

- 【7】K.Luneburg, Mathematical Theory of Optics. Providence, RI: Brown Univ. Press, 1944.
- 【8】M.J.D.Powell, Approximation Theory and Methods. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 1981.
- 【9】CST Ltd., CST MICROWAVE STUDIO®5 User's Manual, 2003
- 【10】Xianjin Li, Zhengquan Gong, Radiation Field Calculation of Luneburg Lens Antenna Using Reciprocity Theory, IEEE

李杨 男 1980 年出生, 陕西人, 在读硕士。2003

年至 2006 年工作于中国电子科技集团第 16 研究所微波研究室。现就读于西安理工大学大学, 主要研究微波与天线技术。

席晓莉 女, 1967 年出生, 陕西人, 副教授, 1990 年获国防科技大学应用物理专业学士, 2004 年获西安交通大学电磁场专业技术工学博士。近年来主要从事电波传播、天线设计、电磁场数值计算领域的研究工作。

顶端加载单极子宽频天线的阻抗匹配和方向图研究

张海力¹, 王志红¹, 于嘉嵬¹, 高永忠², 郑海雄²

(1 电子科技大学电子薄膜与集成器件国家重点实验室, 四川 成都, 610054; 2 良特(香港)有限公司, 广东 东莞, 523586)

摘要: 顶端加载是减小低频天线结构, 增加电小天线带宽常用的方法。本文通过对顶端加载铜管电小天线阻抗特性研究, 总结出天线驻波比随接地铜管长度的变化规律, 以及有限接地面在全向微带天线阻抗匹配方面的应用。顶端加载铜管造成天线辐射方向图向大于 90 度方向偏移, 通过对天线结构的分析找出了方向图偏移的原因, 并针对性的给出了三种改进方法, 其中文中给出的微带天线在水平全向辐射方面是较好的方法

关键词: 顶端加载、阻抗匹配、方向图

Study on Impedance Matching and Patterns Direction of Top Loaded Monopole Antenna

Zhang Haili, Wang Zhihong, Yu Jiawei, Gao Yongzhong, Zheng Haixiong

(1 State Key laboratory of electronic thin films and integrated device, University of electronic science and technology of China, Chengdu Sichuan 610054 China; 2 Exceltek Electronics (Hong Kong) LTD., Dongguan Guangdong 523586 China)

Abstract: Top loaded method is used to reduce antennas structures and increase bandwidth. In the paper, according to the study of impedance character of copper tube loaded antenna, conclude in the law of VSWR and input impedance variety following bottom copper tube length. Because of the unbalance structure, radiation pattern of top loaded copper tube antenna appears excursion above 90 degree. This paper introduces three methods to optimize radiation pattern, and point out that microstrip antennas are better choice to obtain omni-directional antenna

Keywords: Top loaded antenna; Impedance matching; Patterns direction

随着电子和微电子技术的快速发展, 各种无线接收和发射设备越来越小, 集成度也越来越高。在较低频段, 由于天线的工作波长较长, 天线的尺寸已成为设备结构整体进一步减小的瓶颈, 同时为满足更快的传输速率, 不同结构的宽频带、低剖面全向天线逐渐研究出来, 并为大家所熟知。综合目前的研究现状, 加载在展宽线天线带宽和减小尺寸方面是有效的也是应用最多的方法。加载按位置不同有顶部加载、中间加载和底部加载, 同时也可以分为集总加载和分布加载(1) — (6)。

顶端加载可以减小 Q 值, 增加天线有效电长度, 使线天线在一定频率下减小尺寸, 增加带宽。顶端加载圆盘是用的较多的方式, 但是圆盘的尺寸也不能太大, 太大会增加横向尺寸。加载铜管是较好的方法(6), 既不会增加横向尺寸, 通过改变铜管长度又可以方便的控制谐振频率, 随着铜管长度逐渐加长, 天线的谐振频率会降低。为了增加带宽, 并实现低频时的小工作尺寸, 本文所研究天线是顶端铜管加载全向双频天线, 工作于 450MHz 和 1500MHz。在设备应用中由于接地面较小, 会造成输入阻抗失配, VSWR 升高, 在此我们应用接地面铜管对天线进行匹配, 并研究了接地面铜管长度

