

一种频率可重构的 MIMO 天线

祁建鑫

辽宁工程技术大学

DOI:10.32629/acair.v4i2.20416

[摘要] 本文提出了一种X波段与WLAN波段可切换的频率可重构MIMO天线。通过在单极子贴片上引入对称矩形辐射贴片、矩形开槽及加载矩形枝节,并利用PIN二极管导通/截止改变表面电流路径,实现频率可重构。基于以上设计,实现了天线在X波段(8–12 GHz)和WLAN波段(5.25–5.75 GHz)之间无缝切换,这些优化措施不仅确保了天线在高频段的高效工作,还通过改变电流路径实现了频率的动态调整。

[关键词] 频率可重构; MIMO天线; X波段; WLAN波段

中图分类号: P425.4+6 **文献标识码:** A

A Frequency-Reconfigurable MIMO Antenna

Jianxin Qi

Liaoning Technical University

[Abstract] In this paper, a frequency reconfigurable MIMO antenna that can switch between X-band and WLAN band is proposed. The frequency reconfigurability is realized by introducing symmetrical rectangular radiating patches, rectangular grooving and loading rectangular branches on the monopole patch, and changing the surface current path by PIN diode on/cut-off. Based on the above design, the antenna seamlessly switches between the X-band (8–12 GHz) and the WLAN band (5.25–5.75 GHz), which not only ensures the efficient operation of the antenna in the high frequency band, but also realizes dynamic frequency adjustment by changing the current path.

[Key words] frequency reconfigurable; MIMO antenna; X-band; WLAN band

1 引言

随着第五代移动通信、物联网及低轨卫星互联网等技术的迅猛发展,终端设备需要在不同制式、不同频段之间灵活切换,以应对频谱碎片化与业务多样化的挑战。传统固定频段天线已难以满足同一终端在X波段(8–12 GHz)卫星通信与5.25–5.75 GHz WLAN热点覆盖之间无缝漫游的需求;同时,多输入多输出(MIMO)技术又要求多个天线单元在极紧凑空间内保持高隔离、低相关,才能充分发挥空间复用增益。频率可重构天线通过加载射频开关或二极管动态改变辐射结构,可在不增加体积的前提下实现多频共用;而将可重构技术与MIMO拓扑相结合,更被视为突破“尺寸-带宽-隔离”三角约束的关键途径。

本文提出了一款在18 mm×25 mm×0.8 mm FR-4基板上实现X波段与WLAN波段可切换的低成本、高隔离MIMO天线。以微带单极子为原型,通过在辐射贴片刻蚀矩形槽并加载矩形枝节。随后在贴片边缘非对称位置嵌入两颗PIN二极管,构建开关导通/截止两种状态的等效电路模型。针对紧凑布局带来的强耦合问题,提出“接地板中央矩形寄生贴片+辐射面矩形寄生枝节”的混合

去耦结构。实现了天线在X波段(8–12 GHz)和WLAN波段(5.25–5.75 GHz)之间无缝切换。

2 天线结构的分析与设计

本文中的频率可重构MIMO天线整体结构如图1、图2所示,其三维尺寸仅为18 mm×25 mm×0.8 mm,体积约0.36 cm³,在移动终端轻薄化趋势下具有显著的尺寸优势。基板选用工业界普遍采用的FR-4材料,相对介电常数 $\epsilon_r \approx 4.4$,损耗正切 $\tan \delta \approx 0.02$ 。馈电端口采用特性阻抗为50 Ω的微带线直接馈入,微带线宽经HFSS计算确定为1.4 mm,以实现与射频前端芯片的共轭匹配,减小反射损耗。辐射单元由一对镜像对称的矩形金属贴片构成,贴片之间留有0.4 mm的细缝以抑制共模电流;为进一步实现频率可重构功能,在矩形槽左下角与右上角这两个非对称位置嵌入两颗型号为BAR50-02L的PIN二极管D1、D2。为了降低天线单元间的互耦,在背板中央额外蚀刻出一个 $Ls3 \times Ws3$ 的矩形寄生贴片,该贴片通过耦合反向电流实现相位抵消。

