

DOI: 10.11991/yykj.201907011

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1191.U.20191115.1011.006.html>

S 波段 Y 形馈电的极化可重构圆形贴片天线

许立强, 陈倩, 刘长军

四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610064

摘 要: 为了实时控制天线的极化方式, 本文提出了极化可重构的 S 波段圆形贴片天线。该天线由圆形贴片、Y 形馈线和 2 支 PIN 二极管组成。在圆形贴片的中心设置了接地过孔, 便于给 PIN 二极管施加直流偏置电压。调整直接馈电和耦合馈电方式之间的相位差, 控制天线上的电流分布, 实现 2 种圆极化或线极化的工作模式。在辐射贴片和馈线之间引入 2 支 PIN 二极管作为开关, 使天线分别工作在线极化(LP)、左旋圆极化(LHCP)和右旋圆极化(RHCP)模式。在圆极化模式时, 该天线中心频率为 2.53 GHz, 10 dB 回波损耗和 3 dB 轴比相对带宽分别为 6.6% 和 1.2%。该天线结构简单, 便于加工, 在无线通信、雷达、无线能量传输等领域具有潜在的应用价值。

关键词: 微带贴片天线; 馈线; 线极化; 圆极化; 极化可重构; 极化分集; PIN 二极管; 模式

中图分类号: TN815

文献标志码: A

文章编号: 1009-671X(2020)02-0044-04

An S-band polarization reconfigurable circular patch antenna with Y-shaped feedline

XU Liqiang, CHEN Qian, LIU Changjun

School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China

Abstract: In order to control the polarization mode of antenna in real time, a polarization reconfigurable circular patch antenna at S-band is proposed in this paper. The antenna consists of a circular patch, a Y-shaped feedline, and two PIN diodes. An earthing via hole is made at the center of the circular patch so as to build a DC bias for the PIN diodes easily. The proposed antenna adjusts the phase difference between direct feeding and coupled feeding to control the antenna current and realize two modes: circular polarization and linear polarization. Two PIN diodes are introduced between the radiation patch and feedline as switches. The antenna works at three modes, i.e. the linear polarization (LP), left-hand circular polarization (LHCP), and right-hand circular polarization (RHCP) modes, respectively, which are generated by electrically controlling the two PIN diodes. In circular polarization mode, with a center frequency at 2.53 GHz, the measured 10 dB return loss and 3 dB axial-ratio relative bandwidth are 6.6% and 1.2%, respectively. The purposed antenna exhibits a simple structure and is easy to fabricate. It has potential values in the fields such as wireless communication, radar, wireless energy transmission, and so on.

Keywords: microstrip patch antenna; feedline; linear polarization; circular polarization; polarization reconfigurable; polarization diversity; PIN diode; mode

目前, 极化分集技术在无线通信系统中占有重要地位。极化分集技术可以节省频带资源, 提高信道容量、对抗信道衰落^[1]。极化可重构天线可以方便地改变极化特性。圆极化与线极化方式相比, 在抗极化旋转、抗干扰以及抗多径效应等

方面具有突出的优势^[2]。因此, 可重构圆极化天线非常适合于极化分集技术。近些年, 有许多用于极化分集的可重构微带天线被广泛研究^[3-8]。常见的方法是使用射频开关来重构辐射单元。射频开关的偏置线直接连接到辐射单元上, 会对天线的辐射性能产生影响^[3-5]。另一种可行的实现方法是重构天线的馈电结构^[6-9]。本文提出了一种采用渐变的 Y 形馈线的极化可重构圆形贴片天线。该天线利用直接馈电和耦合馈电 2 种方式之间存在的相位差来实现天线的圆极化, 辐射贴片

收稿日期: 2019-07-18. 网络出版日期: 2019-11-15.

基金项目: 国家自然科学基金项目(61931009).

作者简介: 许立强, 男, 硕士研究生;

刘长军, 男, 教授, 博士生导师.

通信作者: 刘长军, E-mail: cjliu@scu.edu.cn.

