

# 嵌入匹配网络的电小天线的优化设计

李思敏<sup>1</sup>, 姜 兴<sup>1</sup>, 苏光杰<sup>1</sup>, 林为干<sup>2</sup>

(1. 桂林电子工业学院电子工程系, 广西桂林 541004 2. 电子科技大学应用物理研究所, 四川成都 610054)

**摘 要:** 本文提出一种把电感级联网络嵌入多偶极子电小天线中, 用来展宽偶极子电小天线的阻抗特性的天线模型和网络参数综合的方法. 由于在电小天线阻抗计算中, 存在着较大的误差, 影响匹配网络参数设计准确度, 本文依据多端口阻抗测试的结果, 采用随机优化方法, 综合出电感级联网络的参数, 最终参数综合计算的结果与实验的结果相当吻合, 验证了这种方法的有效性.

**关键词:** 多偶极子电小天线; 优化; 综合; 匹配网络

**中图分类号:** TN80 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2002)09-1393-03

## Optimizing Design of Electric Small Antenna Embedded Matched Network

LI Si-min<sup>1</sup>, JIANG Xin<sup>1</sup>, SU Guang-jie<sup>1</sup>, LIN Wei-gan<sup>2</sup>

(1. Dept. of Electronic Engineering, Guilin Institute of Electronic Technology, Guilin, Guangxi 541004, China;

2. Inst. of Applied Physics, UEST of China Chengdu, Chengdu, Sichuan 610054, China)

**Abstract:** Both the electrically small multiple dipoles model with embedded cascade inductor network and the network synthetic method are offered proposals for expanding the impedance bandwidth of electrically small antenna. Because of the results of sort deduced from the impedance of computing model of small antenna to guarantee the precision of synthesizing components of cascaded inductor network, the random optimizing method based on the measuring data of the impedance on multiple port has been employed for synthesizing the parameters of embedded match network. Good agreements are obtained between synthesizing and experimental results, and the proposed method is verified.

**Key words:** multiple small dipole; optimizing; synthesis; matched network

### 1 引言

采用多偶极子天线模型, 展宽电小天线的阻抗工作带宽是目前电小天线领域内的一项主要研究内容. Alona Boag 借助于遗传算法实现了对加载多偶极子天线与匹配网络全局优化<sup>[1]</sup>, 解决了短波频段内天线高度为 12 米的加载双鞭天线阻抗匹配问题, 同时改善了天线的效率, 这是迄今为止, 报道的效率最高、尺寸相对较小的短波天线. 文献<sup>[2]</sup>对遗传优化算法在电磁学中应用的成果给出了较为全面的总结. 这些研究从最终获得的天线性能上, 显示了多偶极子天线模型具有提高电小天线辐射性能的特性, 但未能进一步揭示多偶极子天线模型在提高天线效率方面存在的潜在能力. 目前人们在光带隙材料的框架下<sup>[3]</sup>, 深入开展对传统的微波周期结构研究, 期待能够找到体积小、效率高的滤波器和天线模型. 在本文中, 借鉴于光带隙结构模型的思想, 我们把如图 2 所示的双鞭天线模型近似视为周期结构的一个单元节, 由于电偶极子小天线呈现容性电抗, 我们在天线中嵌入一如图 3 所示的级联电

感网络. 借助于优化的方法综合出级联网络的参数, 即可在很宽的频段内, 实现对多偶极子电小天线的匹配. 在我们提出的模型中, 由于未对天线实施阻抗加载, 在天线辐射效率中无须考虑加载损耗的影响, 而在流行的宽带电小天线中, 这是主要的损耗项. 因此该天线模型保持了较高的辐射效率. 本文研究结果表明, 可以用较为系统的方法为多偶极子天线模型设计出嵌入式结构的宽带匹配网络, 使天线在保持较小天线尺寸的同时, 获得较高的天线辐射效率.

### 2 多偶极子天线模型

由传统的偶极子电小天线系统匹配设计的基本方法, 首先是依据计算选择合适的天线模型, 然后通过测试获得天线输入阻抗数据, 最终设计出匹配网络. 偶极子天线的等效电路如图 1(a)所示(见文献[4]), 在低频端时, 偶极子电小天线的输入阻抗近似地等效为一个小电阻  $R$  与一个小电容  $C$  的串联(见图 1(b)). 通常定义  $\delta = R\omega_L C / \omega_L$  为工作频段低端的

