

一种新型星载 SAR 宽带双极化微带天线的研究

李迎林 李建新 张金平

(南京电子技术研究所天线与微波技术国家重点实验室,南京 210013)

摘要:本文提出了一种新型宽带双极化微带天线结构:天线单元采用层叠结构,下层为正方形辐射贴片,上层为圆形寄生贴片;采用口径耦合的馈电方式。文中同时给出了常见的正方形寄生贴片的结构参数,通过计算对比,结果表明:采用圆形寄生贴片的新型结构与一般的正方形寄生贴片结构相比,在带宽、隔离度和交叉极化电平等性能上均具有优势,尤其是交叉极化特性,优于正方形寄生贴片结构-10dB以上,具有重要的工程应用价值。

关键词:微带天线;星载 SAR;宽带;隔离度;交叉极化;

Study on a Novel Dual-polarized and Wide-band Microstrip Patch Antenna for SAR Applications

Li Yinglin Li Jianxin Zhang Jinping

(National Key Laboratory of Antennas and Microwave Technology Research
Institute of Electronics Technology of Nanjing, Nanjing 210013, China)

Abstrate: In this paper,a novel broadband and dual-polarized microstrip antenna is presented: the stacking structure is used in the antenna element,the shape of the lower patch is a square and the upper is a circular;aperture-coupled is used.A common antenna is also designed in this paper.By contrasting the results of emulation,we can see :the novel microstrip antenna is better than the common one in bandwide, isloation between the two ports and pure polarization.Especially in pure polarization,the novel is better than the common over -10dB,which has much important value in projects.

key words: Microstrip antenna; SAR located on satellite; bandwide; isolation; cross-polaration;

1 引言

着眼于未来需求,星载 SAR 正朝着多极化、高分辨率和宽观测带的趋势发展。天线作为星载 SAR 的重要子系统,对 SAR 的功能起着重要作用。因此,具有大带宽、高隔离度、低交叉极化的微带天线被广泛的研究。

目前,宽带双极化微带天线馈电方式大都采用口径耦合形式,即在接地上开两个形状完全一样,尺寸略微不同的垂直正交的“H”形或矩形口径进行能量耦合;辐射贴片采用了层叠结构,即在主辐射贴片上方增加相同形状但尺寸不同的寄生辐射贴片^[1-4]。耦合馈电的方式和层叠结构在显著增加带宽的同时,也减小了伪辐射,有效的提高了端口隔离度,降低了交

叉极化电平^[5]。

本文在采用口径耦合馈电方式和层叠结构的基础上，通过改变寄生贴片的形状，从而提出了一种新型宽带双极化微带天线单元。计算结果表明其整体性能优于上述天线结构，兼有大带宽（双端口在 VSWR < 2 时阻抗带宽分别为 24% 和 23.1%）、高隔离度（带内优于 -48dB，中心频处达 -52dB）、低交叉极化的特性（双端口 E 面和 1 端口 H 面在扫描角为 ±80 度内优于 -53dB, 2 端口 H 面在扫描角为 ±10 度内优于 -40dB），具有重要工程应用前景。

2 天线的设计与理论分析

天线单元结构如图 1~3 所示，把天线主体剖分为八层，第一层和第四层分别为圆形寄生贴片和正方形主辐射贴片，第二、三、五、七层为介质层，第六层为接地面，其上面开有两个正交的矩形孔径，馈线通过孔径耦合能量，从而激励起两种正交模式，实现垂直和水平极化工作状态。第八层为馈电层，本文通过在开路线终端加可调枝接的方式，使馈线、孔径、贴片达到良好的匹配。

对于介质板的选择，贴片层介质板主要影响天线的阻抗带宽，主要表现在带宽与介电常数成反比，与厚度成正比。但是，介质板厚度的增加也会使表面波增强，从而导致天线增益和极化纯度的降低。对于接地板层介质，由于孔径的存在，馈线能量在向上辐射的同时，也会经天线再次反向向下辐射，表现为背瓣过大，增益降低。所以，我们采用较薄的高介电常数介质板来增强介质对场的束缚，从而达到减小背向辐射。

鉴于上述原因，本文设计天线中第二、五层介质板选用 Duroid 5880，第三层介质板选用泡沫，第七层介质板选用陶瓷板。天线工作中心频率为 5.4GHz，依据传输线模型中的公式：

$$L = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_3 + 1}{2} + \frac{\epsilon_3 - 1}{2} \left(\frac{1}{1 + 12h_3/L} \right) \quad (2)$$

$$\Delta L = 0.412h_3 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.300)(L/h_3 + 0.262)}{(\epsilon_{eff} - 0.258)(L/h_3 + 0.813)} \quad (3)$$

$$L = \left(c/2f_0\sqrt{\epsilon_{eff}} \right) - 2\Delta L \quad (4)$$

$$f_{mm} = c\chi_{mm}/2\pi a\sqrt{\epsilon_1} \quad (5)$$

$$a = a' \left[1 + 2h \left(\ln(\pi a'/2h) + 1.7726 \right) / \pi a' \epsilon_1 \right]^{1/2} \quad (6)$$