和馈线之间连接 2 个 PIN 二极管作为开关, 通过偏置电压来控制二极管的通断, 实现天线的可重构。文中分析了天线的工作机理, 给出了天线的结构和参数, 以及仿真和测量的结果。该天线结构简单紧凑, 便于加工, 在无线通信和无线能量传输等领域具有潜在应用价值^[10-12]。

1 天线设计及原理

常见的微带贴片天线的馈电结构可以分为直接馈电和耦合馈电, 本文提出的天线将这 2 种馈电方式相结合, 利用两者之间产生的相位差, 来实现天线的圆极化。该天线的辐射单元为圆形贴片, Y 形馈线的 2 条分支成圆弧形, 辐射贴片和馈线之间存在一个缝隙。当辐射贴片与馈线的一侧分支连通时为直接馈电, 另外一侧为耦合馈电。通常耦合馈电的电流与直接馈电的电流存在相位滞后。通过调节辐射贴片与馈线连接点的位置, 使相位差接近 90° , 就可以使天线实现良好的圆极化特性。

通过仿真发现: 当辐射贴片与馈线左侧分支连通, 且连接点与圆心的连线和天线的中轴线成接近 45° 角时, 天线的极化方式为左旋圆极化。由于天线为左右对称结构, 当辐射贴片与右侧分支连接时, 天线的极化方式则为右旋圆极化; 当馈线的 2 条分支都不与辐射贴片直接连接时, 天线的馈电方式为耦合馈电, 极化方式则为线极化。

基于 PIN 二极管控制馈线与辐射贴片的连接, 利用其开关特性, 就可以实现天线极化的可重构。通过偏置电路控制 PIN 二极管的通断, 就可以改变天线的极化。由于辐射贴片中心处的电流很弱, 所以可以在此处插入一个金属化过孔, 方便偏置电路的实现。偏置电路由四分之波长的高阻抗线和一个等效为接地电容的贴片组成, 不影响天线馈线的阻抗^[13]。

为了减小馈线和偏置电路对辐射单元的影响, 在馈线两边对称地设置了 2 个金属地, 使天线具有更好的辐射性能。

2 天线结构与仿真

对天线进行仿真和优化后得到其正面的结构和具体尺寸如图 1 所示。馈线的输入阻抗为 $50\ \Omega$, 在馈线中部有一个宽度为 $0.7\ \text{mm}$ 的缝隙, 在此处插入了一个 $27\ \text{pF}$ 的贴片电容用来将直流和射频隔开。分支的宽度逐渐变窄, 可以更好地实现阻抗匹配。

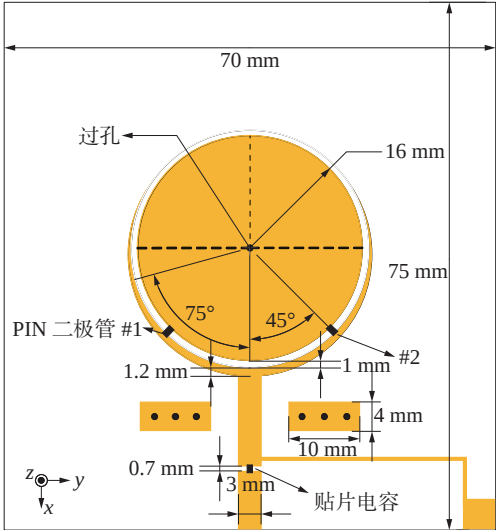


图1 天线结构

辐射贴片和馈线之间的距离为 $1\ \text{mm}$, 在缝隙中插入 2 个方向相反的 PIN 二极管, 二极管所在的位置和圆心的连线与天线的中轴线成 45° 角。当一个二极管处于导通状态, 另一个处于截止状态时, 就会构成一个不对称的馈电结构, 此时天线工作在圆极化模式; 而当 2 个 PIN 二极管都处于截止状态时, 天线的电流分布左右对称, 工作在线极化状态。本文使用的 PIN 二极管的型号为 SMP1345, 正向导通电压为 $0.89\ \text{V}$ 。天线的工作模式与其所对应的偏置电压和二极管状态如表 1 所示。

表1 天线工作模式

工作模式	偏置电压/V	PIN # 1	PIN # 2	极化方式
1	+0.89	ON	OFF	LHCP
2	-0.89	OFF	ON	RHCP
3	0	OFF	OFF	LP

