

选题号: 2

加载线锥天线研究

赵兴, 阮成礼, 胡亚东

(电子科技大学物理电子学院 成都: 610054)

【摘要】从双锥天线的理论出发, 研究了一种简单的线锥形式的天线。通过改变天线外形以及使用加载技术, 增加了天线带宽, 减小了天线的尺寸, 使天线高度仅为波长的1/20。使用遗传算法确定了对天线的加载元件值, 用矩量法(MoM)分析计算了天线的主要性能。经过匹配后, 天线可以在VHF到微波低端的60~600MHz的频段内驻波小于3。文中给出了天线性能的计算和测试曲线。

关键词 电小天线; 加载; 矩量法

Investigation on Loaded Wire-taper Antenna

Zhao Xing, Ruan Chengli, Xu Yadong

(School of Physical Electronics, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract A type of loaded wire-taper antenna is presented. The height of the antenna is minimized and its bandwidth is widened through loading RLC network, whose value is decided by using genetic algorithm (GA). The design of the antenna is analyzed by using the method of moment (MoM). The VSWR of the matched antenna is less than 3 from VHF to microwave. Some measured curves are given.

Key words electrically small antenna; loaded; method of moment

0 引言

近年来, 对电小天线的研究是一个十分热门的课题, 这无论是从军用还是从民用的角度看都具有十分重要的意义。小天线的研究一方面是由于随着通信技术、空间技术、超宽带电子技术的发展, 各种电子设备不断向小型化、微型化方向发展, 要求与之相适应的天线也要向小型化发展。同时, 在HF、VHF频段由于波长过长, 为使天线可实现, 必须采用电小天线。另一方面, 对电小天线的研究也是出于隐蔽性、机动性、成本等方面的考虑。

根据H. A. Wheeler的定义^[1], 电小天线一般满足

$$kI < 1 \quad (1)$$

其中波数 $k = 2\pi/\lambda$, I 为天线的一维最大线长度。

为了与不断发展的扩频、跳频通信技术相适应, 我们总是希望天线能够同时具有宽频带及高增益的特点。然而由于物理尺寸的限制, 电小天线一般是弱方向性的, 很难满足这一要求, 并且当 kI 越小时, 电小天线的辐射电阻越小, 电抗越大, 具有很高的Q值, 大部分能量储存在天线周围难以辐射出去, 使得天线的带宽、增益、效率等指标降低。这使得研究者们不得不采取某些措施来改善天线的性能。当前对电小天线的研究主要涵盖了以下几个大的方面: 1. 对电小天线Q值理论极限问题的研究。2. 小天线的加载技术以及外形结构研究。3. 小天线的匹配网络的研究等。对天线加载以及改变天线的外形是改善电小天线性能的有效途径^[3~5]。本文研究了一种复合加载线锥天线, 通过使用加载技术和锥形结构使天线实现小型化和宽带化。

1 天线的结构与建模

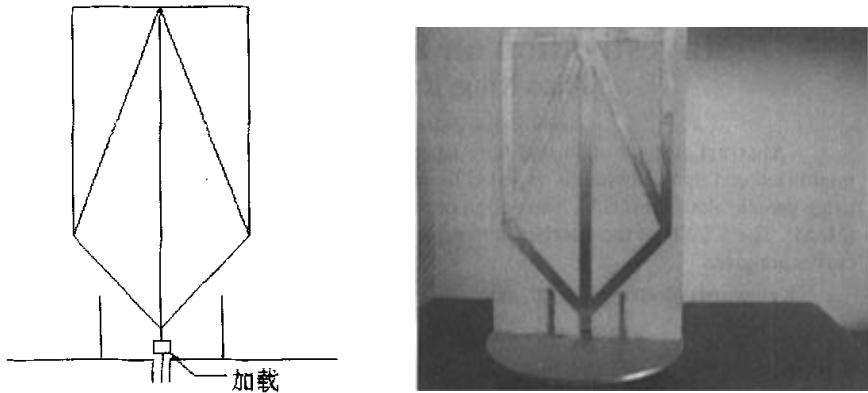
众所周知，双锥天线和单锥天线具有优良的宽频带特性，但是这两种天线体积庞大，尤其在工作频率较低时，难以制作安装^[2]。文献[3]研究了平面单锥形天线，对不同倾角情况下天线的阻抗特性进行了仿真分析。考虑到电流主要分布于天线的边缘，本文采用线结构近似，所构建的天线的结构及用印刷电路板做的实物如图1所示。天线的倾角为45°，高度为25cm，宽度为15cm，底部的两袖高度为3.5cm。该天线可以用矩量法（MoM）分析。天线的辐射场

