

文章编号: 2095-4980(2019)01-0085-05

加载引向器的小型化对跖 Vivaldi 天线设计与仿真

叶 芃, 张月园*, 张晓燕, 吴喜亮, 刘志伟

(华东交通大学 信息工程学院, 江西 南昌, 330000)

摘要:提出一种加载引向器的小型化对跖 Vivaldi 天线(AVA)。相比大多数对跖 Vivaldi 天线, 该天线具有非常小的尺寸, 其大小只有 $14\text{ mm} \times 34\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$ 。引向器结构设置为三角形, 置于天线的开口中间。相比传统的对跖 Vivaldi 天线, 引向器能引导电磁波从天线的口径传输到介质板的边缘, 这样造成的反射比较小且传输特性良好。此外, 为了减小测量误差, 将天线与超小型(SMA)头联合仿真, 结果表明, 该天线在 5.2~11 GHz 频段内 $S_{11} < -10\text{ dB}$, 具有较宽的带宽; 且在 8.5~11 GHz 范围内, 天线的增益明显增加, 验证了这种新设计的可行性。

关键词: 对跖 Vivaldi 天线; 宽带; 小型化; 引向器

中图分类号: TN822.8

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201901.0085

Design and simulation of miniaturized antipodal Vivaldi antenna with loading director

YE Peng, ZHANG Yueyuan*, ZHANG Xiaoyan, WU Xiliang, LIU Zhiwei

(School of Information Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang Jiangxi 330000, China)

Abstract: A miniaturized Antipodal Vivaldi Antennas(AVA) with loading director is proposed. Compared with most of the antipodal Vivaldi antennas, the proposed antenna has a very small size which is only $14\text{ mm} \times 34\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$. The director is provided with a triangle and placed between the openings of the antenna. It guides electromagnetic waves emitting from the aperture of the antenna to the edge of the conductive director with a smaller reflection and better transmission characteristics compared to that of the traditional AVAs. In addition, in order to reduce the measurement error, the antenna is combined with the Sub Miniature A(SMA) head. The results show that the antenna has a wide bandwidth from 5.2 to 11 GHz for $S_{11} < -10\text{ dB}$, and the peak gain of the antenna is apparently increased in the range of 8.5–11 GHz, which validates the feasibility of this novel design.

Keywords: Antipodal Vivaldi Antenna; broadband; miniaturization; director

随着电子及网络通信技术的发展和进步, 对宽带传输系统的需求越来越普遍, 从而对宽带天线的设计也提出了更多要求。Vivaldi 天线是 Gibson E 在 1979 年提出的一种按指数规律渐变展开, 由槽线构成的平面天线。它是一种具有非周期结构连续渐变的端射行波天线, 因此, 理论上具有很宽的带宽。Vivaldi 天线自被提出以来, 许多学者作了大量的研究。Ehud. Gazit, Langley J D S 等都对其结构进行了改进, 使其性能不断趋于完善。Vivaldi 天线的发展^[1-3]可以分为如下 3 个阶段: a) 传统 Vivaldi 天线(Tapered Slot Vivaldi Antenna); b) 对跖 Vivaldi 天线(AVA); c) 平衡 Vivaldi 天线。传统 Vivaldi 天线是端射渐变槽线天线的特例, 端射渐变槽线天线是由薄的介质基片(基片厚度 \ll 波长), 其上金属覆层开槽所构成, 当槽线按指数规律渐变时, 该天线称为 Vivaldi 天线。理论上, 由于 Vivaldi 天线是一种端射行波天线, 因此会具有无线的频带宽度, 但是实际上 Vivaldi 天线的带宽受限于天线的尺寸和馈电结构。在传统 Vivaldi 天线的现有馈电方式中, 波导馈电和同轴线馈电在馈电点处存在一定的不连续性, 造成的反射较大, 微带线馈电要有 $\lambda/4$ 微带线与槽线耦合, 因而决定其带宽不会很宽。针对传统

