

文章编号:1007-2861(2007)01-0010-04

高隔离度的双极化口径耦合微带单元与阵列天线

梁仙灵, 钟顺时, 汪伟

(上海大学 通信与信息工程学院, 上海 200072)

摘要: 提出一种新型的双极化微带贴片单元与其阵列设计, 该单元采用一对相互垂直的“H”形缝隙作口径耦合馈电, 获得了良好的端口隔离度(在工作频带 8.8~9.8 GHz 内实测值大于 42 dB). 该结构用于 SAR 系统天线的子阵设计时, 其网络布置较为简单. 基于此设计, 研制了八单元直线阵列天线, 理论仿真和实验相当吻合, 不但测得高的端口隔离度(> 30 dB), 而且实测的交叉极化特性很好(< -32.5 dB).

关键词: 微带天线; 阵列; 双极化; 口径耦合; 隔离度

中图分类号: TN 821.1 文献标识码: A

Dual-Polarization Aperture-Coupled Microstrip Element and Array Antenna with High Isolation

LIANG Xian-ling, ZHONG Shun-shi, WANG Wei

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: A novel dual-polarization microstrip patch element and its array are proposed. The element is fed through two orthogonal H-shaped slots with high isolation. The measured isolation is better than 42 dB in an operation bandwidth of 8.8~9.8 GHz. As a sub-array for SAR applications, the feed network of an array consisting these elements has a simple configuration. An eight-element linear array has been designed and fabricated. Experimental results are in good agreement with the theory, with high isolation (> 30 dB) and low cross-polarization characteristics (< -32.5 dB).

Key words: microstrip antenna; arrays; dual-polarization; aperture-coupled; isolation

未来的星载综合口径雷达(SAR)将越来越多地使用多频段、多极化的有源相控阵天线, 并且向柔性可展开的轻型薄膜天线方向发展, 以往采用的波导缝隙阵已经无法满足其发展要求. 微带天线以其体积小、重量轻、馈电方式和极化制式的多样化, 以及馈电网络、有源电路集成一体化等优点将成为未来 SAR 天线研究的主要对象. 但是由于微带天线的寄生辐射、色散等影响很难获得良好的隔离度和交叉极化特性. 目前的发展趋势是采用口径耦合馈电^[1-10],

将辐射贴片置于金属板的上面, 而馈线网络置于金属板的下面, 通过在金属板上开缝来耦合馈电, 减少了馈线网络的寄生辐射的影响. 但一般的双极化矩形缝隙耦合微带贴片天线, 其单元端口隔离度只有 18~20 dB^[2], 无法满足 SAR 系统天线的要求. 为了提高端口之间的隔离度, 已有不少文献提出改进的方法^[3-9], 文献[3]采用一对交叉垂直的矩形缝, 获得了较高的隔离度; 文献[8]采用修正的“H”形缝隙并结合倒相馈电技术, 其单元端口隔离度高于 40 dB,

但用于子阵设计时,两种极化的网络都不易布置.

本文给出一种新型的双极化口径耦合微带贴片单元设计,单元采用一对垂直对称的“H”形缝隙耦合馈电,不但获得了很高的隔离度(实测值大于42 dB),而且具有良好的交叉极化特性(实测值低于-30 dB).并且,该单元用于子阵设计时网络布置比较简单.基于新型的单元结构,设计了八单元直线阵列.下面首先介绍单元设计和实验结果,然后给出直线阵列的设计、理论仿真和实验测试结果.

1 单元设计与结果

本文提出的新型双缝耦合馈电贴片单元结构如图1所示,为满足驻波带宽的要求,采用双层方形贴片作为辐射单元.整个单元包含三层介质板,寄生贴片倒置于第一层介质板的下面,这样布置使得介质板可以起天线罩的作用.第二层介质板的上面覆着辐射贴片,下面为开缝接地板,刻有一对相互垂直的H形缝隙成轴对称结构,两介质层之间用介电常数约为1.08的泡沫支撑.第三层介质的下面覆着馈电微带线,水平极化通过开路微带线来耦合馈电;垂直极化通过微带线“T”形终端来耦合馈电,这样有利于提高端口之间的隔离度.另外,为了减少缝隙所引起的背向辐射,在离接地板四分之一波长处加了一块金属反射板,这也有利于提高天线的增益.