$$\bar{E}^s(\mathbf{r}) = -j\omega\mu \int_V \mathbf{J}_s(\mathbf{r}') \cdot \bar{\bar{G}}(\mathbf{r}, \mathbf{r}') dV \quad (2a)$$

$$\bar{\bar{G}}(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = (\bar{\bar{I}} + \frac{\nabla \nabla}{k^2}) g(\mathbf{r}, \mathbf{r}') \quad (2b)$$

$$g(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = \frac{\exp(-jk|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|)}{4\pi|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} \quad (2c)$$

其中单位并矢 $\bar{\bar{I}} = \hat{x}\hat{x} + \hat{y}\hat{y} + \hat{z}\hat{z}$ ， k 为波数， $\mathbf{J}_s(\mathbf{r}')$ 为辐射体表面的电流。



1 天线结构及实物照片

为了使天线在工作频率低端有较好的性能，用RLC并联电路对天线进行加载。加载电路的位置固定在天线的底部，以降低设计难度。对于用加载来实现天线的小型化和宽带化，前人做了大量的研究。Altshuler、Halen、Popovic等人提出了各自对线天线的加载方法并做了理论

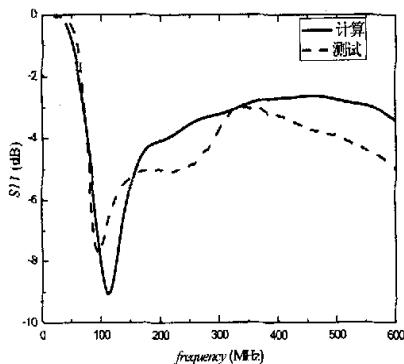


图2 天线的S参数

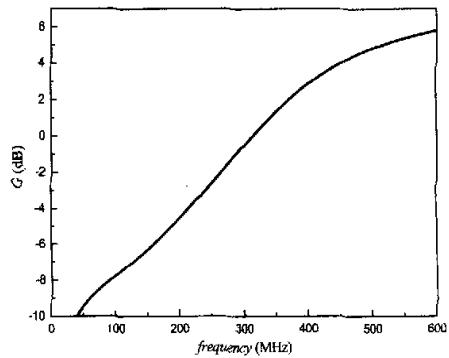


图3 天线的增益

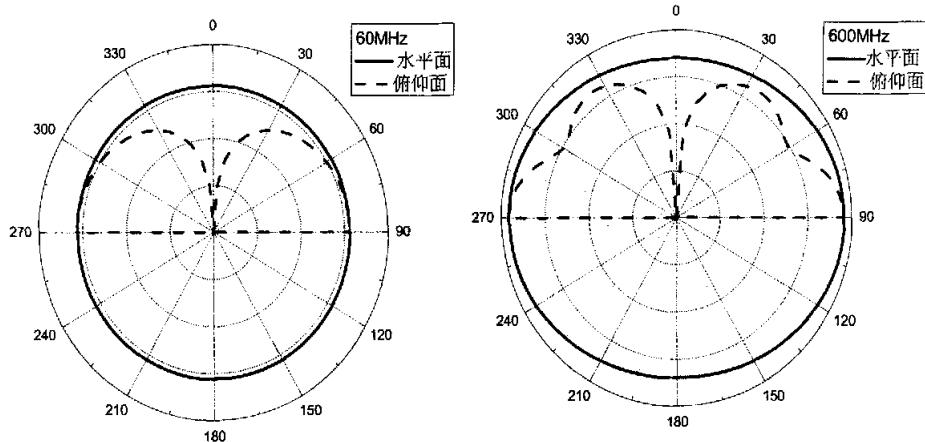


图4 天线方向图

分析。随着计算机技术的发展，近十年来学者们将遗传算法（GA）引入到加载天线的研究中^[4-5]。本文中天线的加载值也通过遗传算法来确定。遗传算法是一种高效全局搜索算法，具有较强的鲁棒性、通用性和可操作性。为了能够兼顾驻波与增益两方面的性能，可取目标函数为