对低频阻抗匹配性能的影响。顶端加载铜管可以看作顶端盘状加载的变异，也可以看作 V 锥的变异，不仅决定着天线的低频工作性能，还造成天线的辐射方向图下偏，本文对辐射性能进行分析，并给出了几种改进意见。

一 天线结构

天线的实物和结构图分别见图 1 和图 2，内部是一中心导体，其下部和 TNC 接头中心针相连，用于馈电，上部与铜管顶端相连，导体直径 0.5mm，从接头顶部算起，中心导体长度是 100mm。中心导体的长度决定着高频谐振频率，由于导体长度约等于 1--5GHz 谐振频率的半个波长，所以高频谐振点在 1.5GHz 左右。

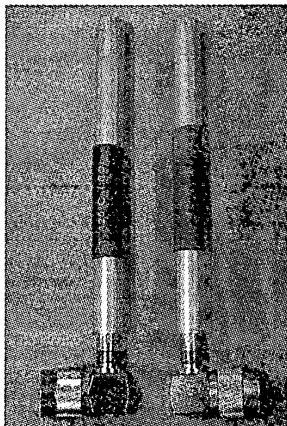


图 1. 天线实物图

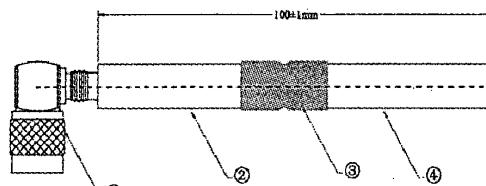


图 2. 天线结构图。①TNC 接头；②接地铜管 $\Phi 10\text{mm} \times \Phi 6.5\text{mm}$, $L=49\text{mm}$; ③热缩 PVC 管, 用于固定; ④顶部铜管, $\Phi 10\text{mm}$, $L=47\text{mm}$

顶部钢管和下边匹配钢管具体尺寸见图 2。顶端加载钢管长 47mm，壁厚 0.25mm，和内导体一起决定着天线低频特性，顶端钢管也影响着低频辐射方向图。接地钢管壁厚也是 0.25mm，下部和 TNC 接头相铆合，实现阻抗匹配，对方向图也有一定的作用。由于两个钢管中空，中心导体又较细，所以中部用一较短热缩 PVC 管固定，对天线高频和低频性能都没有太大影响。

二 天线性能分析

1. 阻抗匹配分析

通常我们考虑的天线的带宽都是阻抗谐振带宽，基于传输线模型对天线进行加载，能提高带宽，改善辐射特性。本文所研究天线通过加载钢管在 450MHz 左右可以达到 100M 的带宽，改变钢管和中心导体的长度也很容易调整天线的高频和低频谐振频率，其辐射性能也较好，最大增益在低频可达 6dBi。但由于电单极子天线是高的输入容抗，低的输入电阻，一般是引入匹配网络使天线满足谐振点的驻波比特性。文献（1）用 MOM（moment of methods）对顶端加载圆盘单极子天线输入阻抗进行了计算，计算条件是天线处于无限接地面上。

通常电小天线的匹配网络都是根据天线的阻抗特性，用相对应的无源集总元件进行匹配，但是由于集总元件不随频率变化，所以匹配频带范围非常窄，用随频率变化的分布元件，如钢管和有限接地面则能获得宽的匹配带宽（5）。

波比直接反映天线和电路的输入输出匹配特性，天线输入 $VSWR = (1 + |\Gamma_{in}|) / (1 - |\Gamma_{in}|)$

|）， Γ_{in} 是天线的输入反射系数， $\Gamma_{in} = (Z_{in} - Z_0) / (Z_{in} + Z_0)$ ，其中 Z_{in} 和 Z_0 分别是输入阻抗和特征阻抗。图3显示的是顶端加载钢管长度为47mm时天线驻波比随接地铜管长度的变化曲线。未加接地铜管时，驻波比在3左右，加接地铜管驻波比明显改善。当钢管长度增加到30mm时，天线的驻波比在1.5左右，随着钢管长度进一步加长，驻波比会继续减小，但是减小的幅度已经很小。同时考虑接地铜管对方向图偏移的影响，在结构允许的情况下，可以使用较长些的钢管。

