

图5 阵列天线的VSWR和Smith圆图

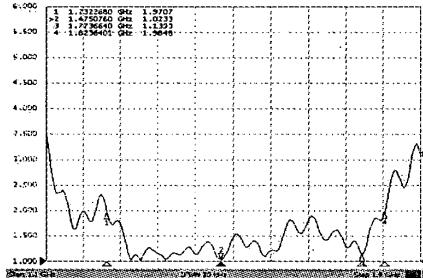


图6 阵列天线在1.1GHz-1.9GHz的VSWR

图 5 是在海事卫星的工作频带内, 实测的阵列天线驻波比和 Smith 图, 图 6 是在 1.1GHz-1.9GHz 内测试的电压驻波比。由图 6 可见阵列天线的阻抗带宽为 1.2GHz-1.8GHz, 相对带宽 36% (VSWR<2)。另外, 其驻波比曲线在 1.47GHz 和 1.77GHz 附近有明显的两个凹处, 表明天线形成了双峰谐振电路, 验证了前面的设计。并且, 由图还可以看出低频段的驻波比曲线要比高频段平坦, 这也说明 1/4 波长阻抗变换器

的工作特性低频优于高频, 而造成天线两个实际谐振点与所设计频点不同的主要原因是由于实际介质的不均匀性和加工误差所致。

3 结论

本文提出了一种实用的宽带圆极化贴片阵列天线的设计方法, 并且实际制作了应用于海事卫星电话的四元贴片阵列天线, 测试结果验证了该方法的合理性和正确性。该设计保持了微带天线的本身优点, 其结构简单, 尺寸小, 便于加工制作和批量生产, 目前已经形成产品。

参考文献:

- [1] 林场禄, 聂在平. 天线工程手册 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [2] 张勇虎, 周力, 欧钢. 一种双频双圆极化层叠结构微带天线的设计 [J]. 微波学报, 2006, 22(增刊): 25-28.
- [3] 武强, 钟顺时, 许赛卿, 彭祥飞. 大带宽的 U型接地板圆极化贴片天线 [J]. 上海大学学报(自然科学版), 2005, 11(4): 331-334.
- [4] 胡明春, 杜小辉, 李建新. 宽带宽角圆极化微带贴片天线设计 [J]. 电波科学学报, 2001, 16(4): 441-446.
- [5] Zhang-fa Liu, Pang-Shyan Kooi, Le-Wei Li, Mook-Seng Leong and Tat-Soon Yeo. A method for designing broad-band microstrip antennas in multilayered planar structures [J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation., 1999, 47 (9) : 1416-1420.
- [6] F. Croq and D.M. Pozar, "Millimeter-wave design of wide-band aperture-coupled stacked microstrip antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-39, pp. 1170 - 1176, Dec. 1991.
- [7] A. Hongming, B. K. J. C. Nauwelaers, and A. R. Van de Capelle, "Broadband active microstrip antenna design with the simplified real frequency technique," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 42, pp. 1612 - 1619, Dec. 1994.

宽频带“E”型结构毫米波微带天线

何蔚 金荣洪 耿军平 房志江 杨国民

(上海交通大学电子工程系, 上海, 200240)

摘要: 本文设计了工作于 31.6GHz-40GHz 毫米波段的微带天线, 其辐射单元为“E”型结构, 具有宽频带和圆极化特性。文中讨论了该天线的主要参数, 包括回波损耗、带宽、方向图、轴比、增益等。

结果表明，该天线馈电简单，制作容易，能很好地满足宽带毫米波无线通讯和雷达系统的需要。

关键词：微带天线 “E”型结构 毫米波 宽频带 圆极化

A wideband E-shape patch antenna for millimeter-wave communications

Wei He, Ronghong Jin, Junping Geng, Zhiqiang Fang and Guomin Yang

(Department of Electronic Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract In this study, an E-shape patch antenna operating at 31.6GHz~40GHz band is proposed. By this structure, the patch antenna has wideband and circular polarization characteristic. Its main parameters such as return loss, impedance bandwidth, radiation patterns, axial ratio and gains are discussed. The results show that modeling of such antennas, with simplicity in designing and feeding, can meet well the requirements of wideband millimeter-wave wireless communication and radar systems.