角频率)作为高通型匹配网络实现阻抗匹配的特性参数<sup>[5]</sup>,当 $\delta > 0.22$ 时,利用四阶高通型匹配网络,可以实现电压驻波比(VSWR)小于3.0.当特性参数 $\delta$ 太小时,通过对天线加载,或增加天线尺寸,把特性参数提高合适的数值,例如要满足VSWR小于3的匹配要求时,特性参数需要大于0.22.应用这种传统的方法设计的天线,无论是加载的结构,还是匹配网络的拓扑结构几乎都是相同的,为适应工作频段的要求,需要确定的是具体的元件参数,即使是像文献[1]那样使用了遗传算法来优化天线加载和匹配网络元件参数,总的基本结构都不会有太大变化.这是由于偶极子电小天线的输入阻抗,在使用频段的高端,其电抗分量相对于电阻分量要小得多,因此人们很自然地选择高通型匹配网络,在频段的低端匹配天线阻抗<sup>[1,2]</sup>,而在频段的高端,插入的高通型匹配网络几乎不影响加载偶极子天线自身所呈现的阻抗特性,从而达到实现偶极子电小天线宽带匹配的目的.

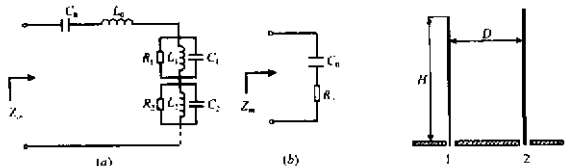


图1 (a) 偶极子天线的等效电路 (b) 电小天线在低频端的等效电路

当使用多偶极子天线来实现宽带电小天线时,高通型匹配网络就不是唯一的选择.在本文中,我们引入一种在多偶极子小天线中嵌入级联电感网络的天线模型.该天线可以获得极大的阻抗工作带宽.在该天线系统中,由于未对天线进行损耗加载,原则上讲,我们可以获得该偶极子天线系统最大的辐射效率.

图2是安装在金属导体平面上的两根鞭天线,未嵌入匹配网络时,可以把该天线系统视为一个二端口网络,如图3所示,其二端口散射参数为该天线系统的两个输入端口上的散射参数.当嵌入电感级联网络后,即得到一种周期结构的天线.可以把这样的单元节做多次级联,这里我们只选用两个单元节,这样天线系统无论是横向尺寸还是纵向尺寸都不会很大.下面,我们结合天线具体的指标和几何参数,介绍是这种天线的系统设计方法.

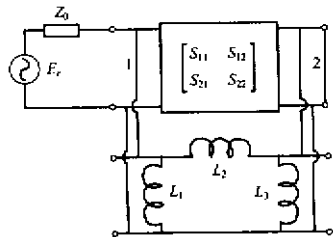


图3 多偶极子小天线阻抗匹配电路原理图.  $L_1 = 60\text{nH}$ ,  $L_2 = 108\text{nH}$ .

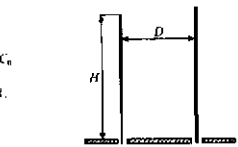


图2 多偶极子天线示意图, 天线高度  $H = 20\text{cm}$ , 间距  $D = 4\text{cm}$ , 导线半径  $a = 1\text{mm}$

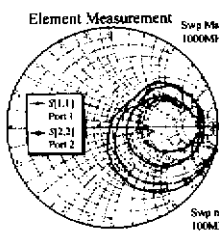


图4 多偶极子小天线端口阻抗特性

### 3 天线设计方法与试验结果

由于某些特定环境的需要,通常会依据应用的场合给出电小天线的极限尺寸与波长的关系.在此,将天线的高度定为 $0.1\lambda_{\text{max}}$ ,横向尺寸定为 $0.02\lambda_{\text{max}}$ .所研究的频率范围为150MHz~1000MHz,在的最低频率点上,双鞭天线两单元相应的高度均为20cm,偶极子天线的间距为4cm.作为设计的第一步,我们首先要得到图2所示的天线系统在端口上的阻抗随频率变化的特性.要得到天线端口的阻抗变化特性,可利用数值计算和实际测试两种方法.当利用数值计算的方法时,在频段的低端,由于环境的影响,理论计算的结果与实际的结果会有很大的误差,而这会大大地影响特性参数,从而影响匹配网络的参数.我们的经验是,当天线高度低于 $0.1\lambda$ ,计算的特性参数 $\delta$ 基本上都会偏离100%.因此这里我们选择实际测试的方法,以保证天线端口阻抗特性的准确性.我们利用HP8719D矢量网络分析仪对图2所示的天线系统进行了测试,图4为测试所得到的天线端口上的反射特性,它显示出电小天线典型的阻抗特性.当频率时 $f = 150\text{MHz}$ 时, $\delta \approx 0.08$ ,依据文献[5],在可匹配的通带内,最大的失配损耗为4.2dB.当我们使用图3所示的级联电感网络对其匹配时,利用优化后的网络参数,多偶极子天线系统可在1:6的倍频程内实现VSWR<3.0的匹配,如图5所示.