图4是一个原理和顶端加载相似的微带天线，工作频段是2.4GHz和5.8GHz。当没有下部的匹配时，2.4GHz谐振点的驻波比在50左右，通过匹配驻波比可以达到1.3以下。文献3通过有限接地面实现了三频全向单极子天线的阻抗匹配。所以对于单极子电小天线，在不能获得较大接地面，或者要实现某一频段的谐振，通过接地钢管或者变形的有限接地面很容易实现谐振点的阻抗匹配。

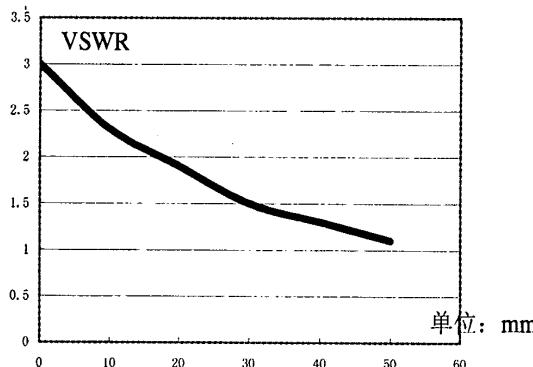


图 3. VSWR 值随接地铜管长度的变化。

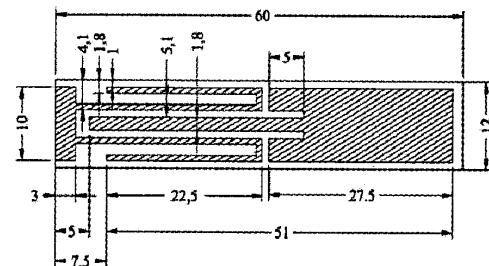


图 4. 双频微带天线平面图。基底材料 FR4，厚度 0.6mm，所有参数单位都是毫米

2. 天线方向图分析

顶端加载较小尺寸物体的单极子天线，或者两端加载的双极子天线对其方向图的影响都很小。当加载体尺寸较大时，单极子天线低频端方向图和普通单极子天线方向图相近，而高频端方向图将会向大于 90 度方向偏移，出现指向性。

由于低频端天线的波长比加载体尺寸大的多，所以天线的辐射方向图和普通单极子天线方向图相近，随着频率的增加，波长也越来越短，由于天线结构的非对称性（2），当波长和天线辐射结构相近时，方向图也就逐渐出现偏移。图 5 是不同频点测试的天线辐射方向图。从图 5 中 A, B 和 C 三张 E 面辐射方向图可见，在高频端方向图整体都出现了向大于 90 度方向的偏移，随着频率的增加，逐渐出现副瓣，且副瓣电平也越来越高。水平方向的增益比最大方向小了将近 4dB。高频端辐射方向图的偏移也可以用 V 锥的分析方法来考虑，文献（7）用模型匹配法对有限长 V 锥的辐射方向图进行了分析。从图 1 知，电流是从中心导体的顶端流向钢管，所以钢管辐射部分可以看作顶点馈电的有限长 V 锥天线变形。V 锥天线的辐射方向图和锥角有关，锥角越大高频端辐射方向图越偏向孔径方向，主要是由于孔径尺寸和辐射波长相近的原因，随着锥角的减小，直到最后为零也就成为普通单极子天线。由于顶部钢管的孔径不为零，所以高频端辐射方向图也就向大于 90 度方向偏移。

从图 5 中 D、E 和 F 图可知, 在更高的频段, 天线的辐射方向图又成为普通单极子天线的辐射方向图。这是由于参与更高频段辐射的主要单元是中心导体, 也就是一个普通的单极子天线, 所以其辐射方向图才没有出现偏移。