$$F = -a_{VSWR} \sum_{i=1}^N \|VSWR(f_i) - VSWR^D(f_i)\| - a_G \sum_{i=1}^N \|G(f_i) - G^D(f_i)\| \quad (3)$$

其中 $\|\cdot\|$ 为范数， a_{VSWR} 、 a_G 为权重。而天线的增益可以表示为

$$G = \eta D (1 - |\Gamma|^2) = \eta D \frac{4 \cdot VSWR}{(VSWR + 1)^2} \quad (4)$$

式中 η 是天线的效率， D 是天线的方向系数， Γ 是端口的反射系数。

2 计算与测试结果

通过遗传算法的优化，选择所加载的元件值为 160Ω 、 $0.22\mu H$ 、 $1.5pF$ 。为了易于加工，将天线制成图1所示的印刷电路板形式，并使用HP8714ET矢量网络分析仪对天线进行了测量，结果示于图2。从图中可以看出测试结果与计算结果基本一致，天线的谐振频率在100MHz附近。由于测试条件的限制，在测试频率的高端，存在一定的偏差。图3给出了该天线的增益，由于在天线中加载了阻性元件，使得天线的损耗增大，增益降低。图4给出了天线的方向图。从图中可以看出该天线在工作频段内

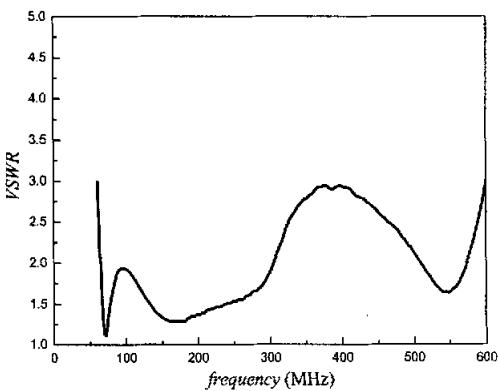


图5 匹配以后的驻波比

有良好的全向性，在频率高端，俯仰面方向图开始分裂，这是由于在频率高端天线已不再是电小天线的缘故。

由于电小天线的端口反射系数很大（如图2所示），因此必须接匹配电路。这里采用了文献[4]中的匹配电路形式，电路中的元件值同样通过遗传算法确定。通过匹配后，天线的电压驻波比得到了明显的改善，可以在60MHz~600MHz的频段内使驻波比低于3，如图5所示。

3 结论

本文将加载技术与平面锥形天线相结合，研究了一种宽带电小天线，并制作了实物模型进行测试。这种天线在60~600MHz的频段内驻波可以达到3以下，但是由于采用了电阻加载，使天线的增益较低。进一步的研究可以改变天线的加载位置，以期望得到更好的特性。

参考文献

- [1] H. A. Wheeler, Fundamental limitations of small antennas [J]. Proceedings of the IRE, 1947 ,12 (35): 1479 - 1484.
- [2] Schelkunoff S A. General theory of symmetric biconical antennas [J]. J Appl Phys , 1951 , 22 (11) : 1330~1332
- [3] 王琪, 阮成礼, 王洪裕, 电小平面型单极子天线阻抗特性的研究[J], 微波学报, 2002, 20 (2) : 59~61
- [4] Alona Boag, Amir Boag, Eric Michielssen, Raj Mittra, Design of Electrically Loaded Wire Antennas Using Genetic Algorithms [J], IEEE Tran. A&P, May 1996, 44(5): 687~695
- [5] Edward E. Altshuler, Electrically Small Self-Resonant Wire Antennas Optimized Using a Genetic Algorithm [J], IEEE Tran. A &P, , Mar. 2002 ,50(3): 297~300

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>