辐射单元与接地面的连接情况,使天线表面分布电流随之改变,从而实现方向图可重构。寄生单元有助于降低天线谐振频点和压缩波束宽度。

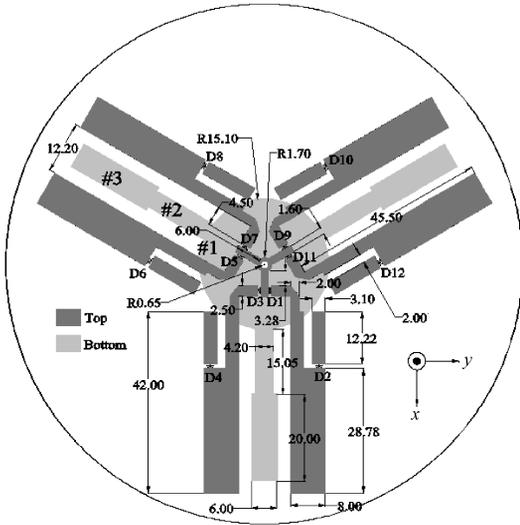


图 1 天线的结构和尺寸图

天线辐射单元的谐振长度一般为 1/4 工作波长的整数倍,这里选择 3/4 个中工作波长,计算方法如下<sup>[15-16]</sup>:

$$\lambda_{\text{eff}} = \frac{c}{f_{\text{res}} \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \text{ mm} \quad (1)$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{1 + \epsilon_r}{2} \quad (2)$$

$$L_{\text{rad}} = 0.75\lambda_{\text{eff}} = \frac{0.75c}{f_{\text{res}} \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \text{ mm} \quad (3)$$

式中:  $L_{\text{rad}}$  为辐射单元长度,单位 mm;  $f_{\text{res}}$  为谐振频率,单位 GHz;  $\lambda_{\text{eff}}$  为有效工作波长,单位 mm;  $c$  是自由空间中光的传输速度,  $\epsilon_r$  和  $\epsilon_{\text{eff}}$  分别为相对和有效介电常数。

需要说明的是,接地面 #1 有助于降低天线回波损耗,因此尽量给予较大的尺寸, #2 和 #3 作为反射器,有助于形成较窄的辐射波束。通过控制不同的开关,天线在方位面( $x$ - $o$ - $y$  平面)  $\varphi=20^\circ$ ,  $\varphi=80^\circ$ ,  $\varphi=140^\circ$ ,  $\varphi=200^\circ$ ,  $\varphi=260^\circ$ ,  $\varphi=320^\circ$  的方向上实现定向辐射。同时,因为 6 个辐射单元具有对称性、相同长度和相似的阻抗匹配特性,因此天线在调整方向图的过程中,可保持中心工作频点不变。

天线的工作模式与各开关的通断关系如表 1 所示。

表 1 天线的工作模式

模式	接通开关	频率/GHz	天线方位面方向 $\varphi/(^\circ)$
1	D11, D12	2.35~2.51	20
2	D1, D2	2.35~2.51	80
3	D7, D8	2.35~2.51	140
4	D9, D10	2.35~2.51	200
5	D3, D4	2.35~2.51	260
6	D5, D6	2.35~2.51	320

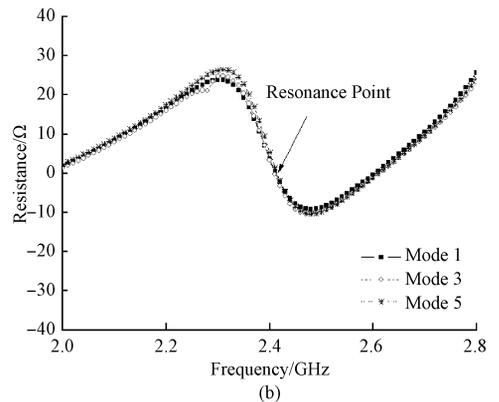
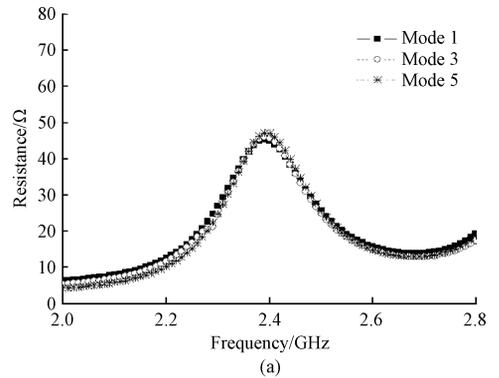


图 2 天线端口阻抗

## 3 仿真和实验结果

文中采用电磁仿真软件 Ansoft HFSS 10.0 对天线仿真并对结构参数优化,使用安捷伦 E5071B ENA(300 kHz~8.5 GHz)矢量网络分析仪对天线进行了测量。为操作简单和验证天线具有可重构特性,使用铜微带线的有无来模拟开关的通断。因天线具有对称的结果,所以文中仅给出了模式 1、模式 3 和模式 5 的仿真及测量结果。