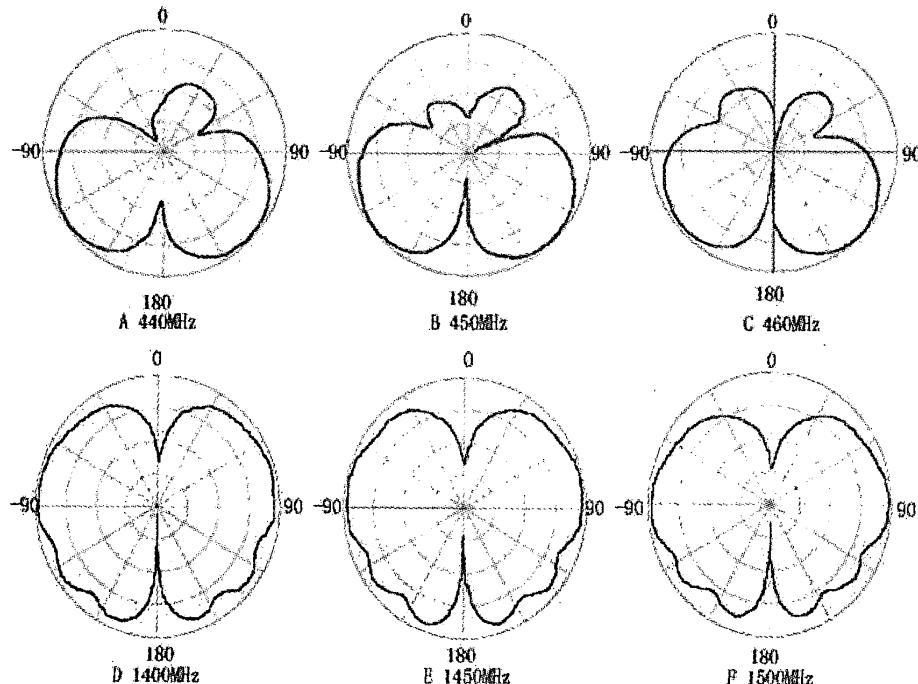


图 5. 实测的不同频段 X-Z 面的 E 面方向图

本文所研究天线应用的频段主要是 450MHz 左右, 且接收的主要是水平方向信号, 所以优化顶部加载铜管天线在水平方向的辐射方向图是最重要的。由于天线辐射方向图的偏移主要是结构的非对称性引起的, 所以在天线的顶部再加一个开口向上的铜管, 形成双锥天线的变形则可以改善天线的水平辐射特性。但这同时也增加了天线的尺寸, 对结构要求较小的天线不是太适宜。接地铜管的长度对天线高频端的辐射方向图偏移有一定的抑制作用, 但是影响很小, 通过考虑 V 锥天线的锥角对辐射方向图的影响, 可以在加大接地铜管的同时, 减小顶部铜管的孔径尺寸来共同改善水平方向辐射方向图。当然应用图 4 微带天线的方式来实现水平方向的全向辐射是一个相当好的选择。

三 结论

本文通过对顶端加载铜管单极子天线的阻抗特性和方向图的分析, 给出了顶端加载天线的阻抗匹配规律和方向图的改善方法。在接地铜管长度达到 30mm 时, 驻波比降到 1.5 左右, 能够很好满足天线特性要求, 继续增长铜管驻波比可以降到 1.08。并且这一规律也可以用在一些微带天线的匹配上。顶端加载改变了天线的对称结构, 造成方向图向大于 90 度方向偏移, 水平方向增益下降。通过对结构分析, 本文给出了几种改进方法。在有结构尺寸限制时, 用微带天线的形式是获得全向水平辐射的最好方法。

参考文献:

- [1] Ted L. Simpson, The Disk Loaded Monopole Antenna[J]. IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 52, NO. 2, FEBRUARY 2004
- [2] Joshua S. Petk, and Douglas H. Werner, Miniature Reconfigurable Three-Dimensional Fractal Tree Antennas[J]. IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 52, NO. 8, AUGUST 2004
- [3] Wen-Chung Liu, Design of a Multiband CPW-fed Monopole Antenna Using a Particle Swarm Optimization Approach[J]. IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 53, NO. 10, OCTOBER 2005