其中， c 、 f_0 、 ϵ_{eff} 、 ΔL 分别为真空中光速、天线工作中心频率、等效介电常数、辐射边缘场的补偿尺寸。通过迭代 1~4 式可以求出正方形贴片边长 L 。 a 为圆形贴片的有效半径， χ_{mm} 为 $J_m(x)$ 的第 m 个零点，由于圆形寄生贴片工作的主模为 TM_{11} 模，所以我们取 $f_{11} = f_0$ ， χ_{11} 可以查表取 1.8412，通过迭代 5、6 式可求出圆形贴片物理半径 a' 。

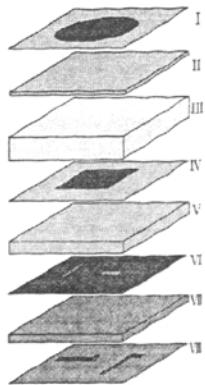


图 1 天线三维图



图 2 天线侧视图

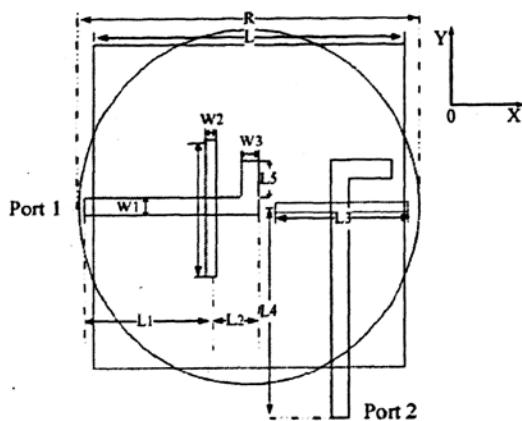


图 3 天线透视图

本文选用 Designer 软件进行仿真。在仿真过程中，可以理解为天线整体有三个谐振器，即两个贴片和口径都有自己的阻抗环，窄阻抗环有谐振器间的弱耦合产生，宽环相应的有紧耦合或过耦合谐振产生。通过调节谐振器参数使阻抗环彼此接近。就宽带而言，从 smith 图中表现为这些环应该彼此靠拢并近似环绕于中心，圆的半径应该小于 2，即 $VSWR < 2^{[5]}$ 。

在优化设计时，应该特别强调下帖片的尺寸，其处在整个耦合网络的中心，对上下两个谐振器都影响。对于两个孔径和馈线，我们先确定馈线和孔径的宽度，根据初始情况调节馈线开路端长度和孔径的位置、长度。在调节过程中可以发现一些近似的规律，如输入阻抗实部随孔径的长度增加而增加；随孔径位置偏离贴片边缘的距离增大而降低；虚部随开路线长度增加呈感性趋势变化；隔离度随两个孔径的位置的接近而降低；交叉极化电平随孔径偏离贴片中心的距离增加而升高。

软件优化后的天线结构参数为：

$$\epsilon_1 = 2.2, \epsilon_2 = 1.08, \epsilon_3 = 2.2, \epsilon_4 = 4.2$$

$$h_1 = 0.254\text{mm}, h_2 = 4.8\text{mm}, h_3 = 1.524\text{mm}$$

$$h_4 = 0.508\text{mm}, w_1 = 1.9\text{mm}, w_2 = 1.1\text{mm}$$

$$L_3 = 10.4\text{mm}, L_4 = 13.5\text{mm}, R = 20.1\text{mm}$$

$$L_4 = 13.5\text{mm}, \epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4, h_1, h_2, h_3, h_4$$

分别为第二、三、五、七层介质板的介电常数和厚度, w_1 、 w_2 、 w_3 、 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 分别为馈线宽度、孔径宽度、开路枝节的宽度、孔径中心到 1 端口的距离、开路线长、孔径长度、孔径中心到 2 端口的距离, R 为圆形贴片直径。

3 仿真结果对比分析

我们称新型天线单元(寄生贴片为圆形)为 A 型, 将圆形寄生贴片换为正方形寄生贴片, 其他结构保持不变, 从而构成另一种天线单元, 称为 B 型。对于 B 型天线单元, 仅微调正方形寄生贴片的尺寸和孔径的位置使该天线同样达到最优的匹配状态。图 4 显示两种天线单元的双端口驻波特性, 图中表明 $VSWR < 2$ 时, A 型天线 1 端口和 2 端口阻抗带宽分别为 24% (从 4.75GHz 到 6.05GHz) 和 23.1% (从 4.8 GHz 到 6.05GHz), 中心频为 5.4GHz, B 型天线 1 端口和 2 端口阻抗带宽分别为 24% (从 4.7GHz 到 6GHz) 和 21.3% (从 4.8 GHz 到 5.95GHz), 中心频也为 5.4GHz, 在带宽上, A 型天线比 B 型天线略优。图 5 显示天线单元双端口隔离度, 从中看出, 在带内, A 型天线隔离度低于 -48dB, 中心频处为 -52dB, 均明显优于 B 型天线。

