

文章编号: 1001-4322(2010)07-1587-04

新型顶部加载单极天线*

王 欣, 刘庆想

(西南交通大学 物理科学与技术学院, 成都 610031)

摘要: 提出了一种新型顶部加 U 型负载的单极天线结构, 给出了设计思想和结构模型, 该天线采用同轴馈电, 辐射轴向笔状波束且线极化特性良好的波, 在理论分析的基础上具体对其进行了仿真, 并依照仿真的尺寸结果, 加工实物进行了实验研究。仿真结果表明: 该天线实现了同轴馈电单极天线的轴向辐射, 当工作频率在 4.0 GHz 时, 天线轴向增益为 8.33 dBi, 轴向轴比为 -69.64 dB, 反射系数为 0.034; 在 3.83~4.5 GHz 的频率范围内反射系数小于 0.1。实验结果表明: 该天线在中心频率时测量增益为 8.116 dBi, 驻波比为 1.098, 并且在 3.75~4.50 GHz 的范围内驻波比都小于 1.2, 可以看出仿真结果与实验结果基本一致, 互相进行了验证。

关键词: 同轴馈电; 顶部加载; 线极化; 单极天线; 轴向辐射

中图分类号: TN811; TN814 文献标志码: A doi:10.3788/HPLPB20102207.1587

单极天线是较早开始研究的天线形式之一, 这种天线以其结构简单、辐射较好的线极化以及水平面方向图的全向性等特点得到了广泛的应用^[1-9]。一般地, 为了展宽单极天线的带宽, 常常会用到加载的方法, 但是, 绝大多数加载单极天线, 其辐射方向图在 E 面内呈倒 8 字型, 在 H 面内形成良好的全向性, 也就是说这些天线在轴向(单极子轴线方向)辐射为零^[1-9], 或轴向辐射不为零但最大方向不在轴向^[9]。在现有的相关研究中, 有关单极天线实现轴向辐射的研究相对很少。为此本文设计一种新型的顶部加载单极天线, 该天线由同轴线馈电, 顶部加载 U 型负载, 可以实现单极天线的轴向辐射, 并且其阻抗带宽相对较宽, 辐射效率较高, 有着良好的应用前景。

1 天线设计及其结构

由天线的基本理论可知, 一个线极化波可以分解为两个旋转方向相反的圆极化波^[10], 因此两个方向相反的螺旋线就可以形成一个线极化天线, 而且通过调整螺旋线的尺寸, 可以实现螺旋线辐射轴向模式或法相模式。假设 D 为螺旋直径, λ 为波长, 则当 $D/\lambda \approx 0.25 \sim 0.46$ 时, 最大辐射方向与轴向一致, 即为轴向模式^[4]。

根据以上思路, 具体设计了一个顶部加载 U 型负载的单极天线, 天线的结构如图 1 所示, 它由同轴线进行馈电, 用一段金属棒将单极子与 U 型结构(均为金属)相连接, 将垂直面内的结构变换为水平面内的结构, U 型结构两臂完全对称。在该结构中与金属棒连接的半圆弧可以看成是两段不同旋向的螺旋线, 传播旋向相反的圆极化波, 在空间形成与金属棒放置方向平行的线极化波。