[4] Ki-Hak Kim, Jin-U Kim, and Seong-Ook Park, An Ultrawide-Band Double Discone Antenna With the Tapered Cylindrical Wires[J]. IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 53, NO. 10, OCTOBER 2005

[5] 文武丰, 短波超短波宽带小型化天线及匹配网络研究[D], 电子科技大学硕士学位论文。2005

[6] 赵兴. 小型化与宽带化线天线研究[D]. 电子科技大学硕士学位论文研究。2005

[7] 王洪裕, 阮成礼, 王琪. 有限长V锥天线的辐射场[J]. 电子科技大学学报。2004年10月

一种小型化开式套筒加载天线

陈瑾 傅光 吴广德

(西安电子科技大学天线与电磁散射国家重点实验室, 陕西 西安, 710071)

摘要 研究了一种小型化开式套筒加载天线。文中采用给天线加顶负载的方法有效降低了天线的高度, 运用开式套筒结构有效减小了单极子天线对地面的依赖性, 并利用电感电阻混合加载技术进一步展宽了天线的工作频带。并实际设计出了一副工作在100~400 MHz频带内, 电压驻波比小于3.0的宽带单极子天线, 测试结果与仿真结果良好吻合, 符合实际工作需要。

关键词 开式套筒天线 小型化 加载

中图分类号 TN820

A Miniaturized Loaded Open Sleeve Antenna

CHEN Jin FU Guang WU Guang-de

(Institute of Antennas and EM Scattering, XIDIAN University, Xi'an, 710071, China)

Abstract A study of Miniaturized Loaded Open Sleeve Antenna is made. In this paper, a top load is applied to lower the height of the antenna; and the open sleeve configuration is applied to miniaturize the area of the ground plane; then load technologies are applied to broaden the bandwidth of the antenna. Finally, a broadband monopole antenna, with VSWR<3.0 in 100~400MHz, is designed, and the results of test fit those of computing well.

Key words Open Sleeve Antenna miniaturization load

1. 引言

近年来, 随着科技的发展, 宽带天线在军事上的应用日渐增多。通常, 实际工作要求天线在几个倍频的带宽内驻波、增益、以及方向图都要满足一定的要求, 这就对宽频带天线的研究提出了更高的要求, 作为一种宽频带天线, 套筒单极子天线已广泛应用于现代通信和遥感系统中。与普通的套筒单极子天线相比, 开式套筒单极子天线的设计较为直观和简单, 在传统经典套筒天线的基础上, 用紧靠内导体的两根导线置换套筒天线的金属筒, 即构成了所谓的开式套筒天线。由于两根寄生振子的存在, 起到了等效加粗原有单极子天线半径的作用, 使得开式套筒单极子天线的工作频带比普通的单极子天线宽得多, 通常可达倍频程以上。

但是由于实际工作环境的要求, 天线要达到几个倍频程的带宽, 又不能有太大的尺寸, 本文设计了一个具有体积小、地板小、重量轻、频带宽等优点的开式套筒单极子天线。

2. 理论分析

本文所设计的天线采用如图1所示的开式套筒形式, 天线工作频率范围 100MHz~400MHz。

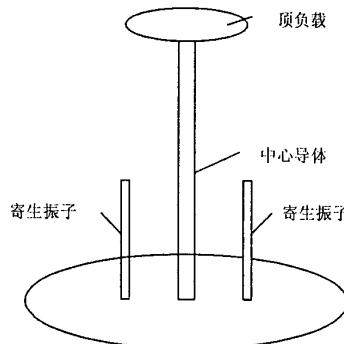


图1. 天线结构

图1中, 中心振子的高度由低端频率决定, 这样天线中心导体长度约为750 mm左右, 而工作需要天线的高度不得超过550 mm, 这就要求天线在满足实际要求的物理尺寸条件下具有更高的等效高度, 而增加天线等效高度的一种有效方法就是给天线顶端加顶负载, 即给天线顶端加一水

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>