当 PIN 二极管 # 1 处于导通状态时, # 2 处于截止状态, 圆形贴片与 Y 形馈线的左侧分支直接连通, 与右侧分支线耦合, 这 2 种馈电结构存在相位差, 使天线处于不对称的状态, 在这种情况下电流顺时针旋转, 天线工作在左旋圆极化模式, 贴片和 Y 形馈线的面电流分布如图 2 所示。当 PIN 二极管 # 1 处于截止状态, # 2 处于导通状态时, 圆形贴片与 Y 形馈线的右侧分支直接连通, 这时电流逆时针旋转, 天线工作在右旋圆极化模式。当 # 1 和 # 2 均处于截止状态时, 圆形贴片上的面电流分布左右对称, 天线工作在线极化模式。

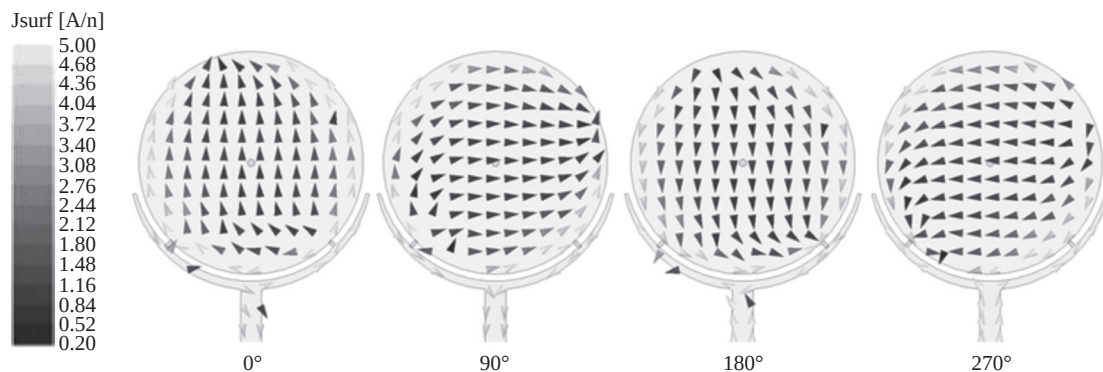


图2 天线左旋圆极化面电流分布仿真

3 测试结果对比与分析

天线实物图如图3所示,采用相对介电常数为4.4、厚度为1.6 mm的FR4介质板加工。天线尺寸为70 mm×75 mm,圆形贴片的半径为16 mm。天线的 S 参数测试使用Agilent矢量网络分析仪,轴比和方向图测试使用近场天线测试仪RFXpert和微波暗室。

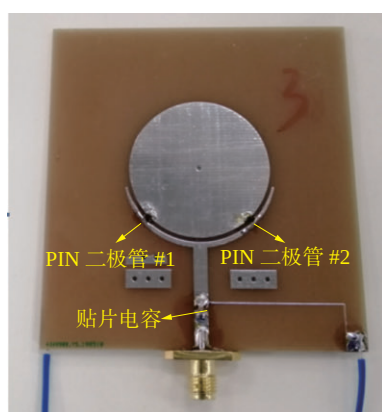


图3 天线实物

天线工作在圆极化模式时的 S 参数仿真和测量结果对比如图4所示。由于该天线结构对称,所以当天线在左旋或右旋圆极化模式下工作时,会得到相似的反射系数,实测10 dB回波损耗的相对带宽约为6.6%。轴比的仿真和测量结果对比如图5所示,实测3 dB轴比的相对带宽约为1.2%。

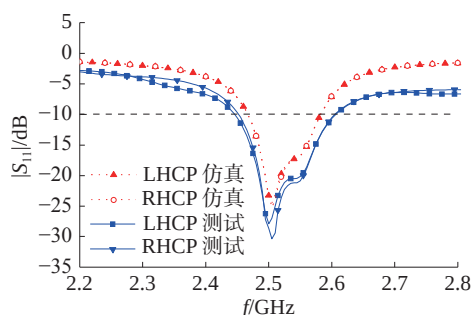
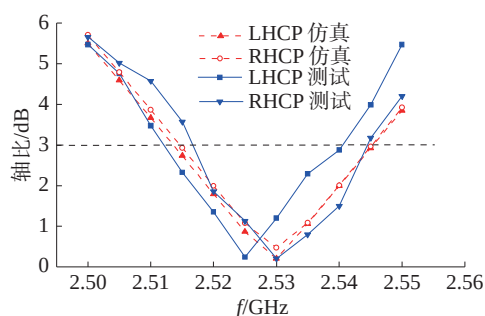
图4 圆极化 S 参数仿真和测试结果对比

