

Ka 波段宽带圆极化微带天线单元及阵列设计*

胡志慧¹, 姜永华¹, 李 娜², 凌 祥¹

(1 海军航空工程学院, 山东烟台 264001; 2 91917 部队, 北京 100000)

摘 要:设计了一种基于矩形缝隙耦合的 Ka 波段圆极化微带天线单元, 分析了各参数对轴比特性的影响; 为改善天线的轴比带宽和圆极化纯度, 采用顺序旋转馈电技术, 设计了 4×4 宽带圆极化微带天线阵列。仿真结果表明, 该天线阵列具有良好的宽带特性, 其阻抗带宽 ($S_{11} < -10\text{dB}$) 达 25% (31.4 ~ 40.2 GHz), 轴比带宽 ($AR < 3\text{dB}$) 达 17% (31.8 ~ 37.8 GHz)。

关键词:宽带圆极化; 顺序旋转馈电; 矩形缝隙耦合; Ka 波段

中图分类号: TN82 **文献标志码:** A

The Design of a Ka-band Broadband Circularly Polarized Microstrip Antenna and Array

HU Zhihui¹, JIANG Yonghua¹, LI Na², LING Xiang¹

(1 Naval Aeronautical and Astronautical University, Shandong Yantai 264001, China; 2 No. 91917 Unit, Beijing 100000, China)

Abstract: A novel Ka-band broadband circularly polarized microstrip patch antenna fed by rectangular aperture coupling was proposed. Firstly, the effect of key parameters on axial ratio (AR) was analyzed. In order to improve AR bandwidth and impedance bandwidth, a 4×4 broadband circularly polarized microstrip antenna array using sequentially rotated technique was designed. The simulation result shows that the impedance bandwidth ($S_{11} < -10\text{dB}$) of the antenna array is 25% (31.4 ~ 40.2 GHz), the AR bandwidth ($AR < 3$) is 17% (31.8 ~ 37.8 GHz).

Keywords: broadband circular polarization; sequentially rotating fed; rectangular aperture coupling; Ka-band

0 引言

Ka 波段是毫米波段中的一部分, 其微带天线具有体积小、重量轻、剖面薄、易共形、方向性好、探测精度高等优点, 已经在通信、导航、制导、引信等方面获得了广泛应用。然而, 在 Ka 波段, 雨雾等空中水凝物对电磁波后向散射形成的雨杂波严重影响了雷达的探测精度。由于圆极化微带天线可以有效抑制雨杂波干扰和抗多径反射^[1], 从而可减弱雨杂波对雷达探测性能的影响, 因此, 对 Ka 波段圆极化微带天线的研究有重要意义。

微带天线获得圆极化的基本原理是激起两个幅度相等、极化方式正交的线极化波, 其实现方法主要有单馈法及多馈法。文献[2]采用方形切角微带天线单元研制了毫米波圆极化单脉冲天线阵列, 尽管结构简单, 但轴比带宽只有 1.2%, 极化性能也较差; 文献[3]研制了 Ka 波段高增益圆极化微带天线阵列,

轴比带宽得到一定提高, 达到了 5.6%; 文献[4]和文献[5]分别采用 4 层介质耦合馈电和正交 H 形口径耦合馈电设计了宽带圆极化微带天线, 获得了较宽的阻抗带宽和轴比带宽, 但这种天线结构比较复杂, 尺寸比较大, 不适合阵列天线的应用。

文中提出了一种基于矩形缝隙耦合的 Ka 波段圆极化微带天线单元, 分析了各参数对天线轴比特性的影响, 采用 CST 软件对天线单元进行了仿真优化, 得到了合理的天线尺寸; 然后以该天线单元为基础, 采用顺序旋转馈电技术^[6], 设计了 4×4 宽带圆极化微带天线阵列, 显著改善了天线的轴比带宽和圆极化纯度。

