

一种双指数 Vivaldi 天线 RCS 研究^①

刘建富, 龚书喜, 徐云学, 张晓露

(西安电子科技大学天线与微波技术国家重点实验室, 西安 710071)

摘要: 文章研究了 Vivaldi 天线的散射特性, 根据分析 Vivaldi 天线的工作特点, 在不破坏辐射单元上电流分布的情况下, 通过改变辐射贴片的外形, 设计出了一种低 RCS 双指数 Vivaldi 天线。与常规 Vivaldi 天线相比, 改进天线在 2GHz~8GHz 的宽频带范围内单站 RCS 得到了很好的减缩, 而相对带宽基本不变, 工作频带内增益最大损失 0.4dB。

关键词: 超宽带; Vivaldi; 雷达散射截面

0 引言

近几年来, 超宽带技术发展异常迅猛, 涌现出了不同新形式的超宽带天线, 关于超宽带天线的文章、著作也特别多^[1,2]。但这些文章、著作多是研究超宽带天线的辐射特性, 对其散射特性进行研究的文献还很少, 能够查阅到的如文献[3]研究了超宽带印刷单极子天线在短路、开路 and 匹配情况下的单站 RCS, 文献[4]设计出了三叶草外形辐射单元的低 RCS 超宽带单极子天线。因此, 该领域还是一个崭新的课题。Vivaldi 天线作为一种经典的超宽带天线, 研究其散射特性对其他形式的超宽带天线的研究具有一定的借鉴作用。

1 常规 Vivaldi 天线及工作特点

Vivaldi 天线是 1979 年由 Gibson 提出的一种按指数规律渐变、由槽线构成的平面天线。通常情况下, 工作于匹配状态下的槽线, 如果槽线的宽度远小于半个工作波长, 槽线就不会辐射能量, 此时的槽线可以作为一种低损耗的传输介质。作为渐变槽线天线中的一种, Vivaldi 天线则是利用了槽线宽度大于半个工作波长的特性, 槽线可以明显地辐射能量。它是由较窄的槽线过渡到较宽的槽线构成, 将介质板上的槽线逐渐加大, 形成喇叭口向外辐射或向内接收电磁波。在不同频率上, 它的不同部分发射或接收电磁波, 而各个辐射部分对应的不同频率信号的波长的电长度是不变的。理论上来说, 可以做成任意工作频段的宽带天线。

文章研究的是带状线-槽线馈电方式的 Vivaldi 天线, 它由 2 层介质和 3 层金属电路组成, 其中, 两侧的 2 层为渐变天线部分和槽线腔体, 中间层电路为带状线槽线转换部分与带状线枝节, 如图 1 所示^[5]。常规 Vivaldi 天线的部分参数定义如图 2 所示, 各部分几何尺寸如下: 介质的介电常数为 $\epsilon_r = 2.65$, 介质厚度 $t = 3 \text{ mm}$, 带状线的特性阻抗 $Z_c = 81 \Omega$, $L_c = 5 \text{ mm}$, $D_{sl} = 8 \text{ mm}$, $W_{sl} = 1 \text{ mm}$, $L_{TC} = 2.5 \text{ mm}$, $L_{TA} = 2.5 \text{ mm}$, $H = 51 \text{ mm}$, $b = 60 \text{ mm}$, $W_{ST} = 0.82 \text{ mm}$, $R_R = 7.8 \text{ mm}$, $A_R = 80^\circ$, $L = 80 \text{ mm}$, $d = 100 \text{ mm}$, 渐变因子 $R = 0.01 \text{ mm}^{-1}$ 。文章以该天线作为参考天线, 与改进后的 Vivaldi 天线做对比。并且在讨论天线的单站 RCS 时, 都以图 2 中的坐标系为准。

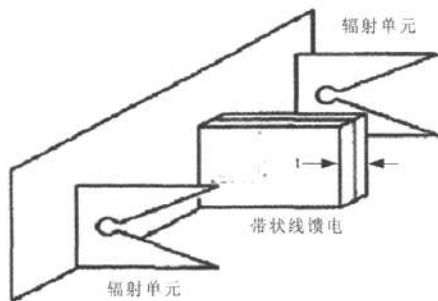


图 1 Vivaldi 天线模型

观察 Vivaldi 天线在工作频带内不同频率点时的面电流分布如图 3 所示, 可以看出, 辐射单元上的电流主要分布在 2 个区域: 对于槽线渐变部分, 电流主要分布在槽线两侧较窄的区域; 对于馈电部分, 电