收稿日期: 2017-11-07; 修回日期: 2017-12-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61601185); 江西省自然科学基金资助项目(20171ACB21040,20161BAB202062); 江西省教育厅科技基金资助项目(GJJ160533)

*通信作者: 张月园 email:zyyaney1981@hotmail.com

Vivaldi 天线馈电结构限制带宽的缺陷, Ehud Gazit 提出对跖 Vivaldi 天线结构^[4-9]。对跖 Vivaldi 天线的槽线宽度是由零逐渐增大的, 其高频端截止频率理论上为无穷大, 不再受槽线最小宽度的限制。

本文选取具有宽带, 结构简单, 易于加工等特点的对跖 Vivaldi 天线进行研究。在前人研究的基础上, 通过反复选择天线的性能参数进行计算分析, 在不改变天线性能的前提下减小天线的尺寸。在所研究对跖 Vivaldi 天线的槽线开口处加载一款引向器, 以此来改善天线的传输特性, 提高天线高频段的增益。

1 对跖 Vivaldi 天线结构

本文设计的对跖 Vivaldi 天线示意图如图 1 所示。辐射单元分别位于介质基板的两侧, 介质基板的介电常数为 4.4, 损耗正切角为 0.02, 厚度为 0.8 mm。对于单个天线来说, 开口宽度决定了频带的最低频率, 通常开口应不小于最低频率的 1/2 波长。在低频时, 天线主要是在末端辐射, 此时基片厚度相对于天线两侧导体间距离很小, 交叉极化性能较好。通过仿真得到该天线的 S_{11} 图如图 2 所示, 可以看出, 该天线在 5.2~11 GHz 频段内满足 $S_{11} < -10$ dB, 具有较宽的带宽。该结果验证了天线设计的可行性。

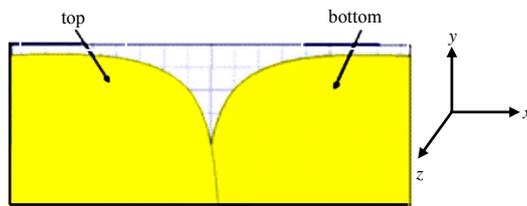


Fig.1 Structure of antipodal Vivaldi antenna
图 1 对跖 Vivaldi 天线的结构图

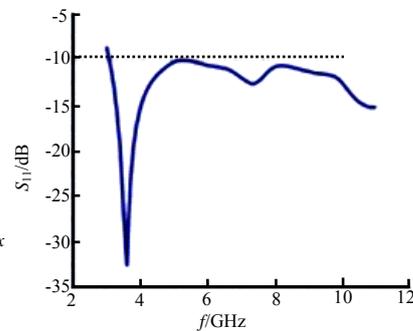


Fig.2 S_{11} of antipodal Vivaldi antenna
图 2 对跖 Vivaldi 天线的 S_{11}

2 加载引向器的对跖 Vivaldi 天线设计与仿真

为了改善天线的传输特性, 提高天线高频段的增益, 在天线上加载了一款引向器^[10], 置于天线的开口中间。相比传统的对跖 Vivaldi 天线, 引向器能引导电磁波从天线的口径传输到介质板的边缘, 这样造成的反射比较小, 且传输特性良好。针对引向器结构, 设置了不同形状, 通过仿真得到结果如图 3 和图 4 所示。

