

文章编号: 2095-4980(2025)06-0621-04

基于高次模的 $\pm 45^\circ$ 双极化高增益贴片天线

梁宇中, 陈付昌, 向凯燃

(华南理工大学 电子与信息学院, 广东 广州 510641)

摘要: 提出了一款紧凑、高增益的 $\pm 45^\circ$ 双极化贴片天线。通过对工作在 TM_{05} 模式下的矩形贴片天线进行研究和改进, 并用细的微带线来取代贴片上反相电流所在的部分以减少反相电流对贴片天线辐射方向图的影响。考虑到实际基站天线应用中的一维阵列轮廓需求, 细微带导线被弯折, 因此所提出的天线相比于传统的双极化天线结构尺寸显著减小。差分馈电结构取代传统 1×3 天线阵列中的复杂馈电网络, 从而简化了天线的结构。所提出的双极化天线的仿真结果 S_{11} 在 $3.4 \sim 3.6$ GHz 范围内均小于 -10 dB, 而在工作频率范围内, 测得实现的增益大于 11.3 dBi。

关键词: $\pm 45^\circ$ 双极化; 基站天线; 高次模; 大规模 MIMO

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

DOI: 10.11805/TKYDA2023346

A $\pm 45^\circ$ dual-polarized high-gain microstrip patch antennas based on higher-order mode

LIANG Yuzhong, CHEN Fuchang, XIANG Kairan

(School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510641, China)

Abstract: A compact, high-gain $\pm 45^\circ$ dual-polarization patch antenna is proposed. A rectangular patch antenna operating in TM_{05} mode is investigated and modified. The out-of-phase current portions of the patch are replaced by thin microstrips, minimizing the influence of the out-of-phase currents on the radiation pattern. Considering the one-dimensional antenna array configuration required in base station applications, the thin microstrips are meandered so that the proposed antenna structure size is significantly reduced compared with that of the traditional dual-polarized antenna. A pair of differential power dividers is utilized to replace the complex feeding network of the normal antenna array, thus simplifying the structure of the antenna. The simulated S_{11} of the proposed dual-polarized antenna is less than -10 dB in the range of 3.4 to 3.6 GHz and the measured realized gain at the operating frequency range is greater than 11.3 dBi.

Keywords: $\pm 45^\circ$ dual-polarization; base station antenna; higher order mode; massive Multiple-Input Multiple-Output(MIMO)

考虑到包括卫星通信、基站系统以及室外终端设备连接对高增益的需求, 越来越多提高天线设备方向性的技术被逐渐提出。光学聚焦技术是一种比较常见的提高天线增益的方法^[1]。这一类天线设计方法往往聚焦于反射器或者部分反射表面等结构的设计, 这种天线结构往往只需要将馈源放置在距离辐射口径面一定距离的位置, 因此这类天线往往由于高剖面和不易集成等缺点而限制了它们的使用场景。

通过同时激励多个天线单元进行阵列方向图合成, 微带天线阵列在保持低剖面特性的同时能够获得很高的方向性。天线阵列的馈电一般分为并馈^[2]和串馈^[3]。串馈天线阵列结构简单, 但是一维的天线轮廓很难满足双极

收稿日期: 2023-07-25; 修回日期: 2023-10-02

引用格式: 梁宇中, 陈付昌, 向凯燃. 基于高次模的 $\pm 45^\circ$ 双极化高增益贴片天线[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2025, 23(6): 621–624. DOI: 10.11805/TKYDA2023346.

Citation format: LIANG Yuzhong, CHEN Fuchang, XIANG Kairan. A $\pm 45^\circ$ dual-polarized high-gain microstrip patch antennas based on higher-order mode[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2025, 23(6): 621–624. DOI: 10.11805/TKYDA2023346.

