

短波天线的宽带化与小型化的研究

刘扬

(杭州电子科技大学 电子信息学院 浙江 杭州 310018)

摘要: 研究在无限大地面上折叠单极子天线的宽带化与小型化的研究与设计。提出一种全新的设计方法,采用MATLAB、FEKO、ADS3种软件混合优化仿真;利用遗传算法对天线进行加载优化,使用ADS对匹配网络进行优化。根据此方法,设计一副工作在2~30MHz的宽带折叠单极子加载天线,在整个带宽内驻波比小于3,在5~30MHz其增益大于-15dB。

关键词： 折叠单极子天线；MATLAB；FEKO；ADS；加载；匹配网络；遗传算法

中图分类号: TN401 文献标识码: A 文章编号: 1671-7597(2010)1120078-02

0引言

随着电子通信技术的发展，虽然出现了各种低轮廓、重量轻和易共形的各种微带天线[1]，但是，单极子天线凭借着以结构简单且能够以较小的发射功率进行远距离的短波通信的优势，依然成为短波通信中重要的终端设备。然而，由于传统的单极子天线在较低的工作频段下，物理尺寸相对较大，带宽相对较窄成为其宽带通信的瓶颈，因此对于研究天线的小型化与宽带化有着极其重要的现实意义[2]。文献[3~5]对宽带偶、单极子天线做了研究，其结果表明，使用各种集总元件加载以及匹配网络[6]可以很好的展宽天线带宽，并且可以减小天线尺寸。本文采用了一种全新的方法来对加载天线和匹配网络进行仿真和优化，使用MATLAB、FEKO、ADS3种软件对加载和匹配进行优化计算，利用全局搜索的遗传算法对各个参数进行优化。

1 應用算子簡介

遗传算法[7]是近几年发展起来的一种崭新的全局优化算法。最早是由J. H. Holland教授提出，该算法借用了仿真生物遗传学和自然选择机理，通过自然选择、遗传、变异等作用机制，实现各个个体的适应性的提高，从而实现自适应全局优化搜索算法。该算法，在电磁场工程问题中尤其在天线设计中，其寻优解要得到一个全局的最优值，而不是一个局部最优解，全局优化技术往往能发现局部优化技术所不能发现的解。遗传算法正是一个寻找全局最优解的最佳算法。

2 向题分析

本文以无限大地面上的折叠单极子天线为模型,如图1所示天线高度为H,两臂之间的距离为ds,类似于折叠偶极子,此时其谐振频率大约是 $c_0/(4H+2ds)$ MHz。该天线分三段加载,其中并联RLC在天线右臂底部与地相连,另外两个分别在天线两臂加载,加载高度为H1、H2,加载形式为RC并联。匹配网络采用无耗的集总元件和阻抗变换器。此时得到加载位置和元件值几个变量的参数,通过对这些参数的优化可以实现天线的带宽匹配以及小型化的要求。

匹配网络采用的是如图2所示具体的形式。

为了使天线的驻波比、效率、增益在要求的频段内同时满足多项指标的要求，采用了遗传算法对加载天线进行优化。其优化目标函数为如式(1)所示：

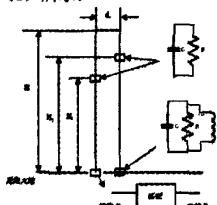


图1 天线模型

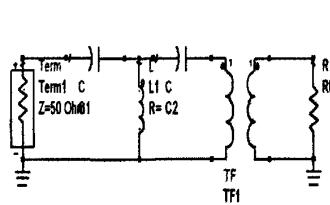


图2 匹配网络

$$\text{Fitness} = \sum_{f_i} (\text{VSWR}(f_i) - \text{VSWR}_0)^2 + \sum_{\eta_i} (\eta(f_i) - \eta_0)^2 + \sum_{G_i} (G(f_i) - G_0)^2 \quad (1)$$

$$u(x, y) = \begin{cases} (x - y)^2, & x < y \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

$$v(x, y) = \begin{cases} (x - y)^2, & x > y \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

其中VSWRo、 η_0 、 G_0 为设定的优化目标， f_i 为选择的频率点，对于驻波比其目标函数选择v函数，效率和增益函数选择使用u函数。显然当目标函数等于0时，那么驻波比、效率、增益都将满足各个指标要求。