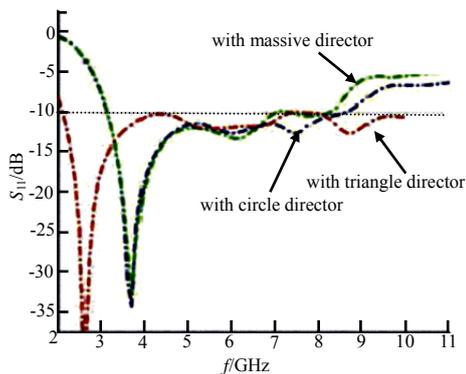


Fig.3 S_{11} with different directors
图 3 加载不同引向器的 S_{11}

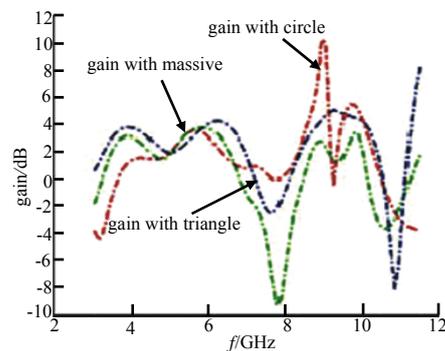


Fig.4 Gain with different directors
图 4 加载不同引向器的增益

由图 3 和图 4 可知, 矩形引向器在高频段的 S_{11} 没有达到要求且增益相比也比较低; 同样圆形引向器在高频段也没有达到要求, 增益大部分低于三角形引向器。综上所述, 三角形引向器比较满足要求, 因此下一步对三角形引向器进行优化。

改变三角形引向器的中心位置, 得到的 S_{11} 如图 5 所示, 可以看出当 $d_1=13$ mm 时, 效果最优, 其中 d_1 为三角形引向器的上边长距离基板底部的高度。

改变三角形引向器的角度(通过改变三角形最低顶点与基板底部的距离来改变角度大小), 得到的 S_{11} 如图 6

所示,可以看出当 $d_2=8\text{ mm}$ 时,效果最优,其中 d_2 为三角形引向器的最低顶点距离基片底部的高度。

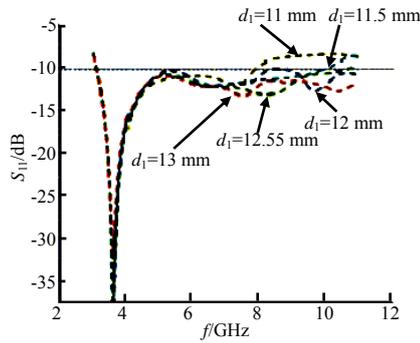


Fig.5 S_{11} with different heights of director
图 5 引向器不同高度的 S_{11}

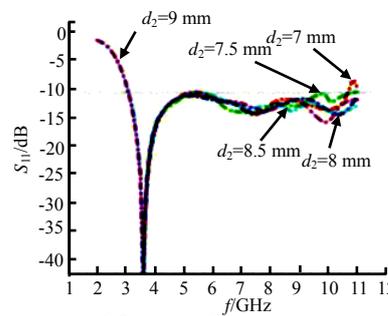


Fig.6 S_{11} with different angle of director
图 6 引向器不同角度的 S_{11}

通过对三角形引向器仿真优化,最终得到的天线结构如图 7 所示。其中辐射贴片分别位于介质基板的上下表面,形成对跖 Vivaldi 天线,天线开口中间的三角形为引向器。表 1 是天线结构的参数值。通过仿真实验得到天线的 S_{11} 如图 8 所示,结果表明,该天线在 5.2~11 GHz 频段内满足 $S_{11}<-10\text{ dB}$, 具有较宽的带宽,满足设计要求。