1 天线单元设计

1.1 天线单元结构

缝隙耦合馈电的主要优点是避免在基片上打孔, 馈电层与辐射层通过中接地层完全隔离, 分别装两个介质板上, 减小了馈电网络对天线辐射单元的影

* 收稿日期: 2012-06-29

作者简介: 胡志慧 (1983-), 男, 山西长治人, 博士研究生, 研究方向: 精确制导技术、微带天线技术及相控阵雷达导引头共形天线技术。

响,交叉极化电平低,阻抗带宽宽,更容易实现圆极化等。

基于矩形缝隙耦合的圆极化微带天线单元结构如图 1 所示。天线由两层介质板、微带贴片、微带馈线及开在接地板上的耦合缝隙组成。两层介质板的介电常数 ϵ_r 均为 2.2, 第一层介质厚度 h_1 为 0.25mm, 第二层介质厚度 h_2 为 0.5mm。第一层介质下侧为微带馈线,微带馈线终端开路,通过调节其长度来改善天线的阻抗匹配特性,馈线宽度为 W_2 , 终端长度为 L_2 ,特性阻抗为 100Ω 。接地板位

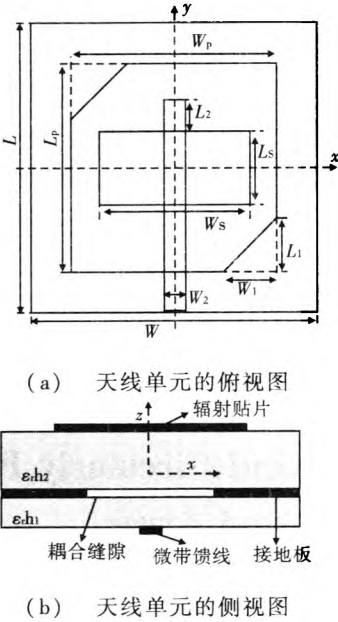


图 1 基于矩形缝隙耦合的圆极化微带天线单元结构

于第一层介质和第二层介质中间,接地板上开有矩形缝隙,宽度和长度分别为 W_s 和 L_s ,能量通过矩形缝隙耦合到辐射贴片上。矩形微带天线印制于第二层介质板的上侧,采用附加简并分离单元来实现圆极化,矩形贴片宽度和长度分别为 W_p 和 L_p ,切角深度分别为 W_1 和 L_1 。

1.2 参数分析

由腔模理论知,天线的谐振频率主要由天线长度 L_p 决定,轴比特性主要由简并分离单元决定,但是由于采用缝隙耦合馈电方式,矩形缝隙的尺寸对天线谐振频率和轴比特性也有较大影响。缝隙宽度 W_s 增加,耦合强度加强,谐振电阻增加,谐振频率变低;矩形贴片长度 L_p 增加,天线的谐振频率变低。

天线采用切角的方法实现圆极化,为进一步研究切角深度对天线轴比特性的影响,利用 CST 分别对切角长度和宽度进行了仿真分析。图 2 表明,切角宽度 W_1 主要影响轴比值为最小时的频率,当切角宽度由大变小时,频率逐渐向左偏移。图 3 表明,切角长度 L_1 主要影响轴比值的大小,随着切角长度的增加,天线的轴比值变小,轴比带宽增加。