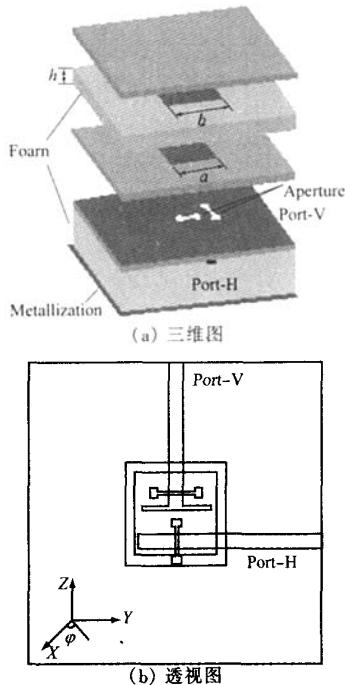


图1 单元结构图
Fig.1 Configuration of the single element

用Agilent 8722ES矢量网络分析仪对优化设计的单元($a=9.2\text{ mm}$, $b=10.2\text{ mm}$, $h=2.8\text{ mm}$)进行测试,其端口驻波与隔离度的仿真和测试结果如图2和3所示.测试的水平极化端口驻波相对带宽为19%($\text{VSWR} \leq 2$),垂直极化的端口驻波相对带宽为19.9%;两端口之间的隔离度在整个工作频带内($8.8\sim9.8\text{ GHz}$)大于42 dB.由此可见,采用一对相互垂直的H型缝隙作口径耦合馈电,可以获得较高的隔离度.同时,测得其交叉极化特性也很好(实测值低于-30 dB).此方法也可用于其他结构的贴片单元设计,并且这种馈电结构单元易于用作有源相控阵天线的子阵,其网络布局相对比较简单.

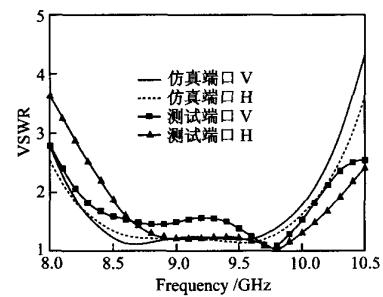


图2 测试与仿真两端口驻波
Fig.2 Measured and simulated VSWR of both ports

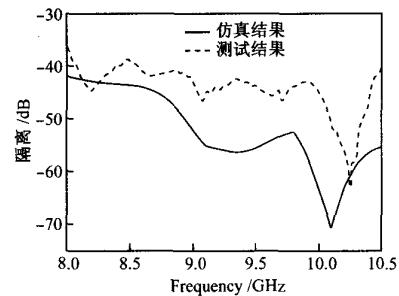


图3 测试与仿真两端口隔离
Fig.3 Measured and simulated isolation between two ports

2 阵列设计与结果

由以上的单元结构,设计了八单元直线阵列如图4所示,两种极化的馈电网络全部采用并馈的形式,保证了驻波带宽的要求.图5为测得的八元线阵的驻波和隔离度随频率变化曲线,水平极化端口的驻波相对带宽达到16.2%($\text{VSWR} \leq 2$),垂直极化端口的驻波相对带宽达到21.8%,两端口之间的隔离度在整个工作频带内高于30 dB.由于采用口径耦合馈电,两套线阵网络可以单独进行计算,考虑到馈线之间的耦合,通过调节变换带的结构和位置,补偿由

于馈线耦合引起各端口幅度和相位的偏差,保证各单元的相同激励.另外,成对单元水平极化端口采用反相馈电,抑制直线阵列的交叉极化.