表 1 天线的结构参数值

Table1 Structure parameters of the antenna

W_1/mm	L_1/mm	W_2/mm	L_2/mm	W_3/mm
34	14	3.4	13	17.5

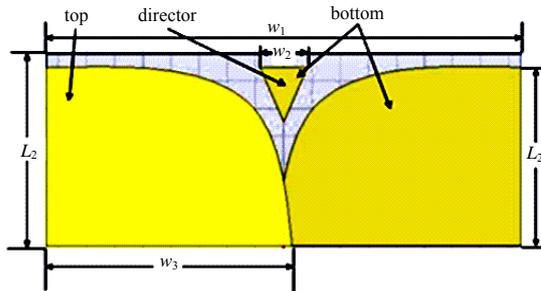


Fig.7 Structure of antipodal Vivaldi antenna with director
图 7 加载引向器的天线结构图

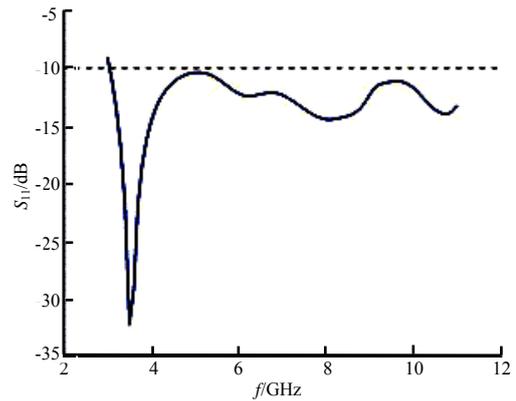
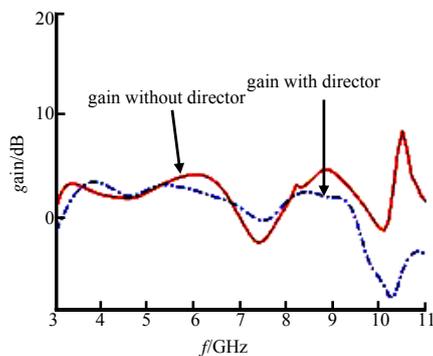
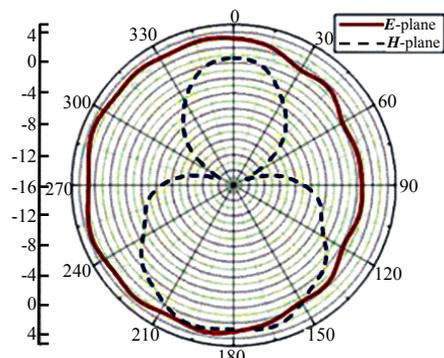


Fig.8 S_{11} with director
图 8 加载引向器后的 S_{11}

图 9 为天线的仿真结果。其中图 9(a)为是否加载引向器的天线增益,从图 9(a)中可以看出,加载引向器后天线的增益在低频段改变不大,但在 8.5~11 GHz 范围内,天线的增益明显增加,例如在 10.5 GHz,原始对跖 Vivaldi 天线的增益为 -5.15 dB ,加载引向器后的天线增益为 8.53 dB ,增益提高了 13.67 dB ,说明加载引向器能够提高天线在高频段的增益。图 9(b)~9(d)分别为 $f=3.4, 5.5, 10\text{ GHz}$ 时天线在 E 面和 H 面的辐射方向图,可以看到这是类似于偶极子的辐射方向现象,证明这种结构适合在无线通信系统中应用。