化应用需求。实际的基站天线大规模 MIMO 应用中的物理天线单元往往由一个子阵列组成, 每个子阵列中的 3 个或 4 个天线通过馈电网络并联激励, 从而获得理想的增益效果。为了简化天线结构, 提高天线效率。近年来越来越多基于高次模辐射的天线结构被提出^[4-9]。提高高次模天线增益最关键的就是减少甚至是消除天线上反相电流部分对辐射方向图的影响。通过使用枝节、短路柱或者缝隙, 高次模天线中的反相电流部分对方向图的贡献可以被有效抑制, 此外, 通过复用以上结构, 还可以调控天线的辐射模式, 从而扩展天线的工作带宽。

本文提出了一款紧凑、高增益的 $\pm 45^\circ$ 双极化贴片天线。通过用弯折的细微带线来取代贴片上反相电流所在的部分以减少反相电流对贴片天线辐射方向图的影响。天线的独特结构使得其在考虑双极化应用时不需要将天线旋转 90° 后再与原始结构结合在一起, 从而极大地减小了天线的空间占用尺寸并能够满足基站大规模 MIMO 系统中对子阵列天线的一维轮廓需求。天线原型被加工并测试以证明理论的正确性, 其结果与商业仿真软件 HFSS 所得到的仿真数据基本吻合, 天线能够工作在 3.4~3.6 GHz。

1 天线设计

图 1 给出了天线设计结构的演进图。天线 A 是参考的双极化贴片天线, 贴片表面上起到辐射作用的电流(实线箭头)主要分布在 5 个贴片子单元中, 而与辐射电流反向或者正交的电流分量所在部分则被替换成微带细线, 以抑制这些电流分量对辐射的影响。随后天线 A 中的左上方与左下方、右上方与右下方的贴片被复用, 十字交叉型的微带细线继续被用来保持贴片之间的连接, 并且通过地板隔绝微带细线对贴片上电流分布的影响, 变成天线 B。进一步, 将天线 B 的微带细线优化为天线 C 中的结构, 由于微带细线与贴片保持距离, 减少了其对贴片上电流分布的影响, 并且此时每个贴片单元的辐射边由正方形贴片的边长变为对角线, 进一步减少了天线的整体尺寸。