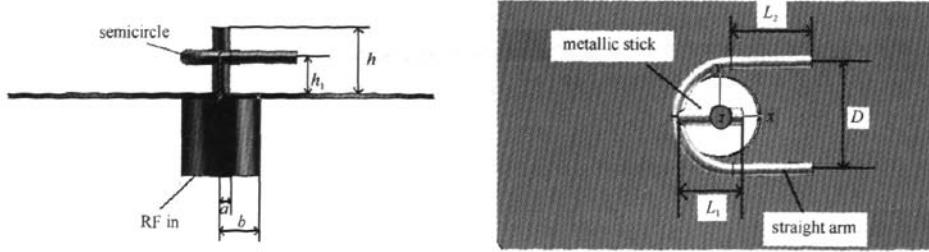


Fig. 1 Side view and top view of monopole antenna with U-type load

图 1 U 型负载单极天线侧视图和俯视图

为了验证这种加载单极子天线实现线极化轴向辐射的可能性, 首先采用以有限积分法为计算基础的仿真

* 收稿日期: 2009-06-25; 修订日期: 2010-01-06

作者简介: 王 欣(1982—), 女, 博士研究生, 从事高功率微波技术研究; wxpanda2701@163.com。

计算;其次,在后期制作了实物,并对其进行了实验研究。

根据辐射轴向模式的条件 $D/\lambda \approx 0.25 \sim 0.46$,当天线的工作中心频率为 4.0 GHz 时, $D \approx 18.7 \sim 34.5$ nm。通过软件对天线的各个结构尺寸进行了优化设计,优化后的尺寸为:同轴输入内导体半径 $a=2.5$ mm, 外导体半径 $b=9.5$ mm;单极子高 $h=16.2$ mm;金属棒长 $L_1=15.0$ mm, 线径(半径) $r_1=1.5$ mm;U型结构半圆(即螺旋)直径 $D=25.0$ mm, 直臂长 $L_2=18.8$ mm, 线径(半径) $r_2=1.5$ mm;加载部分高 $h_1=9.0$ mm。可以看出该天线,满足轴向模式的条件,整个结构也比较小巧,紧凑。

2 仿真结果

2.1 反射特性

反射特性是衡量天线特性的一个重要参数,在设计过程中,必须尽量减小由于顶加载而带来的反射,图 2 为这种顶部加载 U型结构的单极子天线的反射特性曲线,在中心频率下,反射系数为 0.034,在 3.83~4.50 GHz 的频率范围内,反射系数都小于 0.100,在不计损耗的情况下,对应的辐射效率大于 99%。

2.2 辐射特性

由于一般的单极子和加载单极子天线辐射方向图在 E 平面都是倒 8 形,不是轴向辐射,因此轴向辐射的方向图是该天线要关注的一个重要方面。图 3 是中心频率 4.0 GHz 下 $\varphi=0^\circ$ 和 $\varphi=90^\circ$ (极化平面)平面内的方向图(其中 θ 和 φ 分别为天线的俯仰角和方位角),可以看出,它较好地实现了微波的轴向辐射,轴向增益为 8.33 dBi(在仿真中天线的增益是与全向天线进行比较,因此仿真结果中增益的单位都采用 dBi);图 4 是中心频率 4.0 GHz 时的轴比图,轴向的轴比为 -69.64 dB,线极化特性相对较好;同时也研究了该天线在 3.8~4.2 GHz 范围内的辐射特性,增益随频率的变化曲线如图 5 所示,该天线在该频率范围内增益都大于 7.97 dBi,且均为良好的轴向辐射。