① 收稿日期: 2010-04-12; 修回日期: 2010-06-30

图 6 比较了改进天线与参考天线的 VSWR。其中,改进天线的实测 VSWR 是通过矢量网络分析仪先测出天线输入阻抗,再对 81Ω 归一化得来。从图 6 可以看出,改进天线与参考天线的仿真阻抗带宽是一致的,为 $3.22 \sim 8.40$ GHz,相对带宽 89.16%。由于天线加工精度的问题,改进天线的实测阻抗带

宽向低频偏移,为 3.08 ~ 8.20 GHz,相对带宽 90.78%。

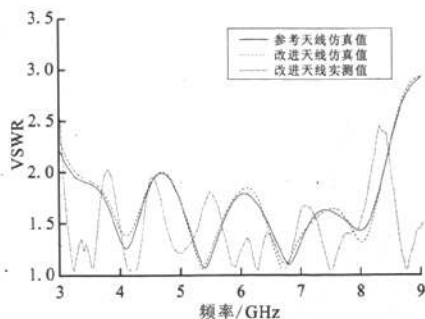


图6 天线 VSWR 比较

图7和图8是改进天线与参考天线归一化后的方向图比较。从 E 面和 H 面方向图比较中可以看到,改进天线的仿真方向图与实测结果基本吻合,说明仿真结果是可信的。另外,改进天线与参考天线相比,除了波束宽度略微变窄和后瓣略变大外,仍然

具有很好的定向性能,改进天线保持了参考天线良好的辐射性能。

参考天线的单面辐射单元的面积 4 568.02 mm²,改进天线的相应面积为 2 657.15 mm²,与参考天线相比,减小了 41.83%。在整个频带上,平面波入射下的各个角度天线单站 RCS 都得到一定程度的减缩。其中,当入射角为 $\theta=0^\circ$, $\varphi=0^\circ$ 和 $\theta=60^\circ$, $\varphi=90^\circ$ 时效果最好。对于前者,天线 RCS 减缩 2.18 GHz ~ 8.60 GHz;对于后者,天线 RCS 几乎在 2 ~ 8 GHz 都得到了减缩。当入射角为 $\theta=60^\circ$, $\varphi=0^\circ$ 时,改进天线的减缩频段范围为 3.04 ~ 8 GHz,特别是在峰值点 5.54 GHz 和 6.44 GHz 分别得到了 11.10 dB 和 25.35 dB 的减缩。 $\theta=60^\circ$, $\varphi=45^\circ$ 入射时,除了低频部分较小频段外,各个 RCS 峰值点都得到了不同程度的减缩。因此,改进天线在宽频带范围内各个角度单站 RCS 减缩效果明显,如图9所示。