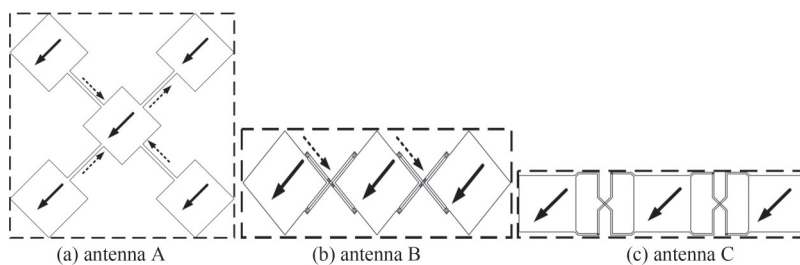


Fig.1 Top view of antennas and surface current distribution

图 1 天线的俯视图以及表面电流分布

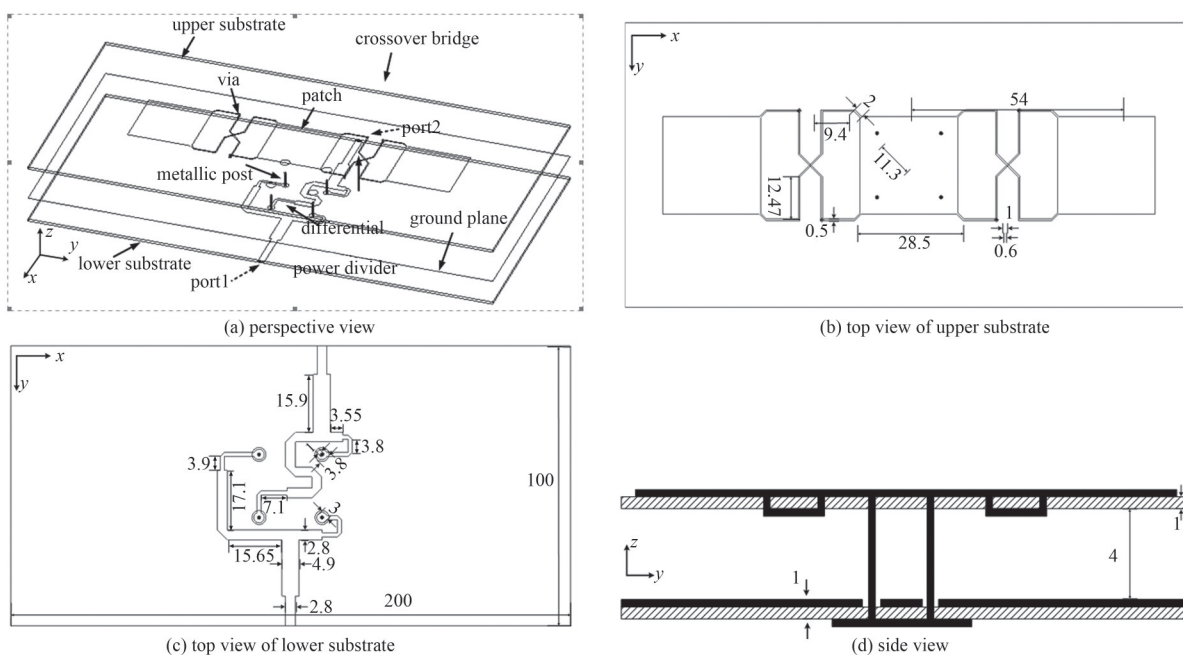


Fig.2 Antenna geometry(unit: mm).

图 2 设计天线结构图(单位: mm)

图2中给出了最终所提出天线的结构, 可以看到该天线由3层结构, 分别为上层介质基板、空气层和下层介质基板组成。两层介质基板的厚度均为1 mm, 介电常数均为2.55, 损耗角正切为0.002 5, 空气层高度为4 mm。3个贴片辐射单元被蚀刻在上层基板的上表面, 两对细微带线分别连接了左右两组相邻的贴片天线的对角。交叉桥被蚀刻在上层介质基板中以避免每一组相邻贴片天线中对接连接线的接触。地板被蚀刻在下层介质基板的上表面。由于此时贴片结构不再关于 $\pm 45^\circ$ 方向对称, 因此使用差分馈电的方式对中心贴片进行激励, 以尽可能地保持天线的方向图稳定性。2个T型功分器被蚀刻在下层基板下表面, 每一个T型功分器都引入一段相位延迟线从而获得反相的输出。考虑到天线的激励, 4个金属柱分别连接了上层的中心贴片单元和下层的功分器输出端口。从馈电的角度出发, 本工作所提出的天线也可以被认为是先通过差分激励中心贴片, 中心贴片再通过细的微带线对两侧贴片分别进行 $+45^\circ/-45^\circ$ 极化的激励。两排尼龙柱用来定位和支撑上层介质基板, 上下层介质基板之间留有空气间隙以扩展所提出天线的工作带宽。每个结构的具体参数均如图2所示。

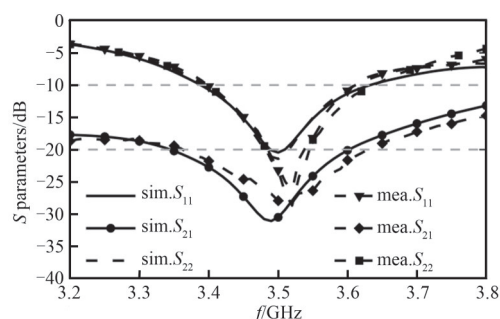


Fig.3 Simulated and measured S parameters of the proposed antenna
图3 天线 S 参数的仿真与测试结果