(a) comparison of the gains



(b) radiation pattern of 3.4 GHz

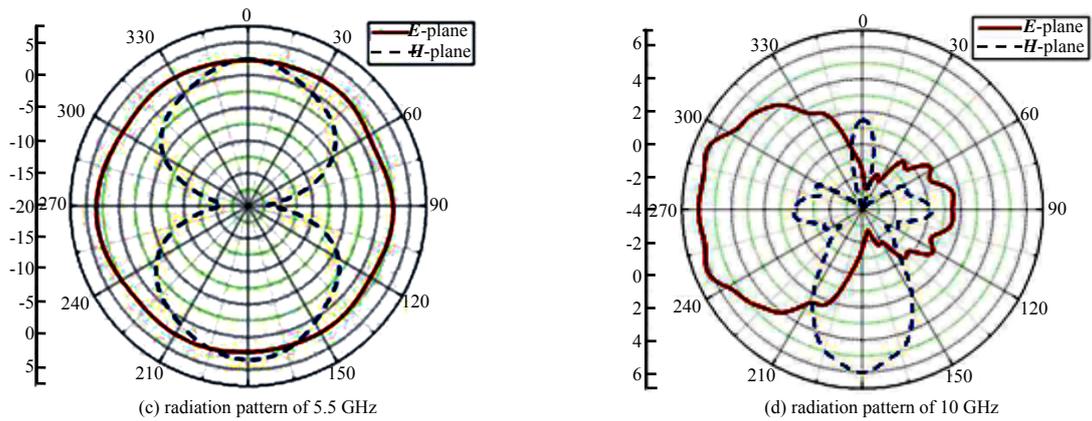


Fig.9 Simulation results
图 9 仿真结果

3 天线与 SMA 头联合仿真设计

由于 Vivaldi 天线对细节要求较高，很小的变化都会导致结果失真，造成较大的误差。针对这一问题，提出新的解决方案，采用同轴馈电，将天线与 SMA 头联合进行仿真。其结构如图 10 所示，其中图 10(a),(b)分别表示结构的正视图与侧视图。仿真后得到天线的 S_{11} 如图 11 所示，从图中可以看出该天线具有较宽的带宽，适合应用于无线通信系统。为了验证本文设计方案的可行性，对天线进行了实际加工，加工的天线实物如图 12 所示。

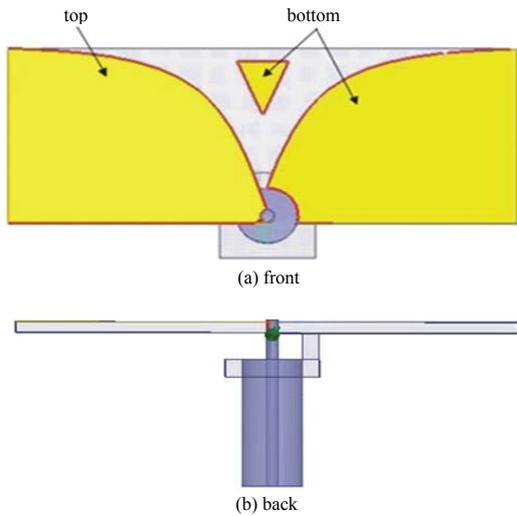


Fig.10 Simulation structure with SMA
图 10 联合仿真结构图

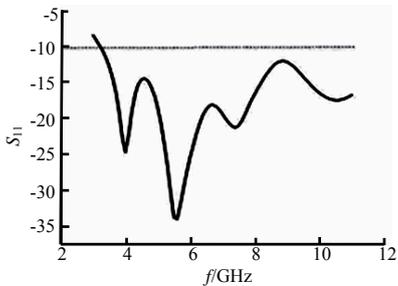


Fig.11 S_{11} of simulation structure with SMA
图 11 联合仿真的 S_{11}

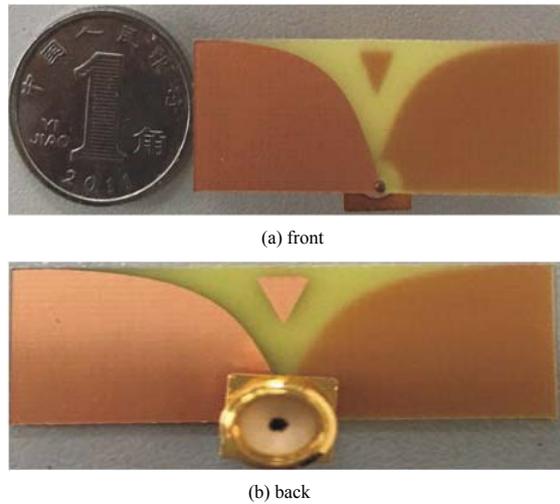


Fig.12 Physical picture of antenna
图 12 天线的实物图



Fig. 13 Test VSWR
图 13 测试的 VSWR

利用矢量网络分析仪对加工的天线进行测试，对天线的驻波比(Voltage Standing Wave Ratio, VSWR)进行测试，测试结果如图 13 所示。可以看出，在 5.2~11 GHz 频段内 $VSWR < 2$ ，即满足 $S_{11} < -10$ dB，测试结果基本上满