图5 轴比仿真和测试结果对比

在2.53 GHz时测得的右旋圆极化的轴比的最小值约为0.2 dB,此时测得左旋圆极化的轴比约为1.1 dB,这可能是由天线的加工误差导致天线的结构不完全对称引起的。天线在2.53 GHz下的仿真和测量的二维方向图如图6所示,当天线在左旋和右旋圆极化模式下工作时,峰值增益的测量值均约为2.8 dBi。天线放置方向的 xz 面和 yz 面如图1所示。

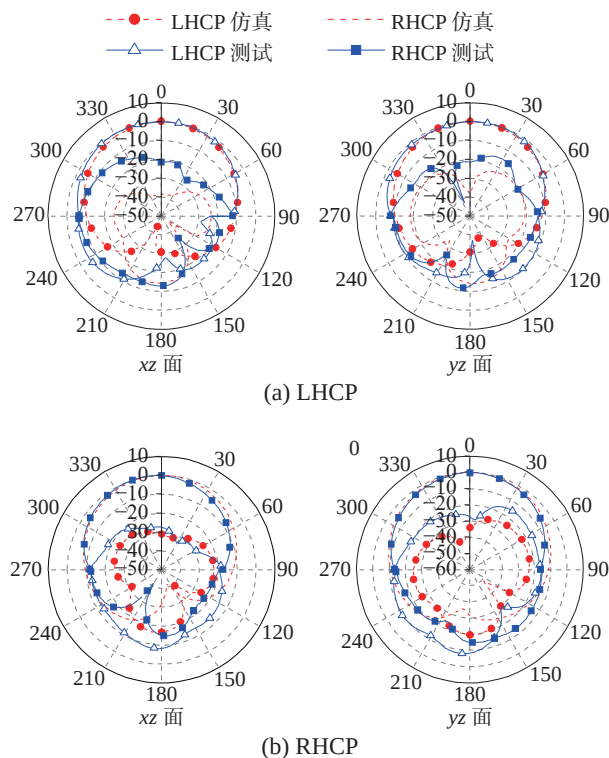


图6 2.53 GHz时圆极化仿真和测试方向图

天线工作在线极化模式时的 S 参数仿真和测量结果对比如图7所示,实测10 dB回波损耗的相对带宽约为1.5%。在2.56 GHz下的仿真和测量的二维方向图如图8所示, xz 面为天线的 E 面,峰值增益的测量值约为2.7 dBi。从仿真和测量的结果可以看出,2个PIN二极管的开关状态的切换可以实现天线的极化重构。各个状态下的仿真与测量结果基本吻合。