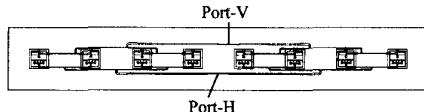


图4 八单元直线阵列透视图

Fig.4 Top view of the 8×1-element array

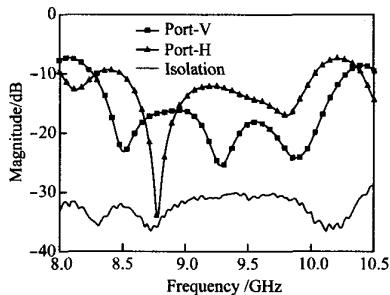


图5 八单元直线阵列的测试端口反射损失和隔离度

Fig.5 Measured return loss and isolation of the 8×1-element array

下面分析一般均匀激励的方形微带贴片天线阵的方向图特性,假设基片厚度 h 远小于工作波长 λ ,因而可以应用空腔模型来分析,方形贴片天线的 TM_{mn} 模在远场点的辐射场分量为^[11]:

$$E_\theta = \frac{4k_0 a^2 V_{mn}}{\lambda_0 R} e^{-jk_0 R} e^{j(\frac{u+m\pi}{2} + \frac{v+n\pi}{2})} \cdot \sin \frac{u+m\pi}{2} \sin \frac{v+n\pi}{2} \cdot \left[\frac{1}{u^2 - (m\pi)^2} + \frac{1}{v^2 - (n\pi)^2} \right] \cdot \sin \theta \sin \varphi \cos \varphi; \quad (1)$$

$$E_\varphi = \frac{4k_0 a^2 V_{mn}}{\lambda_0 R} e^{-jk_0 R} e^{j(\frac{u+m\pi}{2} + \frac{v+n\pi}{2})} \cdot \sin \frac{u+m\pi}{2} \sin \frac{v+n\pi}{2} \cdot \left[\frac{\cos^2 \varphi}{u^2 - (m\pi)^2} - \frac{\sin^2 \varphi}{v^2 - (n\pi)^2} \right] \cdot \sin \theta \cos \varphi. \quad (2)$$

式中, $u = k_0 a \sin \theta \cos \varphi$, $v = k_0 a \sin \theta \sin \varphi$, V_{mn} 是 TM_{mn} 模在贴片角端处的电压, λ_0 是空气中波长.对于边馈型单元会激励起一对正交极化工作模 TM_{10} 和 TM_{01} ,根据方向图乘积原理,阵元间距为 d 的 N

元线阵垂直极化分量的主极化和交叉极化辐射方向图分别为:

E面 ($\varphi = 0^\circ$):

$$F_E(\theta) = \cos \frac{u_1}{2}, \quad (3)$$

$$F_{EC}(\theta) = \frac{V_{11}}{V_{01}} \frac{2u_1 \cos \frac{u_1}{2}}{u_1^2 - \pi^2} \cos \theta; \quad (4)$$

H面 ($\varphi = 90^\circ$):

$$F_H(\theta) = \frac{\sin \frac{u_1}{2}}{u_1} \cdot \cos \theta \cdot \frac{\sin \frac{Nk_0 d \sin \theta}{2}}{N \sin \frac{k_0 d \sin \theta}{2}}, \quad (5)$$

$$F_{HC}(\theta) = \frac{V_{02}}{V_{01}} \sin \frac{u_1}{2} \cdot \frac{\sin \frac{Nk_0 d \sin \theta}{2}}{N \sin \frac{k_0 d \sin \theta}{2}}. \quad (6)$$

式中, $u_1 = k_0 a \sin \theta$.以上计算分量交叉极化方向图 $F_{EC}(\theta)$ 、 $F_{HC}(\theta)$ 时只考虑了三个模 TM_{11} 、 TM_{20} 、 TM_{02} .对于图1单元结构,由于馈电点位置在边上正中间,单元不会激励起 TM_{11} 模,式(4)中 $V_{11} = 0$,因而 E 面不会存在交叉极化分量.同理可以得到水平极化的辐射方向图.