图 6 和 7 为双端口 E 面的极化方向图。可以看出, A 型天线单元 1、2 端口 E 面交叉极化电平分别优于 -55dB 和 -50dB, 最好达 -61.3dB 和 -53.6dB, 而 B 型天线单元仅优于 -40dB 和 -41dB, 最好达 -43.2dB 和 -45.1dB, 明显逊于 A 型天线单元。

图 8 为两种天线单元 1 端口 H 面极化方向图。图中显示, A、B 型天线单元 1 端口 H 面交叉极化电平分别优于 -55dB 和 -42dB, 在 0 度到 -40 度之间, 差距更明显。

图 9 显示 2 端口 H 面极化方向图。在 ±10 度内, 两种天线交叉极化电平均优于 -40dB, 在 0 度附近交叉极化电平更低, 两种天线交叉极化电平相近。造成 H 面交叉极化电平较高的原因是达到了良好的阻抗匹配, 使 2 端口耦合孔径的位置偏置贴片中心距离过大, 相对于 1 端口, 对称性变差。

图 10 显示天线单元的增益。在带内, 两种型号天线单元增益接近, 在中心频附近约为 8dB, 具有较高的增益。

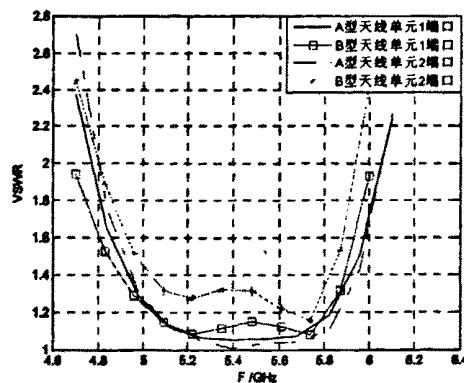


图 4 双端口驻波特性

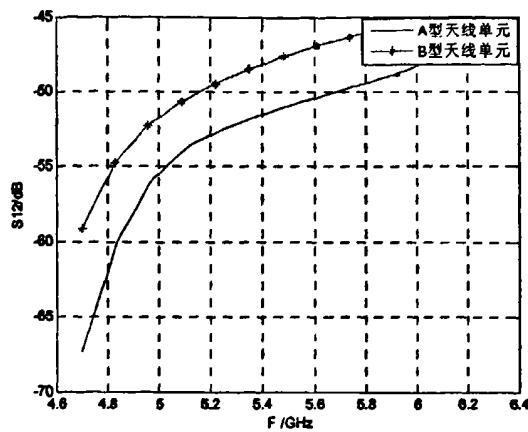


图 5 隔离度特性

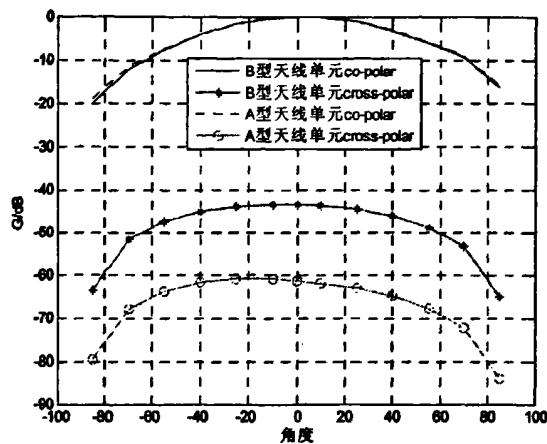


图 6 1 端口 E 面极化方向图

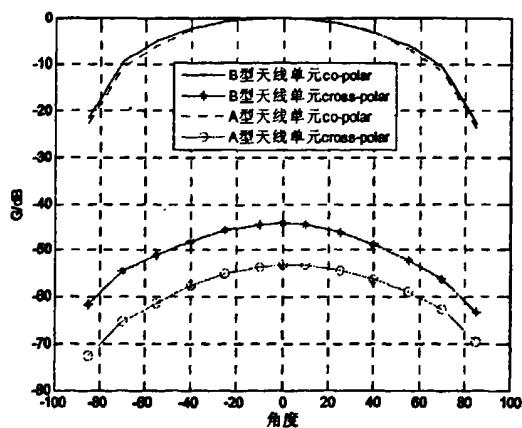


图 7 2 端口 E 面极化方向图

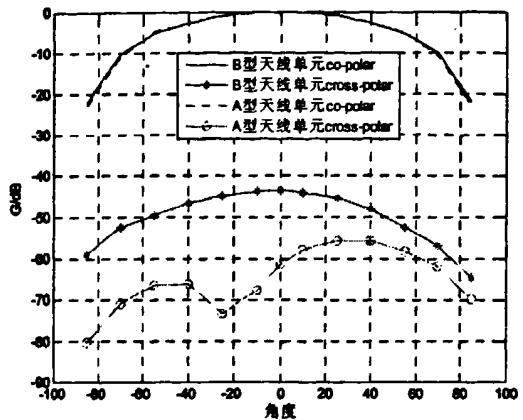


图 8 1 端口 H 面极化方向图

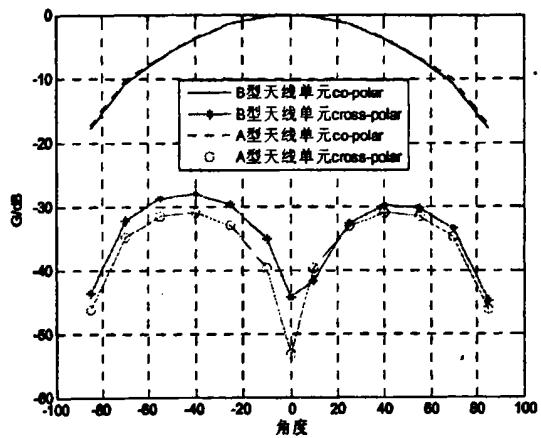


图 9 2 端口 H 面极化方向图

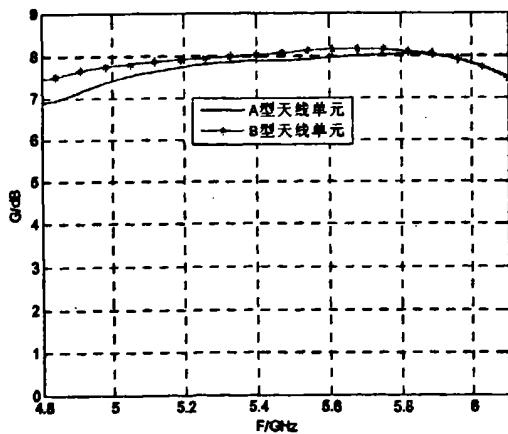


图 10 带内增益特性

4 结论

本文通过改变寄生贴片的形状，使之既具有良好的对称性，又与主辐射贴片形状不同，从而提出了一种新型结构的天线单元。同时与另一种结构较常见的天线单元进行了对比，结果表明新型天线单元在带宽、隔离度和交叉极化特性上均优于普通常见天线结构，其中交叉极化最为突出，优于-10dB以上。这可能是由于两种形状激励起不同的主模，从而使交叉极化分量得到部分抵消。详尽的理论分析有待于加工测试后进行更深入的研究。但单从仿真计算结果已经能够说明该天线具有可行、重要的现实意义，其性能能够满足未来星载 SAR 的工程需要，具有重要工程应用前景。