1.3 仿真结果

利用 CST 对天线单元进行仿真优化后,得到的尺寸如表 1 所示。

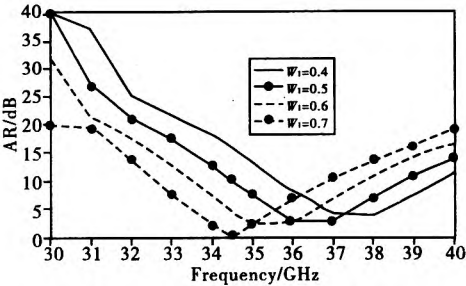


图 2 切角宽度对比轴比特性影响

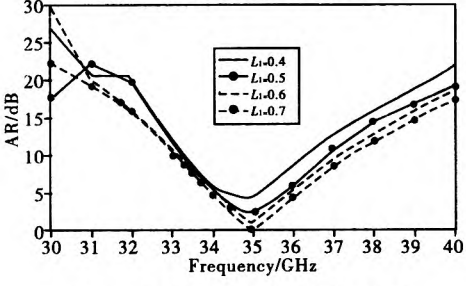


图 3 切角长度对比轴比特性影响

表 1 天线单元尺寸 mm

W	L	W_p	L_p	W_1
4	4	2.45	2.05	0.6
L_1	W_s	L_s	W_2	L_2
0.6	1.75	0.82	0.24	0.5

仿真得到的 S 参数如图 4 所示,天线在 32.4 ~ 39.4GHz 频率内 $S_{11} < -10\text{dB}$, 相对阻抗带宽为 20%。天线单元的轴比特性如图 5 所示,在 34.5 ~ 35.8GHz 频率内 $AR < 3\text{ dB}$,相对轴比带宽为 3.7%。天线工作在 35GHz 时,E 面和 H 面的左旋极化 (LHCP) 方向图及右旋极化 (RHCP) 方向图如图 6 所示,由图知该天线为左旋圆极化天线。

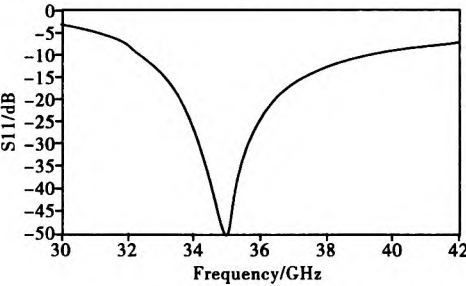


图 4 天线单元 S11 曲线

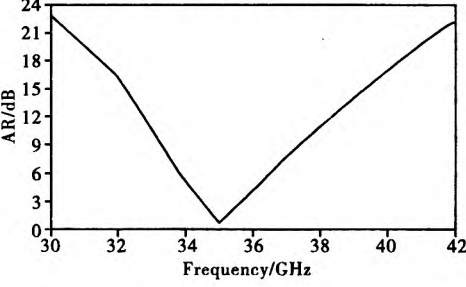


图 5 天线单元轴比随频率变化曲线

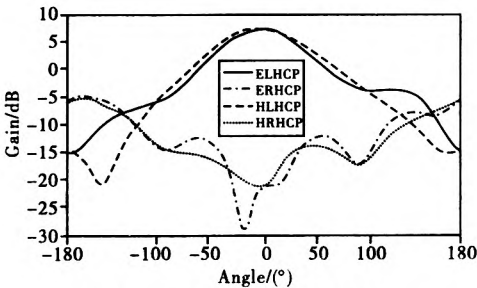


图 6 天线单元极化方向图

2 天线阵列设计

为有效提高轴比带宽,增加天线增益,降低交叉极化电平,采用顺序旋转馈电技术,对上述天线单元进行组阵。 4×4 毫米波圆极化天线阵面分布及耦合馈电网络分别如图 7 和图 8 所示。

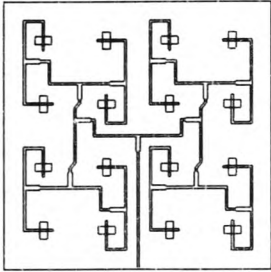
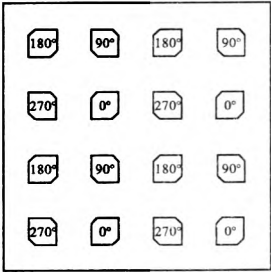


图 7 天线阵面分布

图 8 口径耦合馈电网络

天线阵元纵横对称分布,阵元间距均为 6.4mm(约 $0.75\lambda_0$, 35GHz 时 $\lambda_0 = 8.57\text{mm}$)。各天线单元依次旋转 90° , 馈电相位依次为 0° 、 90° 、 180° 、 270° , 馈电幅度相等。采用 T 形接头进行功分,在功分之前采用 70.7Ω 的四分之一阻抗变换器进行阻抗变换,其宽度为 0.45mm,长度为 1.65mm。