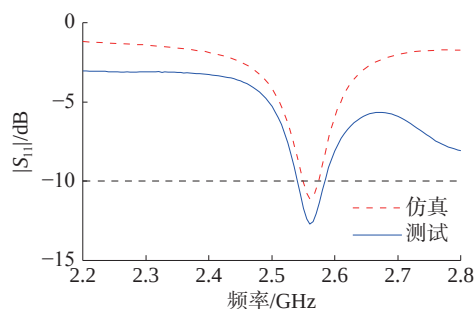


图7 线极化 S 参数仿真和测试结果对比

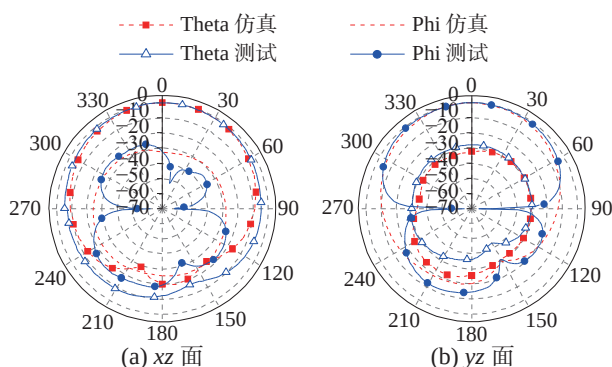


图8 2.56 GHz时线极化仿真和测试方向图

4 结论

本文设计了一种S波段的极化可重构圆形贴片天线。

1)将直接馈电和耦合馈电2种方式相融合,设计了一种Y形馈电结构的S波段贴片天线,实现了天线的圆极化馈线的2条分支成圆弧形,宽度逐渐变窄,可以更好地实现阻抗匹配。在馈线的两侧加上金属地结构,用来减小馈线和偏置线对辐射贴片的影响。

2)通过偏置电压来控制2个PIN二极管的通断,实现天线在左旋、右旋圆极化和线极化3种模式之间的切换。

3)该天线在工作频带内,具有良好的辐射特

性,结构简单紧凑,便于加工,在通信、雷达和无线能量传输等领域具有潜在应用价值。

参考文献:

- [1] VALENZUELA-VALDÉS J F, GARCÍA-FERNÁNDEZ M A, MARTÍNEZ-GONZÁLEZ A M, et al. The role of polarization diversity for MIMO systems under Rayleigh-fading environments[J]. IEEE antennas and wireless propagation letters, 2006, 5: 534–536.
- [2] 胡文龙, 姜弢. 应用于C波段的宽带圆极化微带天线设计[J]. 应用科技, 2014, 41(5): 32–35.
- [3] SEO D, SUNG Y. Reconfigurable square ring antenna for switchable circular polarisation[J]. Electronics letters, 2015, 51(6): 438–440.
- [4] SUNG Y J. Reconfigurable patch antenna for polarization diversity[J]. IEEE transactions on antennas and propagation, 2008, 56(9): 3053–3054.
- [5] SUNG Y J. Frequency and polarisation reconfigurability from an open-loop square ring antenna[J]. IET microwaves, antennas & propagation, 2012, 6(5): 505–509.
- [6] ROW J S, LIU Wanglin, CHEN T R. Circular polarization and polarization reconfigurable designs for annular slot antennas[J]. IEEE transactions on antennas and propagation, 2012, 60(12): 5998–6002.
- [7] LI Yue, ZHANG Zhijun, CHEN Wenhua, et al. Polarization reconfigurable slot antenna with a novel compact CPW-to-slotline transition for WLAN application[J]. IEEE antennas and wireless propagation letters, 2010, 9: 252–255.
- [8] TONG K F, HUANG Jingjing. New proximity coupled feeding method for reconfigurable circularly polarized microstrip ring antennas[J]. IEEE transactions on antennas and propagation, 2008, 56(7): 1860–1866.
- [9] LEE S W, SUNG Y J. Reconfigurable rhombus-shaped patch antenna with Y-shaped feed for polarization diversity[J]. IEEE antennas and wireless propagation letters, 2014, 14: 163–166.
- [10] LIN Wei, WONG H. Multipolarization-reconfigurable circular patch antenna with L-shaped probes[J]. IEEE antennas and wireless propagation letters, 2017, 16: 1549–1552.
- [11] 杨弋澜, 刘长军. 一种新型微带贴片微波整流天线设计[J]. 应用科技, 2017, 44(4): 60–63.
- [12] HU Jun, HAO Zhangcheng, MIAO Zhuowei. Design and implementation of a planar polarization-reconfigurable antenna[J]. IEEE antennas and wireless propagation letters, 2017, 16: 1557–1560.
- [13] 刘长军, 黄卡玛, 朱铎丞. 射频通信电路设计[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2017.

本文引用格式:

许立强, 陈倩, 刘长军. S波段Y形馈电的极化可重构圆形贴片天线[J]. 应用科技, 2020, 47(2): 44–47.

XU Liqiang, CHEN Qian, LIU Changjun. An S-band polarization reconfigurable circular patch antenna with Y-shaped feedline[J]. Applied science and technology, 2020, 47(2): 44–47.