Key words: microstrip antenna E-shape millimeter wave bandwidth circular polarization

基金项目:国家自然科学基金项目(F010402/60501016)

1 引言

随着雷达、精确制导、遥感和无线电通信行业的迅猛发展，人们对空间各传输频段的开发需求愈来愈迫切。以往的微波较低频段(300MHz~30GHz)已经变得拥挤不堪，所以人们选择更高频段的空间资源，比如毫米波(波长1mm~10mm)，其工作频率范围为30GHz~300GHz，甚至亚毫米波波段。这些频率资源的开发，不仅缓解了通信容量的不足，而且为利用各种扩频、跳频等抗干扰、抗截获技术提供了有利条件。特别是在导弹制导、电子对抗和电子情报系统领域里，准毫米波和毫米波频段的技术日趋成熟，应用愈加广泛。

天线是毫米波系统的关键部件之一，微带天线具有尺寸小、重量轻、制造工艺简单、成本低、易于与飞行器共形等许多优点，近年来倍受重视^[1-3]。然而，受材料和加工技术的制约，微带贴片天线也有自身的缺点，主要表现为频带窄(2~5%)，效率低。增加介质板的厚度、降低介质的介电常数的方法通常被用来提高天线的带宽，然而，这样会产生大量的表面波模式并破坏天线的辐射性能。悬置微带和串并联馈电网络^[4]能减少馈电损耗，从而增加带宽并提高了增益。但是悬置微带方法使得天线结构复杂，增加了制造成本。比利时的Rosa M. 等人采用理想磁导体(MPC)接地技术^[5]，研究了一种宽带高增益双偶极子毫米波微带天线，回波损耗小于-10dB的带宽达到30%，但是回波损耗小于-15dB的带宽就不是很理想了。

本文提供一种“E”型结构毫米波微带天线。“E”型结构的天线具有多频带特性，通过调整“E”型结构的几何尺寸，并结合微带侧面

馈电方式，可使得“E”型结构天线的多频带工作频率相邻近而拓展到宽频带，即实现天线回波损耗小于-15dB 的相对带宽达到大于 10%的目的，同时该天线具有圆极化特性，该天线在工作频段的增益大于 2dBi，工作波束具有定向特性，天线制作简单，成本也较低。

2. 天线的建模与设计

“E”型结构的天线具有多频带特性，在本设计中，通过调整“E”型结构的几何尺寸，并结合微带侧面馈电技术，可使得“E”型结构天线的多频带工作频率相互接近而拓展到宽频带，天线带宽达到需要的带宽。图1(a)为本文设计“E”型微带天线的加工后的照片，图1(b)为该“E”型微带天线俯视和侧视结构示意图，“E”型辐射贴片印制在大小为 $8 \times 7 \times 0.8\text{mm}^3$ 的石英玻璃介质上面，该介质具有低损耗特性，介电常数为 $\epsilon_r=3.7$ ，介质背面是镀铜薄接地板。调整好的宽频带“E”形结构的几何尺寸如图1(b)所示，图1中 $L_1=3.7\text{mm}$, $L_2=0.8\text{mm}$, $L_3=2.5\text{mm}$, $L_4=1.75\text{mm}$, $L_5=1.8\text{mm}$, $L_6=0.6\text{mm}$ ，图中所有微带的宽度均为 $w=0.7\text{ mm}$ 。天线通过连接在微带侧面的小型射频同轴连接器(SSMA)馈电，该连接器特性阻抗为 50Ω 。