3 设计案例

按照上述思路设计编制了优化计算程序。设计了一副工作频率在2~30MHz的全向宽带折叠单极子天线。取天线高度 $H=6m$, $ds=0.2m$, 天线半径为0.002m, 此时整个天线的谐振频率大约为11.36MHz。对于RC加载位置范围(0, 6)m, 对于天线上的加载元件的取值范围分别为: $0 < R < 1000 \Omega$ 、 $0 < L < 100 \mu H$ 、 $0 < C < 100 pF$ 。对于匹配网络其元件取值范围分别为: $0 < L < 100 \mu H$ 、 $0 < C < 100 nF$ 、阻抗变换器 $0 < T < 1$ 。经过优化后, 左侧加载距地面(即H1)为5.2636m, 对应的RC为62.175 2Ω、1.0074s 11F; 右侧加载距地面(即H2)为1.949 6m, 对应的RC为344.833-8Ω、1.2976s 11F, 右侧底端的RLC为618.036 3Ω、4.861-3e-12F、1.5435e 5H。优化后匹配网络后的各个元件分别为: $C1=3nF$ 、 $C2=4.856nF$ 、 $L1=10.075 \mu H$ 、线圈匝数比 $T=0.35$ 。

天线在未加载、加载集总元件以及匹配后的驻波比示意图，如图3。

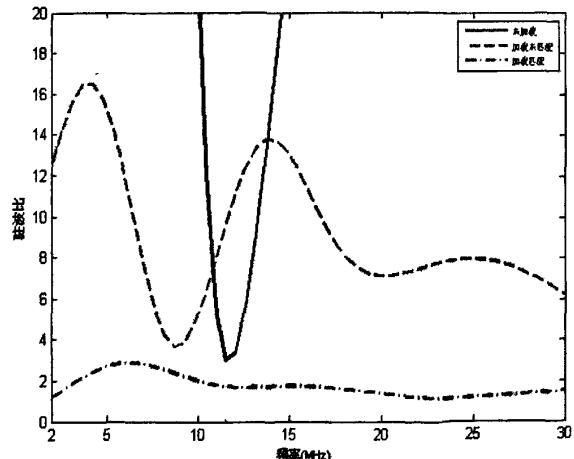


图3 未加载、加载未匹配、加载匹配驻波比图

由图3中可以看出虽然在未加载时出现了一处的谐振点，但是其带宽

很窄，加载集总元件后，驻波比变得相对较为平缓，加入匹配网络，驻波比基本都在3以下。从图4、图5中可以看出天线的输入阻抗的变化，加载以及匹配网络可以与 50Ω 的馈线更好的匹配。

天线的增益仿真结果曲线图，如图6所示，由图6所示可以看出，加载使得天线的增益减少，但是天线的带宽有所展宽，天线的效率示意图如图7所示。

天线在频率低端时，效率比较低，尤其在2~5MHz，其效率低于3%，这是由于天线的高度相对于 $\lambda_{max}=150m$ (2MHz) 约为4%，并且加载元件的使用，使其在低端频段的辐射效率较低，从而增益也很低。