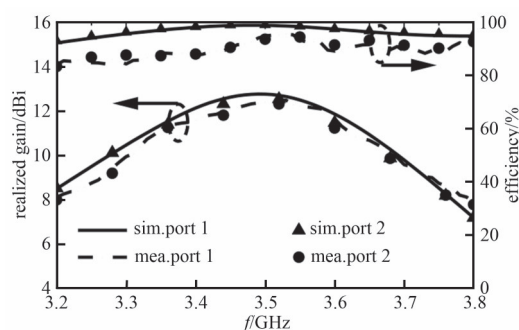


Fig.4 Simulated and measured gains and efficiencies of the proposed antenna
图4 天线的增益和效率的仿真与测试结果

天线仿真和测试的 S 参数如图3所示, 可以看到分别激励天线的两个端口时, 都能够工作在3.4~3.6 GHz范围内, 并且在工作频带内两个正交极化端口的隔离度大于20 dB。根据图4可知, 天线在工作频段内增益均大于11.3 dBi, 并且可以获得最大增益12.31 dBi(端口1被激励时)或12.49 dBi(端口2被激励时)。天线在通带内的效率均高于87%。天线在3.5 GHz下的仿真与测试的归一化方向图对比如图5所示。可以看到天线在 E 面和 H 面中的3 dB波瓣宽度分别为 27° 和 59° , 天线的交叉极化水平小于-18 dB, 旁瓣水平低于-10 dB。天线的测试结果与仿真基本吻合。

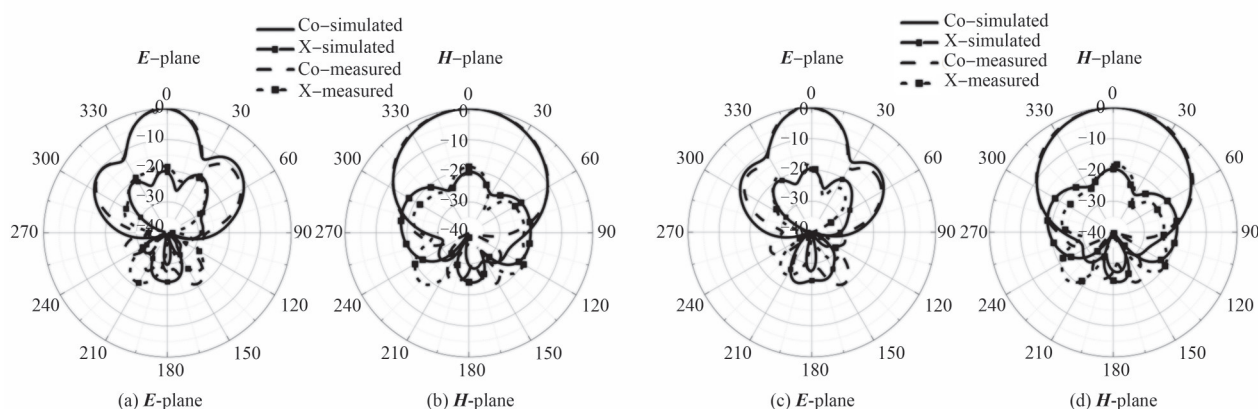


Fig.5 Normalized pattern of the proposed antenna. (a) E -plane and (b) H -plane when $+45^\circ$ port (port 1) is excited, (c) E -plane and (d) H -plane -45° port (port 2) is excited.

图5 天线在3.5 GHz时的归一化方向图的仿真与测试结果。端口1激励时的(a) E 平面和(b) H 平面; 端口2激励时的(c) E 平面和(d) H 平面

与现有的其他基于高次模设计的高增益天线的对比如表1所示。本文所提出的天线通过弯折微带细线, 可以实现双极化天线的从正方形轮廓到长方形轮廓的转换, 满足基站天线中的一维线阵需求。相比于其他双极化天线, 本文所提出的天线占用面积更小, 增益面积比更高。