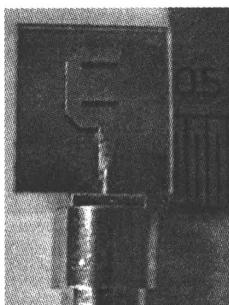


图1 (a) “E”型微带天线加工后的照片

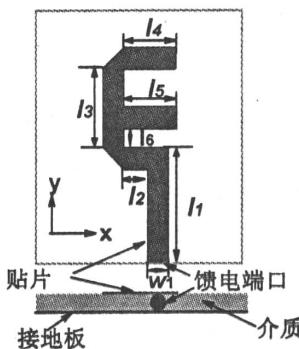


图1 (b) “E”型微带天线俯视和侧视结构示意图

2. 天线参数分析

本文应用基于有限积分的“CST Microwave Studio”微波软件计算天线的回波损耗、带宽、方向图、轴比以及增益等，在仿真计算过程中，有效应用该软件的自适应网格算法，使得计算的结果有很好的收敛特性，计算精度高。本文同时应用安捷伦的8722ES矢量网络分析仪测量回波损耗、带宽。图2是本设计天线的馈电端口的回波损耗。由图2可以看出除了由于加工以及介质的损耗引起的可接受的误差外，测量值和仿真值融合得很好。从图2中知：该天线的回波损耗小于-10dB的带宽的仿真值为31.6GHz-39.6GHz(相对带宽约为22.5%)，测量值为31.6GHz-40GHz(相对带宽约为23.5%)；回波损耗小于-15dB的带宽的仿真值为32.2GHz-36.9GHz(相对带宽约为13.6%)，测量值为32.2GHz-37GHz(相对带宽约为13.9%)。由上述数据知，该天线实现了回波损耗小于-15dB的相对带宽达到大于10%的目的，并具有宽频带的特性。

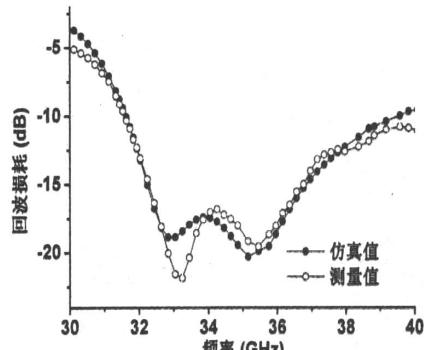


图2 天线馈电端口的回波损耗

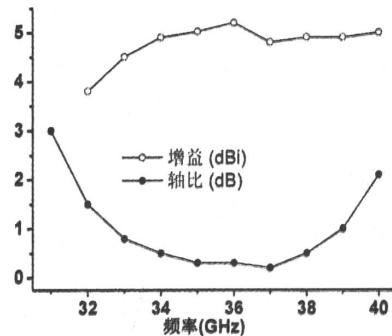
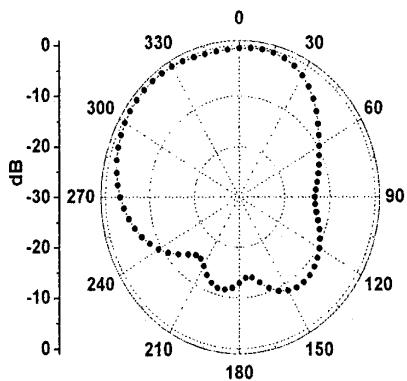
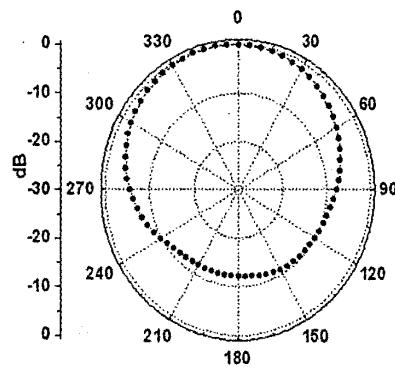
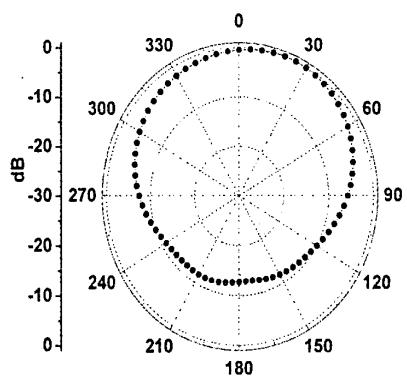
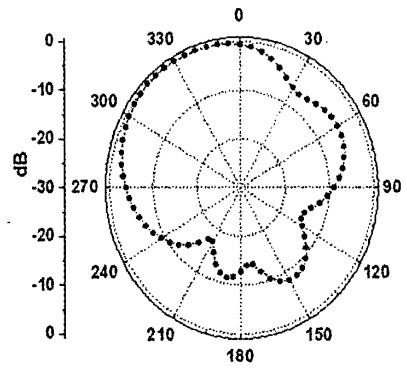