设计的第二步,是对图3所示的电路,使用优化方法来综合匹配网络各元件的参数值,我们使用的是Microwave Office平台提供的随机优化方法,在该平台中,还有诸如遗传算法和共轭梯度法等方法.相比较而言,随机优化方法能够提供一致的收敛结果.图3中给出了经过优化得到的电感值,串联电感 $L_2$ 是用特性阻抗为83欧姆高阻抗传输线来实现,电感 $L_1$ 和 $L_2$ 由集总参数实现.从原理上讲,这是一种低通型的匹配方法,在低频时,每一单元天线工作在频段中相对较窄的带宽内,如图2中的振子1在整个工作频段内的高端起作用,而振子2在相对的频段低端起作用,从而使天线系统可以工作在很宽的频带内.对于这样的结构,目前被流行地称之为光带隙结构,由于天线尺寸的限制,这里只使用了一周期节.这种新的匹配方法的价值是,可以在保持天线较高辐射效率的同时,实现电小天线的宽带匹配.

图5是天线在150~1000MHz的工作频带内,天线输入端回波损耗计算与实验测试比较的结果,从图中看到,在频率150MHz~750MHz的范围内,理论计算与实验结果吻合得相当好,在750MHz~

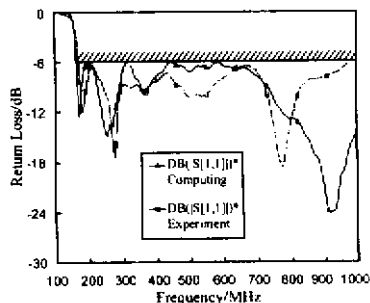


图5 天线端口处回波损耗比较结果  
1000MHz的频率范围内,天线输入端回波损耗的理论计算与实测结果有一些误差,这主要由于在高频端,天线的输入阻抗对馈电处的结构形状就非常敏感,虽然在该频率范围内有一

定的误差,但此时其回波损耗均在小于  $-6\text{dB}$  的范围之内,达到了通常宽带天线的设计要求.

## 4 结论

我们系统地提出了一种利用多偶极子小天线,实现宽带工作的小天线新模型.从计算与实验两个方面结果看,理论与实验的结果相当吻合,由于未采用加载技术,这种新型小天线没有附加的损耗,保持了其最大的辐射效率.关于该天线模型,在  $1\text{GHz}$  工作频段以上,采用电抗性加载稳定天线方向图等进一步研究工作仍在进行之中.

### 参考文献:

- [ 1 ] Alona Boag ,Amir Boag ,etc. Design of electrically loaded wire antennas using genetic algorithms[ J ]. IEEE Trans Antennas Propagat ,1996 ,44 ( 5 ) 687 – 695 .
- [ 2 ] Daniel S Weil ,Eric Michielssen. Genetic algorithm optimization applied to electromagnetics :a review[ J ]. IEEE Trans Antenna Propagat ,1997 , 45 ( 3 ) 343 – 353 .

- [ 3 ] R D Meade ,A M Rappe ,K D Brommer ,J D Joannopoulos ,O L Alerhand. Accurate theoretical analysis of photonic band-gap materials[ J ]. Phys Rev B ,1993 ,48 ( 11 ) 8434 – 8437 .
- [ 4 ] K Rambabu ,M Ramesh ,A T Kalghatgi. Broadband equivalent circuit of a dipole antenna[ J ]. IEE Proc – Microw Antennas Propag ,1999 ,146 ( 6 ) .
- [ 5 ] George L Matthaei ,Leo Young ,E M T. Jones. Microwave Filters , Impedance-Match Networks ,and Coupling Structures[ M ]. New York : Artech House Books ,1980 .

### 作者简介:

李思敏 男,1963 年 9 月出生于江苏省苏州市,现任桂林电子工业学院教授,中国电子学会高级会员.感兴趣的领域:电磁场理论、天线设计与理论等.

姜 兴 女,1962 年 4 月出生于河北省邢台市,现为桂林电子工业学院副教授,主要从事微波技术、天线等科研和教学工作.

苏光杰 男,1973 年 12 月生于广西玉林,现任桂林电子工业学院讲师,主要从事电磁场、天线的教学和科研工作.

## 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](http://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](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、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](http://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>