图6为 $f = 9.3$ GHz 时测得的方向图,两个主极化的副瓣电平均低于 -11.5 dB,水平极化的交叉极化电平在整个 120° 方位角内低于 -28.5 dB,主瓣内低于 -39 dB.垂直极化的交叉极化电平在整个 120° 方位角内低于 -30 dB,主瓣内低于 -32.5 dB.从测试结果来看,在整个工作频带内主极化方向图变化不大.图中也给出了仿真结果,它与实测值吻合较好.

3 结 论

在星载综合口径雷达系统中,要求使用双极化、大带宽、高隔离度以及良好交叉极化特性的有源相控阵天线.本文基于一种新型结构的双极化口径耦合微带单元的设计,研制了新型的八单元直线阵列,阵列单元采用一对相互垂直的“H”形缝隙耦合馈电,两套线阵网络全部采用并馈形式,简化了网络的布置.理论仿真和实验测试结果比较吻合,实测表明,该直线阵列的驻波带宽分别达到 16.2% 和 21.8% ($\text{VSWR} \leq 2$),交叉极化电平在整个 120° 方位角内低于 -28.5 dB,在主瓣内低于 -32.5 dB,两极化端口之间的隔离度优于 30 dB.

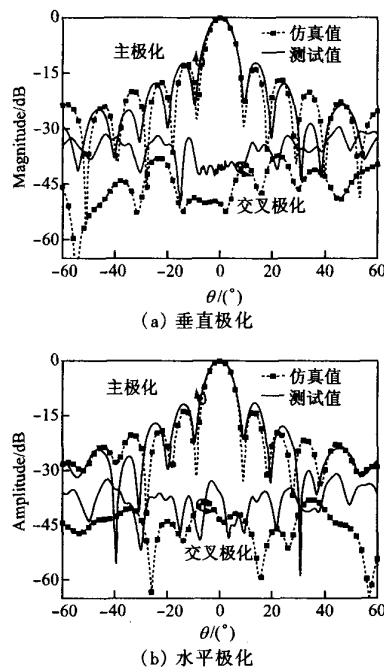


图6 八单元直线阵列的方向图

Fig.6 Radiation patterns of 8×1 -element array

参考文献:

- [1] POZAR D M. Microstrip antenna aperture-coupled to a microstripline [J]. Electron Lett, 1985, 21:49-50.
- [2] ADRIAN A, SCHAUBERT D H. Dual aperture-coupled microstrip antenna for dual or circular polarization [J]. Electron Lett, 1987, 23:1226-1228.
- [3] TSAO C H, HWANG Y M, KILBURG F, et al. Aperture -

coupled patch antennas with wide-bandwidth and dual-polarization capabilities [C]//Proc IEEE Antennas and Propagation Symp Dig, Syracuse, NY. 1988:936-939.

- [4] CROQ F, POZAR D M. Millimeter wave design of wide-band aperture-coupled stacked microstrip antennas [J]. IEEE Trans Antennas Propogat, 1991, 39 (12): 1770-1776.
- [5] HABIB L, KOSSIAVAS G, PAPIERNIK A. Cross-shaped patch with etched bars for dual polarization [J]. Electron Lett, 1993, 29:916-918.
- [6] YAMAZAKI M, RAHARDJO E T, HANEISHI M. Construction of a slot-coupled planar antenna for dual polarization [J]. Electron Lett, 1994, 30:1814-1815.
- [7] CHAKRABARTY S B, KLEFENZ F, DREHER A. Dual-polarized wideband stacked microstrip antenna with aperture coupling for SAR applications [C]//Proc IEEE Antennas Propagat Symp Dig. 2000:2216-2219.
- [8] WONG K L, TUNG H C, CHIOU T W. Broadband dual-polarized aperture-coupled patch antenna with modified H-shaped coupling slots [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2002, 50(2):188-191.
- [9] CHIOU T W, WONG K L. Broad-band dual-polarized single microstrip patch antenna with high isolation and low cross polarization [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2002, 50(3):399-401.
- [10] 汪伟, 钟顺时, 梁仙灵. X形微带缝隙天线[J]. 上海大学学报:自然科学版, 2005, 11(1):1-3.
- [11] 钟顺时. 微带天线理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991.

(编辑:刘志强)

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>