足天线的工作要求。综合来看,在整个测试频段内回波损耗曲线有所偏移,测试环境和加工技术等因素都会影响天线的测试结果。

4 结论

本文提出一种加载引向器的对跖 Vivaldi 天线,天线的辐射单元分别位于介质基板的上下两面,采用同轴馈电。该结构实现了天线的小型化,且在 5.2~11 GHz 频段具有良好的阻抗匹配。天线的带宽达到 5.8 GHz,说明该天线具有较宽的带宽。仿真与测试结果表明引向器可以提高天线在高频段的增益,改善天线的性能,该天线适合在无线通信系统中应用。

参考文献:

- [1] 王昌毅. 应用于 UWB 的对跖 Vivaldi 天线分析与设计[D]. 南京:东南大学, 2006. (WANG Changyi. Analysis and design of the antipodal Vivaldi antenna applied to UWB[D]. Nanjing,China:Southeast University, 2006.)
- [2] 张明月,陈军,万发雨,等. 一种新型超宽带对跖 Vivaldi 天线[J]. 科学技术与工程, 2017,17(19):41-46. (ZHANG Mingyue, CHEN Jun,WAN Fayu,et al. A new ultra-wideband Vivaldi antenna for the opposite plantar[J]. Science Technology and Engineering, 2017,17(19):41-46.)
- [3] LI H,CHEN L,QIU J,et al. A compact antipodal Vivaldi antenna with improved radiation performance[C]// International Symposium on Antennas and Propagation(ISAP). Okinawa:[s.n.], 2016:380-381.
- [4] AMIRI M,TOFIGH F,GHAFOORZADEH-yazdi,et al. Exponential antipodal Vivaldi antenna with exponential dielectric lens[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2017(16):1792-1795.
- [5] ZHOU Yang,HUANG Jingjian,WU Weiwei,et al. Radiation pattern control of antipodal Vivaldi antenna using a dielectric substrate[C]// IEEE International Conference on Computer and Communications(ICCC). Chengdu,China:[s.n.], 2016:1688-1691.
- [6] NATARAJAN R M,KANAGASABAI,M GULAM Nabi Alsath,et al. Dual mode antipodal Vivaldi antenna[J]. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2016,10(15):1643-1647.
- [7] MALATHI Kanagasabai,LIVYA Lawrance,JITHILA V George,et al., Modified antipodal Vivaldi antenna for ultra-wideband communications[J]. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2016,10(4):401-405.
- [8] WU Yuqing,LU Junqi,LIU Yi,et al. Modified design of the antipodal Vivaldi antenna[C]// International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory. Xi'an,China:[s.n.], 2012:316-319.
- [9] LUDLOW P,FUSCO V F. Antipodal Vivaldi antenna with tunable band rejection capability[J]. IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2011,5(3):372-378.
- [10] 王银行. 改进型的对跖 Vivaldi 天线的研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2010. (WANG Yinhang. Research on an improved antiplantar Vivaldi antenna[D]. Xi'an,China:Xidian University, 2010.)

作者简介:



叶 芃(1991-),女,安徽省桐城市人,在读硕士研究生,主要研究方向为天线理论与设计.email:1447016769@qq.com.

张月园(1981-),女,浙江省金华市人,硕士,讲师,主要研究方向为计算机应用技术.

张晓燕(1979-),女,云南省楚雄市人,博士,副教授,主要研究方向为计算电磁学与快速算法.

吴喜亮(1991-),男,安徽省黄山市人,在读硕士研究生,主要研究方向为天线理论与设计.

刘志伟(1982-),男,南昌市人,博士,副教授,主要研究方向为计算电磁学与快速算法.