阻抗匹配决定了天线回波损耗大小及谐振情况,图 2 给出了天线端口匹配情况。从图中可知,仿真模型的阻抗接近于同轴电缆的 50 Ω 特征阻抗,天线的谐振频率发生在 2.4 GHz 附近。

由图 3 可知,天线各工作模式在中心频率为 2.4 GHz 回波损耗小于 -30 dB, -10 dB 以下的可用带宽为 2.35~2.51 GHz,可适用于 Wibro, Bluetooth 和 WLAN 系统。

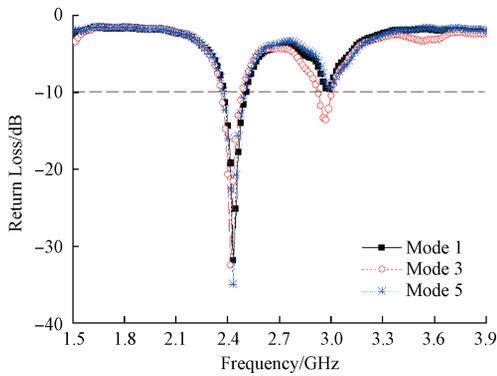


图 3 天线各模式回波损耗

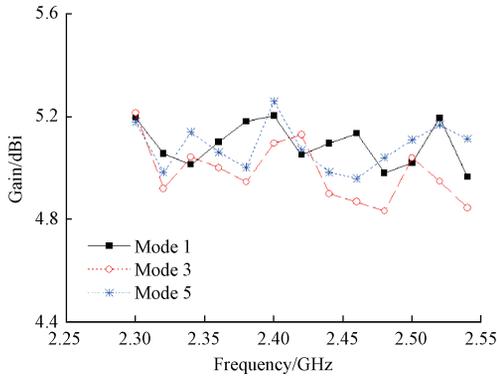


图 4 天线各模式的增益

各模式的增益如图 4 所示。由于测量误差以及电缆在各个波段的损耗不同,天线的实际增益在 4.8 ~ 5.5 dBi 波动,总的来说,天线具有较大的增益。

天线在 2.4 GHz 处的辐射方向图如图 5 所示。由图可知,通过开关选择,天线具有 6 种不同辐射方向的方向

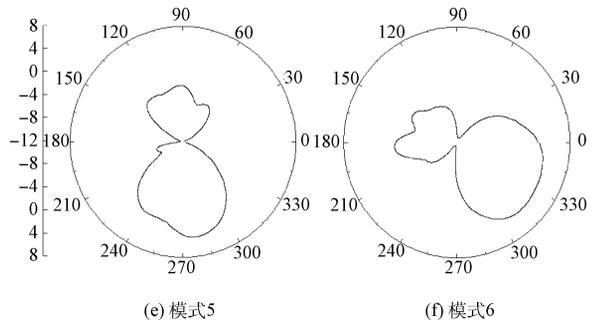


图 5 天线辐射方向图

图。可以想象的是:若结合快速开关切换系统,天线可实现方向图的电扫描,如图 6 所示。

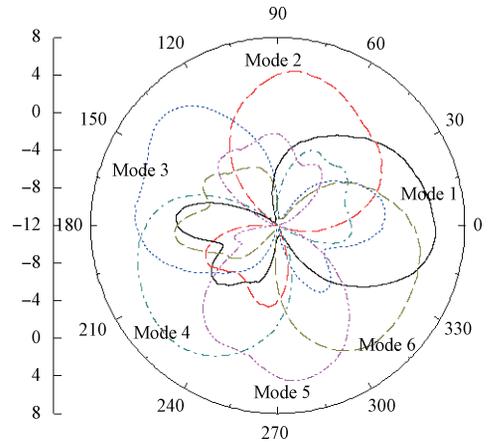
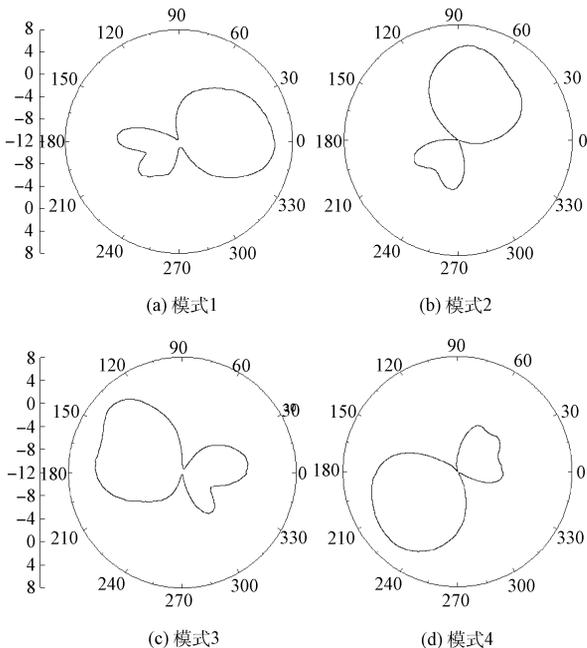