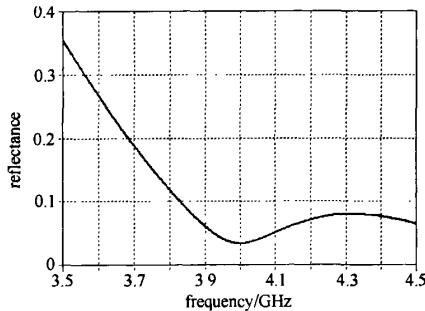


Fig. 2 Reflectance of monopole antenna with U-type load vs frequency

图 2 U型负载单极天线反射系数与频率关系

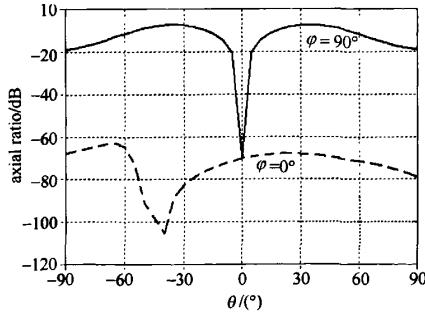


Fig. 4 $\varphi=0^\circ$ 和 $\varphi=90^\circ$ 平面内的极化图

图 4 $\varphi=0^\circ$ 和 $\varphi=90^\circ$ 平面内的极化图

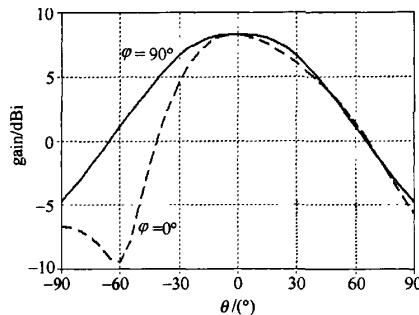


Fig. 3 Directivity pattern at $\varphi=0^\circ$ and $\varphi=90^\circ$

图 3 $\varphi=0^\circ$ 和 $\varphi=90^\circ$ 平面内的方向图

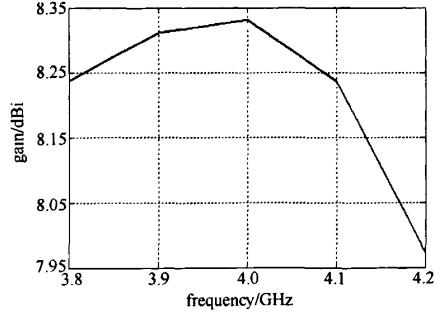


Fig. 5 Gain vs frequency

图 5 增益随频率的变化曲线

3 实验测试结果

根据得到的优化尺寸对该天线进行了实物加工及实验研究,实物图如图 6 所示。测量是在一个 22 m \times 15 m \times 8 m 的微波暗室中进行的,首先用矢量网络分析仪对其反射特性进行了测量,测量的驻波比如图 7 所示,可以看出,在中心频率上,驻波比为 1.098,且在 3.75~4.50 GHz 的范围内,驻波比都小于 1.2。根据驻波比

与反射系数的关系 $f_{VSWR} = (1+R)/(1-R)$, 可以计算得到, 当驻波比为 1.2 时, 对应的反射系数 R 是 0.0909, 也就是说驻波比小于 1.2 的频带范围几乎是反射系数小于 0.1 的范围, 将图 7 与图 2 的仿真结果比较, 可以看出, 测量的结果比仿真的频带范围更宽, 并且曲线趋势都相一致。

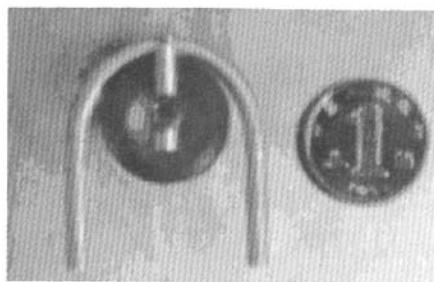


Fig. 6 Photo of monopole antenna with U-type load

图 6 U型负载单极天线实物图

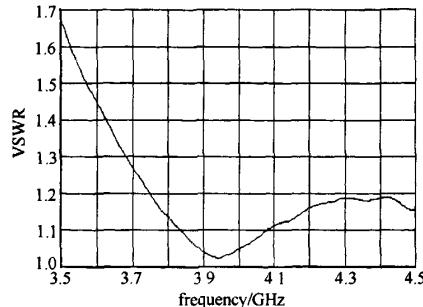


Fig. 7 Measured voltage standing wave ratio (VSWR)

图 7 测量驻波比

将 U型加载单极天线作为发射天线, 采用标准喇叭天线作为比较天线, 采用比较法测量了天线的方向图及增益, 图 8 和图 9 分别为中频 4 GHz 下 $\varphi=0^\circ$ 和 $\varphi=90^\circ$ 平面的测量方向图。标准喇叭天线的增益为 18.967 dBi, 接收电平为 -50.386 dB(实验中标准喇叭天线的增益也是与全向天线进行比较的, 所以单位采用的是 dBi), 单极天线的接收电平为 -61.237 dB, 则计算得到的 U型加载单极天线的增益为 8.116 dBi, 通过图 8 和图 9 以及测量的增益可以看出, 实验结果和仿真结果是相符合的, 从而验证了这种新型的顶部 U型加载单极天线实现轴向辐射的可行性。

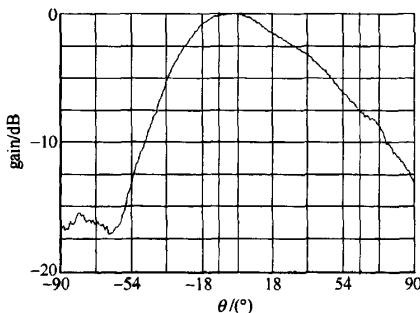


Fig. 8 Measured antenna directivity pattern at $\varphi=0^\circ$

图 8 $\varphi=0^\circ$ 平面测量方向图

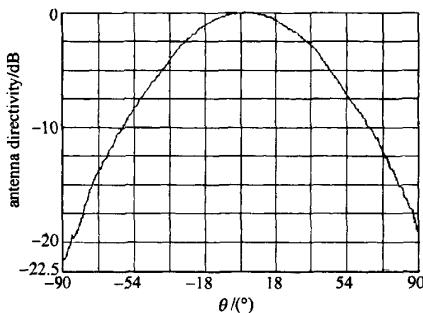


Fig. 9 Measured antenna directivity pattern at $\varphi=90^\circ$

图 9 $\varphi=90^\circ$ 平面测量方向图

将 U型加载单极天线作为发射天线并且固定, 其轴向方向对准接收天线的轴向, 然后旋转接收天线, 记录接收电平的变化曲线, 该曲线就是天线的轴比曲线, 测量的轴比曲线如图 10 所示, 轴向轴比为 -31.2 dB。