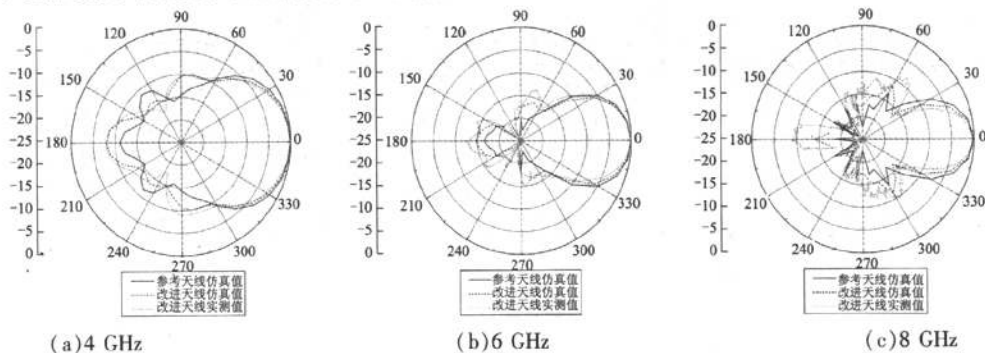


图7 两天线 E 面方向图比较

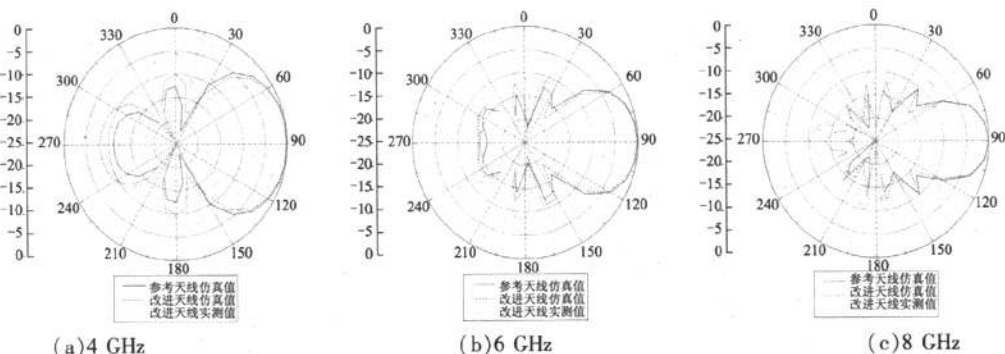


图8 两天线 H 面方向图比较

对天线进行 RCS 减缩时,必须保证天线增益不能下降太多,否则,即使 RCS 减缩效果很好,此时的天线已不能使用。表1给出了改进天线与参考天线

各个频率点的增益仿真值。与参考天线相比,改进天线增益最大损失 0.4 dB,满足减缩要求。

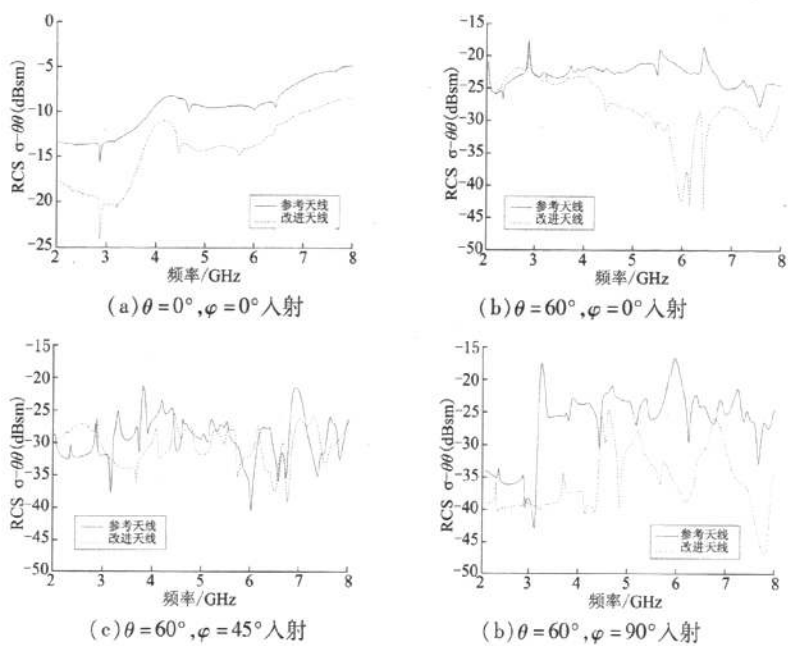


图 9 改进天线与参考天线单站 RCS 特性曲线

	表 1 改进天线与参考天线不同频率时的增益比较										单位: dB
频率/GHz	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	
参考天线	6.62	7.64	8.78	9.47	10.1	10.40	10.91	10.98	11.16	10.72	
改进天线	7.06	7.34	8.46	9.22	10.73	10.16	10.51	11.48	11.16	10.56	
增益差值	0.44	-0.3	-0.32	-0.25	0.63	-0.24	-0.4	0.5	0	-0.2	

4 结束语

文章首次将双指数渐变外形作为常规 Vivaldi 天线 RCS 减缩的手段,设计出辐射性能良好的低 RCS 双指数 Vivaldi 天线。与常规天线相比,改进天线贴片面积减小 41.83%,在宽频带范围内各个角度单站 RCS 减缩效果明显。同时,天线的辐射性能变化很小,增益仅仅损失 0.4dB,较好地解决了天线辐射性能良好与低 RCS 之间的矛盾。

参考文献:

[1] 钟顺时,梁仙灵,延晓荣.超宽带平面天线技术[J].电波科学学报,2007,(2):308-315.

[2] 阮成礼.超宽带天线理论与技术[M].第1版.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2006.

[3] Hu Sanming, Chen Honghui, Law C L. Backscattering cross section of ultrawideband antennas[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2007, 6: 70-73.

[4] Liu Y, Gong S X. A novel UWB clover-disc monopole an-

tenna with RCS reduction[J]. Journal of Electromagnetic Waves and Applications. 2008, 22: 1115-1121.