图 6 方向图快速扫描



### 4 结 论

本文提出了一种具有方向图可重构特性的圆形微带天线,天线具有低成本、低剖面、小型化、重量轻等优点。通过调整辐射单元为 3/4 个有效波长,天线可覆盖中心频率为 2.4 GHz, 2.35 ~ 2.51 GHz 的有效带宽。选择不同的辐射单元与馈电点连接,天线在  $x-o-y$  平面上具有可重构的方向图,可适用于方向图电扫描系统。

### 参考文献

- [1] 田雨波,谭冠南. 可重构天线研究概述[J]. 江苏科技大学学报:自然科学版, 2012, 26(3): 271-277.
- [2] 陈华君,郭东辉. 基于 MEMS 开关的双频可重构天线设计[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 2023-2024.
- [3] 胡越,杨雪霞,陆忠亮,等. 一种新型极化可重构微带天线[J]. 微波学报, 2014, 30(3): 5-8, 27.
- [4] 李浩,冷文,王安国,等. 一种小型化频率可重构微带天线的设计[J]. 电子测量技术, 2013, 36(10): 119-122.
- [5] JUSOH M, ABOUFOUL T, SABAPATHY T, et

- al. Pattern reconfigurable microstrip patch antenna with multidirectional beam for WiMAX application[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2014, 13(4): 860-863.
- [6] 肖绍球, 柏艳英, 王秉中, 等. 基于方向图可重构天线的新型宽角度扫描相控阵[C]. 2010年全国军事微波会议论文集. 中国电子学会, 2010: 113-115.
- [7] LIM S, LING H. Design of electrically small pattern reconfigurable Yagi antenna[J]. Electronics Letters, 2007, 43(24): 1326-1327.
- [8] BAI Y Y, XIAO S, TANG M C, et al. Pattern reconfigurable antenna with wide angle coverage [J]. Electronics Letters, 2011, 47(21): 1163-1164.
- [9] 赵凯南, 郑剑锋, 孙佳文, 等. 带有倒 L 寄生单元的低剖面方向图可重构天线[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2011, 51(2): 184-187.
- [10] NAIR S, AMMANN M J. Reconfigurable antenna with elevation and azimuth beam switching[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010, 9(1): 367-370.
- [11] KANG W, LEE S, KIM K. Design of symmetric beam pattern reconfigurable antenna[J]. Electronics Letters, 2010, 46(23): 1536-1537.
- [12] RAMAN S, MOHANAN P, TIMMONS N, et al. Microstrip-fed pattern-and polarization-reconfigurable compact truncated monopole antenna[J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, 2013, 12(5): 710-713.
- [13] BHATTI R A, IM Y T, PARK S O. Compact PIFA for mobile terminals supporting multiple cellular and non-cellular standards [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2009, 57(9): 2534-2540.
- [14] ZHANG C, YANG S, PAN H K, et al. A reconfigurable multiband patch antenna for wireless applications using MEMS switches[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2009, 51(8): 1892-1896.
- [15] 陈立波, 谢亚楠, 谭子苗, 等. 频率可重构超宽带天线[J]. 电子测量技术, 2015, 38(1): 7-11, 20.
- [16] 李迎松, 杨晓冬, 刘乘源, 等. 共面波导馈电的超宽带天线研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(9): 819-823.

### 作者简介

陈彬, 1984 年出生, 研究生学历, 中航工业雷华电子技术研究所工程师, 主要研究方向为雷达接收机系统。

E-mail: chenbintju@tju.edu.cn

许伟民, 1979 年出生, 研究生学历, 中航工业雷华电子技术研究所高级工程师, 主要研究方向为雷达接收机系统。

## 英国 Pickering 公司发布全新高密度 PXI 矩阵开关系列

采用高品质仪器级舌簧继电器为达到最佳性能表现而设计

2016 年 5 月 23 日, 作为电子测试与验证领域模块化信号开关和仿真产品的领导者, 英国 Pickering 公司宣布再次扩充其单刀高密度 PXI 矩阵开关产品家族。

该系列高密度矩阵开关(40-520 家族)包括 22 种不同配置, 单个模块最高可包含 256 个开关节点, 可匹配众多种类的测试需求。产品基于 Pickering Electronics 的仪器级高品质继电器, 提供 6 种总线宽度选项( $\times 16$ ,  $\times 12$ ,  $\times 8$ ,  $\times 6$ ,  $\times 4$  和  $\times 2$ ), 是价格极具竞争力的解决方案。这些高品质继电器有极长的寿命, 同时在传导微弱信号时也有很好的表现, 以及出色的导通电阻稳定性。

最新的 40-520 家族基于 Pickering 公司具有悠久历史的 PXI 矩阵模块而研发, 具有稳定的 1A 150Vdc 开关能力, 设计为单块 PCB 结构, 配合舌簧继电器可实现轻松维护。该系列产品集成 Pickering 公司的内置继电器自诊断 (BIRST) 功能, 同时也支持外置开关系统诊断工具 (eBIRST)。这些工具可以帮助用户快速简单的找到模块中有故障的继电器。

该系列产品的典型应用包括自动测试系统 (ATE) 和数据采集系统 (DAQ) 中信号路由的管理。