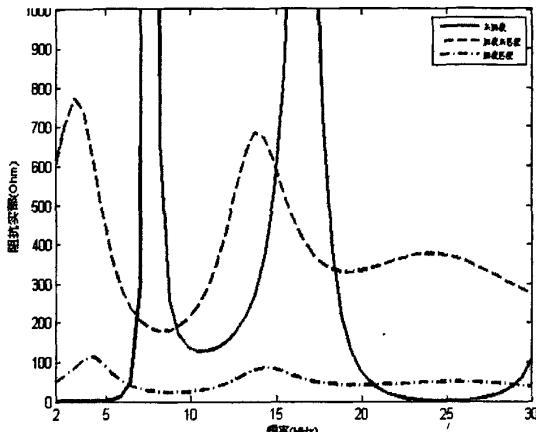


图4 天线输入阻抗的实部

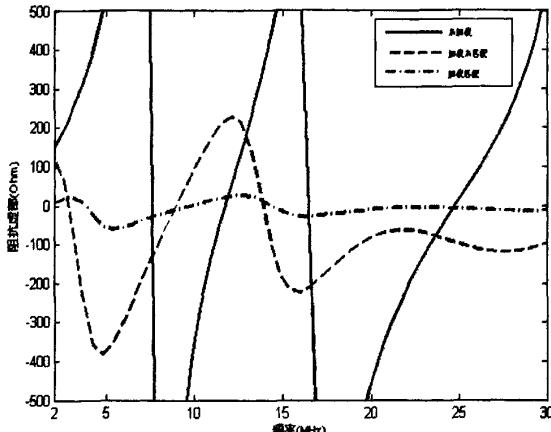


图5 天线输入阻抗虚部

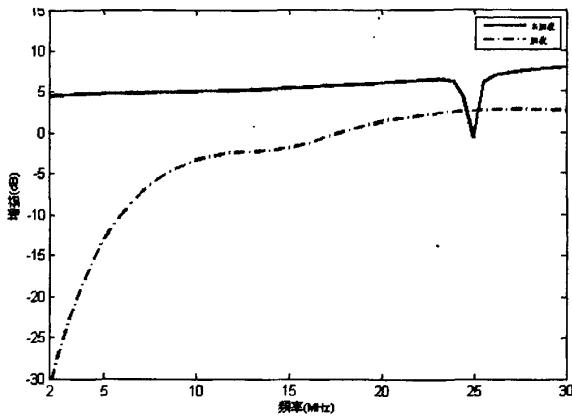


图6 加载前后的增益图

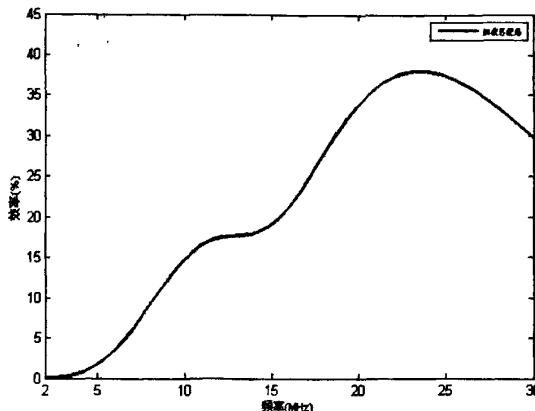


图7 加载后的效率图

加载匹配后的方向图，如图8所示，加载后的方向图在高频段有些畸变，但基本还是在水平方向上为最大辐射。

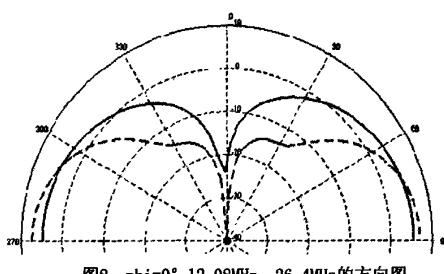


图8 $\phi=0$ 12.08MHz、26.4MHz的方向图

4 结论

利用MATLAB分别调用FEKO、ADS两个电磁、电路仿真软件，实现了对加载天线的电磁仿真以及对匹配网络的电路仿真，借鉴了遗传算法在全局进行搜索优化的思想，本例中的天线的高度约为 $0.04\lambda_{max}$ ($\lambda_{max}=150m$)，其频段覆盖到了短波通信频段(2MHz~30MHz)，驻波比小于3。本例是建立在理想导体以及无限大地的基础上的，未考虑导体以及集总元件有损耗的情况，这个也是未来需要改进的地方，但是该方法简单、实用，在工程上对于宽带加载天线的设计优化有一定的借鉴意义。

参考文献：

- [1] Veerresh G Kasabegoudar K J. A wideband microstrip antenna with symmetric radiation patterns[J]. Microwave Optical Technology Letters, 2008, 50(8): 1991-1995.
- [2] Schantz H G. A brief history of UWB antennas[J]. Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2004, 19(4):22-26.
- [3] Altshuler E. The traveling-wave linear antenna[J]. Antennas and Propagation, IRE Transactions on, 1961, 9(4):324-329.
- [4] Wu T and R. W P King. The cylindrical antenna with nonreflecting resistive loading[J]. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 1965, 13(6):998-998.
- [5] Rogers, S. D. ; Butler, C. M. ; Martin, A. Q. . Design and realization of GA-optimized wire monopole and matching network with 20:1 bandwidth[J]. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 2003, 51(3):493-502.
- [6] 王元坤、李玉权，线天线的宽频带技术[M]. 西安：西安电子科技大学出版社，1998:141-193
- [7] 雷英杰、张善文、李续武等，MATLAB遗传算法工具箱及应用[M]. 西安：西安电子科技大学出版社，2005:1-94.

作者简介：

刘扬 (1985-)，男，河南安阳，硕士，研究方向：天线与微波电路。

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>