[5] 陈彦斌,吕善伟,李铨.宽频带 Vivaldi 槽线天线设计与仿真分析[C].全国微波毫米波会议论文集,深圳,2006:1529-1532.

[6] Lee J J, Livingston S. Wideband bunny-ear radiating element[C]. Proc. IEEE Antennas Propagations Soc. Int. Symp., Ann Arbor, MI, July 1993: 1604-1607.

[7] Greenberg M C, Virga L L. Characterization and design methodology for dual exponentially tapered slot antenna [C]. Proc. IEEE Antennas Propagations Soc. Int. Symp., Atlanta, GA, July 1999, (1): 88-91.

[8] Greenberg M C, Kathleen L V, Cynthia L H. Performance characteristics of the dual exponentially tapered slot antenna (DETSA) for wireless communications applications[J]. IEEE Trans. on Vehicular Technology, March, 2003, 52: 305-312.

(下转第 53 页)

A full digital GMSK demodulation method

ZHANG Zong-pan, QIN Yu-feng, WANG Hong-zhuo, HE Bing-zhe

(China Academy of Space Technology (Xi'an), Xi'an 710000, China)

Abstract: This paper presents a method of full digital intermediate frequency receive for GMSK demodulation, and discusses carrier synchronization and bit synchronization as an important aspect. Carrier synchronization, selecting and using decision feedback loop, can realize carrier return of particular range of BT. Then according to the formal consistency between linear approximation GMSK signal and OQPSK signal, using the DTTL which is used in bit synchronization of OQPSK for reference, the bit synchronization applicable to GMSK is designed. Both simulation and implementation results of hardware indicate that this method is simple and effective.

Key words: GMSK; Linear approximation; Decision feedback loop; DTTL

~~~~~  
(上接第 29 页)

### 作者简介:

刘建富 1983 年生,西安电子科技大学电磁场与微波技术专业硕士研究生。主要从事超宽带天线 RCS 减缩的研究。

龚书喜 1957 年生,西安电子科技大学电磁场

与微波技术博士生导师,教授。研究方向包括电磁理论、电磁散射、宽带天线、电磁散射与隐身技术等。

徐云学 1979 年生,现在西安电子科技大学电磁场与微波技术专业攻读博士学位。主要研究方向:电大尺寸目标散射、电磁快速算法。

## Study of RCS on the dual-index Vivaldi antenna

LIU Jian-fu, GONG Shu-xi, XU Yun-xue, ZHANG Xiao-lu

(National Laboratory of Antennas and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** The scattering characteristics of Vivaldi antenna is studied in this thesis. On the basis of analysis on the features of Vivaldi antenna, a dual exponential Vivaldi antenna with low RCS is designed by altering the shape of original antenna under the condition that the current distribution of radiating element is not destroyed. Compared with conventional Vivaldi antenna, monostatic RCS of improved Vivaldi antenna within wide frequency band from 2GHz to 8GHz is greatly reduced and the relative bandwidth is almost the same and the most gain loss of working frequency band is only 0.4dB.

**Key words:** ultra-wideband; Vivaldi; RCS

## 雷达散射截面 ( RCS ) 分析培训课程

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立, 致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养, 是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、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。

雷达散射截面 ( Radar Cross Section, 简称 RCS ) 是雷达隐身技术中最关键的概念, 也是电磁理论研究的重要课题, 使用 HFSS 软件可以很方便的分析计算各种目标物体的 RCS。

由易迪拓培训推出的《HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装》是从零讲起, 系统地向您讲授如何使用 HFSS 软件进行雷达散射截面分析的全过程。该套视频课程由专家讲授, 边操作边讲解, 直观易学。

### HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装



套装包含两门视频培训课程, 其中: 《两周学会 HFSS》培训课程是作为 HFSS 的入门培训课程, 帮助您在最短的时间内迅速熟悉、掌握 HFSS 的实际操作和工程应用; 《HFSS 雷达散射截面(RCS)分析》培训课程是专门讲授如何使用 HFSS 来分析计算雷达散射截面, 包括雷达散射截面、单站 RCS、双站 RCS 等的定义, 实例讲解使用 HFSS 分析单站 RCS、双站 RCS 和宽频 RCS 的相关设置和实际操作等。视频课程, 专家讲授, 从零讲起, 直观易学...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/130.html>

### 更多培训课程:

- **HFSS 培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>