4 结论

本文通过理论设计、数值仿真和实验研究, 验证了这种顶部加 U型负载的单极天线实现轴向辐射是可行的。该天线采用一种由同轴馈电, 顶部加载水平放置的 U型结构, 这个结构将天线方向图转换到轴向辐射, 最终实现了这种天线形式的轴向线极化微波辐射。通过数值仿真和具体实验测试, 该天线在中心频率时测量增益为 8.116 dBi, 驻波比为 1.098, 在较宽的频率范围内驻波比都小于 1.2, 并且实验结果和理论设计仿真结果吻合较好, 相互进行了验证, 具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] Ting C Y. Theoretical study of a cylindrical antenna with a hemispherical cap[J]. *IEEE Trans on Antennas and Propagation*, 1969, 17(s):

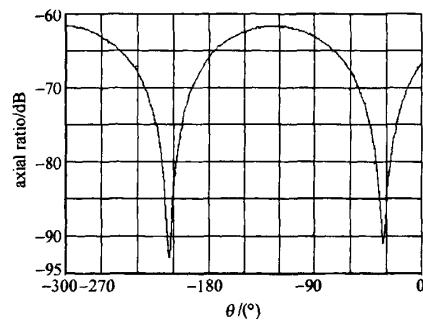


Fig. 10 Measured axial ratio

图 10 测量轴比图

715 - 721.

- [2] AL-Badwaihy K A, Yen J L. Hemispherically capped thick cylindrical monopole with a conical feed section[J]., *IEEE Trans on Antennas and Propagation*, 1974, 22(s): 477 - 481.
- [3] 岳欣, 康行健, 费元春. 用于冲激雷达的宽带旋转对称单极天线的分析与设计[J]. 现代雷达, 2000, 22(3): 72-77. (Yue Xin, Kang Xingjian, Fei Yuanchun. Analysis and design of broad-band rotationally symmetric antenna for impulse radar. *Modern radar*, 2000, 22(3), 72-77)
- [4] Tsukiji T, Kumon Y, Yamasaki M. Double-folded monopole antenna using parallel line or coaxial cable[J]. *IEE Proceedings of Microwaves, Antennas and Propagation*, 2002, 149(1): 17 - 22.
- [5] Wang Qi, Wang Zhongchun. A design of wideband compound conical monopole antenna[C]//IEEE Int Symp on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications. 2005, (1): 14 - 16.
- [6] Hertel T W. Cable-current effects of miniature UWB antennas[C]//Antennas and Propagation Society International Symposium. 2005, 3A: 524-527.
- [7] 白晓峰, 钟顺时, 梁仙灵. 叶片形超宽带单极天线[J]. 微波学报, 2006, 22: 22-24. (Bai Xiaofeng, Zhong Shunshi, Liang Xianling. Leaf shaped ultra-broadband monopole antenna. *Journal of Microwaves*, 2006, 22: 22-24)
- [8] 蔡青, 王子华, 李英, 等. 宽带平面直角双频单极天线[J]. 微波学报, 2006, 22(s0): 61-64. (Cai Qing, Wang Zihua, Li Ying, et al. A wideband orthogonal planar monopole antenna with DUAL frequency. *Journal of Microwaves*, 2006, 22(s0): 61-64)
- [9] 林昌禄, 聂在平. 天线工程手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002. (Lin Changlu, Nie Zaiping. Antenna engineering handbook. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002)
- [10] 杨儒贵. 电磁场与电磁波[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003. (Yang Rugui. Electromagnetic fields and waves. Beijing: Higher Education Press, 2003)

Monopole antenna with top load

Wang Xin, Liu Qingxiang

(School of Physics Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: A new style of monopole antenna is put forward, along with the design idea and structure model. The antenna fed by a coaxial line is top-loaded with a U-type load. Simulation and experiments have been conducted. The simulated results show that this antenna can radiate axial microwaves, its Gain is 8.33dBi, the axial ratio is ~ 69.64 dB, the reflectance is 0.034, in the range of 3.83 GHz to 4.50 GHz, the reflectance is below 0.10. The experimental results show that its gain is 8.116 dBi, the VSWR is 1.098 at 4.0G Hz, in the range of 3.75 GHz to 4.50 GHz, the VSWR is below 1.2, the results of experiment consistent with the simulated results, validated each other.

Key words: coaxial-line feed; top load; linear polarization; monopole antenna; axial microwaves

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>