3 仿真结果与分析

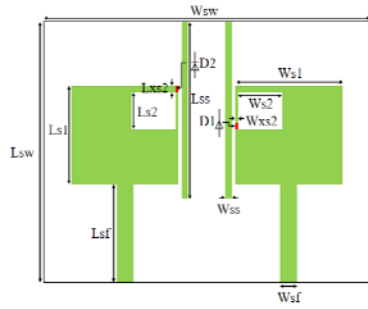


图1 频率可重构MIMO天线正面结构

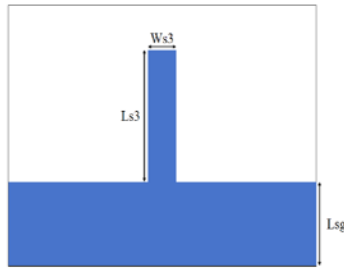


图2 频率可重构MIMO天线背面结构

本文采用商用仿真软件HFSS对天线进行仿真分析。如图3(b), L_{ss} 从11.4mm逐步上升至13.4mm时,在X频段内天线的隔离度逐步下降20dB以下,而如图3(a),当 $L_{ss}=11.4$ mm时在X频段中有部分区域的 S_{11} 大于-10dB,当 $L_{ss}=12.4$ mm时 S_{11} 参数符合要求,但当 L_{ss} 继续上升至13.4mm时,天线的性能较12.4mm差一些。故综合来看,取 $L_{ss}=12.4$ mm作为该寄生枝节的尺寸。天线两种模式状态下的S参数如图3所示,MOD1为导通状态,MOD2为截止状态。如图3(a),天线在两个模式下具有不同的使用频率,实现了频率可重构的功能;其中MOD1和MOD2分别实现了天线在7.80~12.26GHz频段和5.25~6.71GHz频段正常工作。图5(a)(b)(c)为MOD1状态下天线分别在8.5GHz、10GHz、11.5GHz时的辐射方向图。可以看出天线在整个X波段内基本拥有良好的辐射特性,且随着频率的逐渐上升,天线的全向辐射性能也越来越好。图5(d)(e)(f)为切换到MOD2状态时,分别在5.25GHz、5.5GHz和5.75GHz的辐射方向图。综合以下三张图片可以看到天线产生了一定的畸变,导致辐射方向图的图形并不是很标准,但是天线仍然保持着全向辐射特性。

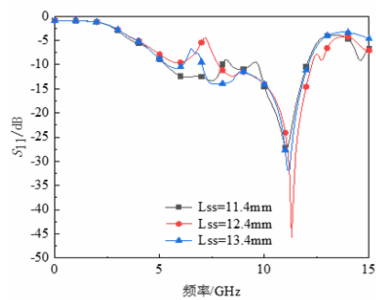
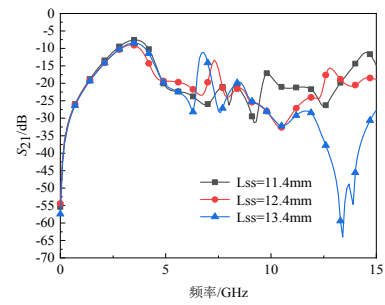
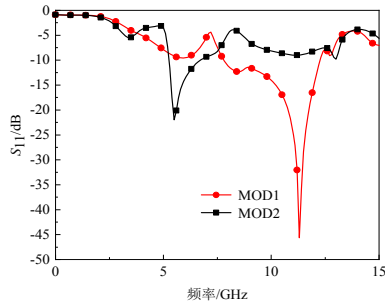
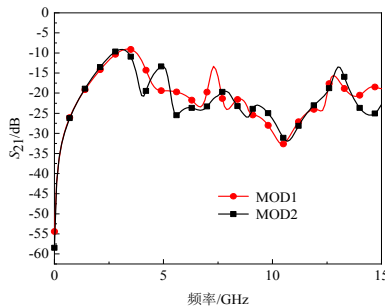
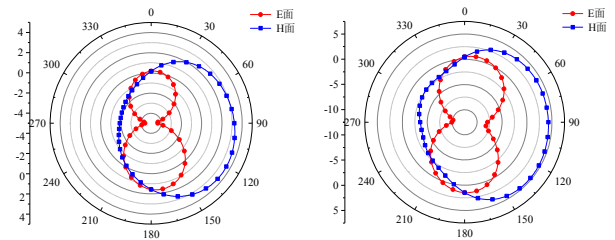
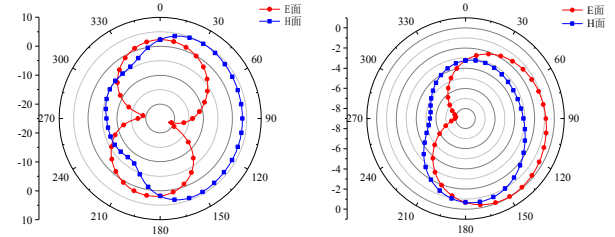
(a) S_{11} 参数(b) S_{21} 参数图3 不同 L_{ss} 的值对应的S参数曲线(a) S_{11} 参数(b) S_{21} 参数