图3 天线轴比和增益的仿真值

图3是本文设计天线的轴比(Z轴方向)和增益的仿真结果。从图3可以看出，轴比(AR) ≤ 3 dB的带宽为31-40GHz，具有很好的圆极化特性。在图3中，天线在工作频段内的最大增益在频率为36 GHz 时是5.2dBi，最小增益在频率为32 GHz 时是3.8dBi，在其它工作频率点上的增益介于这两者之间，都大于2dBi

图4 (a)、(b) 是该天线在频率为32GHz时的E面(x-z面)和H面(y-z面)方向图的仿真值，在图4 (a) 中的E面中，3dB带宽为120.8°，在图4(b) 中的H面中，3dB带宽为115.7°。图5 (a)、(b) 是该天线在频率为35GHz时的E面和H面方向图，在图5 (a) 中的E面中，3dB带宽为100.6°，在图5 (b) 中的H面中，3dB带宽为115.6°。由图4-图5可以看出该天线的工作波束具有定向特性，即基本覆盖在微带天线上半球面。

图4 (a) 32GHz时的E面方向图 ($\phi=0^\circ$)图5 (b) 35GHz时的H面方向图 ($\phi=90^\circ$)图4 (b) 32GHz时的H面方向图 ($\phi=90^\circ$)图5 (a) 35GHz时的E面方向图 ($\phi=0^\circ$)

4. 结论

本文设计了一种“E”形结构的毫米波宽带天线，通过仿真和相关的测试数据结果可知，该天线具有宽频带特性，克服了现有微带实心贴片天线频带窄的不足，同时该天线具有圆极化特性。该天线在工作频段的增益均大于2dBi，工作波束具有定向特性，天线制作简单，成本也较低。该天线有效满足了小型宽带毫米波通讯的需求，同时，该天线可进一步组成阵列而满足毫米波通讯高增益的需求。

参考文献

- [1] C. J. Wang and W. T. Tsai. A stair-shaped slot antenna for the triple band WLAN applications [J]. *Microwave and optical technology letters*, 2003, (39): 370 - 372.
- [2] J. W. Su. 2.4/5 GHz dual band triangular slot antenna with compact operation [J]. *Microwave and optical technology letters*, 2005, (45): 81 - 84.
- [3] W. C. Lu. Broadband dual frequency cross shaped slot CPW-fed monopole antenna for WLAN operation [J]. *Microwave and optical technology letters*, 2005, (46): 353 - 355.
- [4] 马岩冰. 两种新型高增益微带毫米波天线[J]. 弹箭与制导学报, 2005, 25(2):430-432
- [5] Rosa M. Mateos, Rosa M. Mateos, Christophe Craeye, and Giovanni Toso. High-gain wideband low-profile antenna [J]. *Microwave and optical technology letters*, 2006, (48): 2615-2619.

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>