表 1 与其他同类天线对比

Table 1 Comparisons of the relevant patch antennas

reference	polarization type	size of antenna/ λ^2	max gain/dBi	bandwidth/%	gain/size
[4]	single polarization	0.85×0.85	12.8	0.3	17.72
[5]	single polarization	1.03×0.85	10.7	6.1	12.22
[6]	single polarization	0.99×1.09	10.5	13.4	12.70
[7]	0°/90° dual polarization	1.16×1.16	11.5	3.0	8.55
[8]	0°/90° dual polarization	2.25×2.25	15.5	2.7	3.06
[9]	0°/90° dual polarization	0.72×0.72	9.6	6.0	18.52
proposed	±45° dual polarization	0.33×1.59	12.4	5.7	23.63

2 结论

本文提出了一款工作在高次模的±45°双极化贴片天线并进行了分析。通过将贴片天线中反相电流所在的部分替换为细微带线,降低了反相电流对辐射方向图的影响,提高了天线的增益。所提出的天线可以在3.4~3.6 GHz的范围内获得 $S_{11}<-10$ dB。设计的天线可以在通带内实现高增益(11.3 dBi)且峰值增益为12.49 dBi的同时,获得比传统贴片天线更高的效率。

参考文献:

- [1] VAQUERO Á F, FLORENCIO R, PINO M R, et al. Dual-polarized near-field plane wave generator using an offset-optics reflectarray mm-wave band[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2022, 70(12): 12370–12375. DOI: 10.1109/TAP.2022.3209176.
- [2] GAO Yue, MA Runbo, WANG Yapeng, et al. Stacked patch antenna with dual-polarization and low mutual coupling for massive MIMO[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2016, 64(10): 4544–4549. DOI: 10.1109/TAP.2016.2593869.
- [3] CHOPRA R, KUMAR G. Series-fed binomial microstrip arrays for extremely low sidelobe level[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2019, 67(6): 4275–4279. DOI: 10.1109/TAP.2019.2908108.
- [4] ZHANG Xiao, ZHU Lei, WU Qionsen. Sidelobe-reduced and gain-enhanced square patch antennas with adjustable beamwidth under TM₀₃ mode operation[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2018, 66(4): 1704–1713. DOI: 10.1109/TAP.2018.2806220.
- [5] WEN D X, ZHU L. Bandwidth-enhanced high-gain microstrip patch antenna under TM₃₀ and TM₅₀ dual-mode resonances[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2019, 18(10): 1976–1980.
- [6] ZHANG Xiao, HONG Kaidong, ZHU Lei, et al. Wideband differentially fed patch antennas under dual high-order modes for stable high gain[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2021, 69(1): 508–513. DOI: 10.1109/TAP.2020.3006394.
- [7] HE Yijing, LI Yue, SUN Wangyu, et al. Dual linearly polarized microstrip antenna using a slot-loaded TM₅₀ mode[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2018, 17(12): 2344–2348. DOI: 10.1109/LAWP.2018.2874472.
- [8] HE Yijing, LI Yue, SUN Wangyu, et al. Dual-polarized, high-gain, and low-profile magnetic current array antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2019, 67(2): 1312–1317. DOI: 10.1109/TAP.2018.2883609.
- [9] LUO Yu, CHEN Zhining, MA Kaixue. A single-layer dual-polarized differentially fed patch antenna with enhanced gain and bandwidth operating at dual compressed high-order modes using characteristic mode analysis[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2020, 68(5): 4082–4087. DOI: 10.1109/TAP.2019.2951536.

作者简介:

梁宇中(1998-), 男, 在读博士研究生, 主要研究方向为全双工天线与去耦理论. email: 202111082219@scut.edu.cn.

向凯燃(1995-), 男, 博士, 主要研究方向为综合理论、微波滤波器、天线和阵列, 以及毫米波的应用和全双工天线.

陈付昌(1982-), 男, 博士, 教授, 主要研究微波滤波器的综合理论与设计和相关的射频模块微波以及毫米波应用.