图4 不同模式下的S参数



(a) MOD1 8.5GHz

(b) MOD1 10GHz



(c) MOD1 11.5GHz

(d) MOD2 5.25GHz

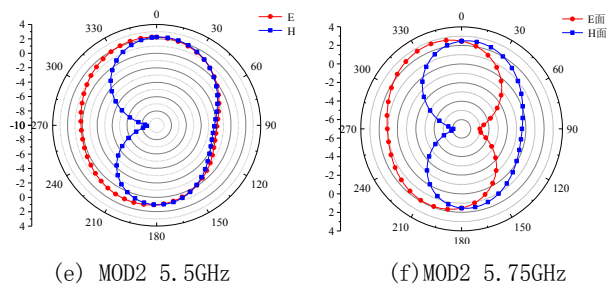


图5 MIMO天线在不同模式中不同中心频率下的辐射方向图

4 结论

本文提出了一种频率可重构MIMO天线。在天线单元设计方面,通过一系列优化操作,包括对辐射单元的尺寸调整、矩形槽的开设、矩形枝节的添加以及非对称PIN二极管的引入,成功实现了天线在X波段(8~12 GHz)和WLAN波段(5.25~5.75 GHz)之间实现了无缝切换,分别满足了 $S_{11}<-10$ dB和 $S_{21}<-20$ dB(X波段)以及 $S_{11}<-10$ dB和 $S_{21}<-15$ dB(WLAN波段)的性能。这些优化措施不仅确保了天线在高频段的高效工作,还通过改变电流路径实

现了频率的动态调整。

[参考文献]

- [1]王安国,张佳杰,王鹏,等.可重构天线的研究现状与发展趋势[J].电波科学学报,2008,23(05):997-1002+1008.
- [2]张彦鹏,孙学宏,刘丽萍,等.用于多波段的多模式频率可重构天线[J].传感器与微系统,2024,43(03):92-95+98.
- [3]马建国,王仲根,穆伟东.一种低剖面频率可重构天线的设计与研究[J].西昌学院学报(自然科学版),2023,37(01):90-97.
- [4]赵虎辰,唐涛,黄和平,等.频率和方向图可重构天线设计[J].电子技术应用,2023,46(09):21-25.
- [5]刘倩倩,陈娅莉,宗卫华,等.一种方向图可重构微带贴片天线的设计[J].青岛大学学报(工程技术版),2022,37(02):20-26.

作者简介:

祁建鑫(2005--),男,汉族,河北沧州人,本科在读,研究方向:MIMO天线、可重构天线、相控阵天线。