仿真得到的天线阵列轴比特性如图 9 所示,天线阵列在 31.8 ~ 37.8GHz 内 $\text{AR} < 3\text{dB}$, 相对轴比带宽达 17%。S 参数如图 10 所示,天线在 31.4 ~ 40.2GHz 内 $S_{11} < -10\text{dB}$, 相对阻抗带宽为 25%。由此可知,与传统天线阵列相比,采用顺序旋转馈电技术大大改善了天线的圆极化纯度和轴比带宽。天线增益随频率的变化曲线如图 11 所示,天线在整个阻抗带宽内增益均大于 15dB,最大增益为 19.4dB。图 12 ~ 图 14 为天线阵在 32、35、37GHz 时 E 面和 H 面的左右旋极化方向图。由图可知,在整个频带内,天线阵的左旋极化方向图都比较稳定,3dB 波束宽度约为 15° , 副瓣电平均低于 -15dB , 交叉极化电平低于 -18dB 。该天线阵具有频带宽、增益高及圆极化性能好等特点。

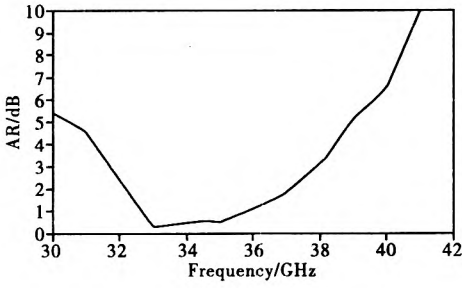


图 9 天线阵轴比随频率变化曲线

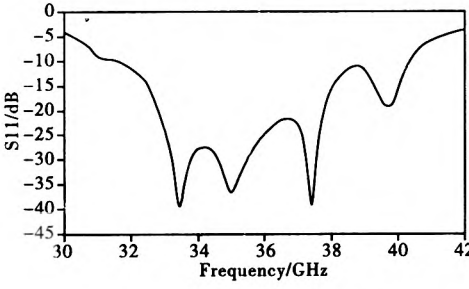


图 10 天线阵 S11 曲线

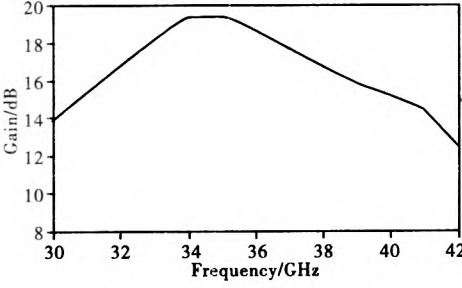


图 11 天线阵增益随频率变化曲线

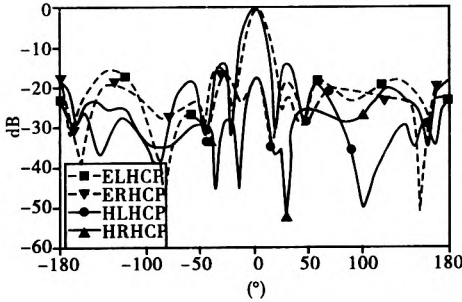


图 12 天线阵在 32GHz 时的极化方向图

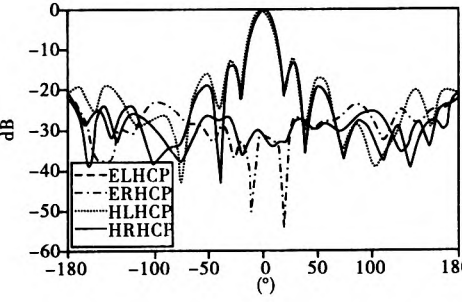


图 13 天线阵在 35GHz 时的极化方向图

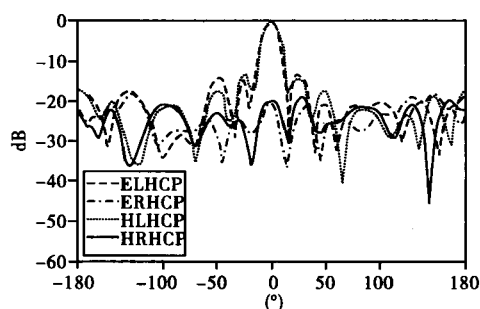


图 14 天线阵在 37GHz 时的极化方向图

3 结 论

文中提出了一种基于矩形缝隙耦合的 Ka 波段圆极化天线单元结构,采用简并分离实现圆极化,通过调整切角深度及缝隙尺寸实现了良好的圆极化特性及阻抗匹配。针对传统微带天线阻抗带宽和轴比带宽窄的不足,采用了顺序旋转馈电技术,设计了 4×4 宽带圆极化微带天线阵列,显著改善了天线的圆极化纯度和轴比带宽。仿真结果表明,该天线单元阻抗带宽为 20%,轴比带宽为 3.7%,采用顺序旋转馈电组阵后,天线阵列的阻抗带宽和轴比带宽分别达 25% 和 17%,天线阵列最大增益为 19.4dB,在整个频带内,天线增益均大于 15 dB,交叉极化电平平均低于 -18dB。这种结构的圆极化微带天线具有带宽宽、圆极化性能

好、增益高、结构紧凑等优点,适合作为大型阵列的子阵。

由于 Ka 波段微带天线其工作频率较高,阵元之间的互耦以及微带馈电网络的带宽对天线性能会产生很大影响,因此,如何降低阵元之间互耦以及如何实现宽带馈电网络是进一步研究的内容。

参考文献:

- [1] 薛睿峰,钟顺时. 微带天线圆极化技术概述与进展[J]. 电波科学学报,2002,17(4):331-336.
- [2] 赵爽,陈殿仁. 毫米波圆极化单脉冲阵列天线的研究[J]. 微波学报,2011,27(6):73-76.
- [3] John Huang. A Ka-band circularly polarized high-gain microstrip array antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1995, 43(1):113-116.
- [4] 朱莉. 一种新型宽带圆极化微带天线的设计[J]. 微波学报,2008,24(3):21-24.
- [5] 张辉. 基于 H 形缝隙耦合的宽带圆极化微带天线[J]. 电子与信息学报,2007,29(4):991-993.
- [6] HU Yong-jin. Broadband circularly polarized microstrip antenna array using sequentially rotated technique[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2011,10:1358-1361.