参 考 文 献

- [1] L.Habib,Gkossiavasand A.Papiernik.Cross-Shaped patch with etched bars for dual polarisation.[J]. Electronics Letters,1993,29(10):916~918
- [2] K.Ghorbani and R.B.Waterhouse.Dual polarized wide-band aperture stacked patch antennas.[J].IEEE Trans,2004,52(8):2171~2175
- [3] Kin-Lu Wong,Hao-Chun Tung,Tzung-Wern Chiou. Broadband and Dual-polarized Aperture-Coupled Patch Antennas With Modified H-Shaped Coupling Slots.[J].IEEE Trans,2002,50(2):188~191
- [4] Tzung-Wern Chiou,Kin-Lu Wong.Broad-Band Dual -Polarized Single Microstrip Patch Antenna With High Isolation and Low Cross Polarization.[J].IEEE Trans,2002,50(3): 399~401
- [5] 信息产业部电子第十四研究所翻译. 微带天线设计手册.[M].南京:信息产业部电子第十四研究所出版,2002.

作者简介

李迎林：男，1984 年生，南京电子技术研究所电磁场与微波技术专业硕士研究生。

李建新：男，1966 年生，研究员，1986 年厦门大学数学系毕业。现工作于南京电子技术研究所天线与微波技术国防科技重点实验室，发表论文 60 余篇。研究方向为相控阵天线、自适应天线、赋形反射面天线。

张金平：男，博士。2007 年毕业于中国科技大学，现工作于南京电子技术研究所天线与微波技术国防科技重点实验室。

通讯地址：南京市 1313 信箱研究生室 邮编 210013

电话：13382015861 025-83773907

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，一直致力于专注于微波、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>