(上接第 128 页)

方法;在此基础上,通过两步位操作特征匹配算法实现特征点匹配。针对视频序列中目标图像,使用仿射变换建立目标特征数据库并进行目标识别。实验结果表明,文中算法具有更快的运算速度以及更低的存储空间,更加满足嵌入式实时系统要求。

参考文献:

- [1] 孙浩,王程,王润生. 局部不变特征综述[J]. 中国图象图形学报,2011,16(1):141-151.
- [2] Mikolajczyk schmid. Scale & affine invariant interest point detectors[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(1):63-86.
- [3] H Bay, T Tuytelaars, L Van Gool. SURF: Speeded up robust features[C]//Proceedings of the Ninth European Conference on Computer Vision (ECCV), 2006.
- [4] Ethan Rublee, Vincent Rabaud, Kurt Konolige, et al. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision

(ICCV), 2011.

- [5] Stefan Leutenegger, Margarita Chli, Roland Siegwart. BRISK: Binary Robust Invariant Scalable Keypoints[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2011.
- [6] E Rosten, T Drummond. Machine learning for high speed corner detection[C]//Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), 2006.
- [7] M Calonder, V Lepetit, C Strecha, et al. BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features[C]//Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), 2010.
- [8] A Alahi, R Ortiz, P Vandergheynst. FREAK: Fast Retina Keypoint[C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012.
- [9] 孙抗,汪渤,郑智辉. 基于局部亮度直方图特征的实时目标识别与跟踪[J]. 系统工程与电子技术,2011,33(9):1928-1931.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训：

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势：

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们：

- ※ 易迪拓培训官网：<http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网：<http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店：<http://shop36920890.taobao.com>