

# 一种参数可调的八木天线的设计\*

于 臻 华北科技学院电子信息工程学院讲师北京邮电大学在读博士  
冉小英 华北科技学院电子信息工程学院讲师

**摘要:**在对传统八木天线分析的基础上,为提高天线使用的灵活性和工作带宽,设计了一种以 2.4 GHz 为中心工作频率的参数可变的 18 单元八木天线。设计过程中利用 VB 软件设计了一款天线计算器,方便了天线尺寸参数的计算和优化调整,还使用 HFSS 软件搭建天线的模型,并对其中一种参数方案进行仿真优化。测量结果表明:在 2.3 GHz~2.5 GHz 频率范围内,天线方向图较好,与仿真结果较为吻合,天线输入端电压驻波比和回波损耗较为理想。

**关键词:**八木天线,天线计算器, HFSS 仿真,性能测试

**Abstract:** In order to increase the flexibility and the bandwidth, this paper presents a parameters adjustable Yagi-Uda antenna with 18 units that operate at the center frequency 2.4GHz on the basis of theoretical analysis of traditional Yagi-Uda antennas. An antenna calculator with Visual Basic software is designed to calculate and adjust the parameters. Using the HFSS software is used to construct, simulate and optimize the antenna model for a kind of scenario as well. Measured results show that the antenna has a good characteristic with symmetrical beam width, broad impedance bandwidth, little number of side lobes and voltage standing wave ratio and echo loss are relatively ideal in 2.3GHz~2.5GHz frequency range, which agree well with simulated results.

**Key Words:** Yagi-Uda antenna, antenna calculator, HFSS simulation, performance testing

八木天线是一种常用的天线形式,属于端射式天线,具有慢波天线特性,具有较好的方向性和增益。由于其结构简单、造价低廉,在 HF、VHF 以及 UHF 波段得到广泛应用<sup>[1]</sup>。虽问世很早,但由于八木天线振子单元各项电气指标精确的理论计算与分析是很复杂的,难以用显式的数学表达式描述,因此其严格的理论设计几乎不可能。工程设计上通常采用近似方法设计,设计手段以各种仿真分析和优化方法为主<sup>[2-6]</sup>。

传统的八木天线结构固定,天线电性能无法进行调整,工作频带较窄。本文设计了一种几何参数可调整的八木天线,采用细铜线作为振子,振子间距在支架上可动态调整,使用起来比较灵活;另外,带宽得到了扩展,在 2.3 GHz~2.5 GHz 的 200 MHz 频率范围内天线有着较好的方向特性和阻抗特性。

## 1 八木天线的工作原理和参数估计

### 1.1 工作原理

通常,八木天线由一个有源振子、一个反射器和若干个引向振子(又称引向器)组成,相比之下反射器最长,引

\* 基金项目:华北科技学院《基于 PNA3621 型网络分析仪的天线系统的设计与开发》(项目编号:2011B04);华北科技学院教育科学研究项目:《天线与电波传播实验室虚拟仿真平台的研究》(项目编号:ZD10-15)。

向器都较短,全部振子加起来的数目即为天线的单元数,如图1所示。通过调整引向器的间距可以改变天线的电特性。

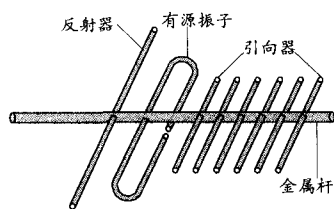


图1 八木天线结构

八木天线的增益与轴向长度、单元数目、振子长度及间距密切相关。轴向越长,引向器越多,方向性越好,增益越高,作用距离越远。但引向器过多,改善效果就不太明显了,而体积、重量、制作成本则会增加,对于高增益的要求,可采用天线阵的办法加以解决<sup>[7]</sup>。

一般来说,反射器的长度及与主振子的间距对天线增益影响不大,而对前后辐射比和输入阻抗却有较大的影响。反射器较长或间距较小可有效地抑制后向辐射,但输入阻抗较低,难以与馈线良好匹配,因而要采取折衷措施。对某些前后辐射比要求较高的使用场合,可以在与天线平面垂直方向上上下下安装两个反射器,或者采用反射网的形式。若想改善天线的高频端特性,可调短引向器的长度。多元八木天线中引向器的长度和间距可以相等也可不等,从而分成均匀结构和不均匀结构两种形式,其中,不均匀结构的引向器,离主振子越远长度越短,间隔越大,使得工作频带向高频端方向拓展,调整起来相对灵活。

八木天线是一种互耦起决定作用的天线,各个振子的长度及其间距的变化对天线的性能都有影响,鉴于优化目标(增益、副瓣电平、阻抗、波瓣宽度等)和优化参数(各个振子长度、间距和半径等)众多,设计中根据实际工程经验给出需要优化的各个参数的变化范围。

## 1.2 参数估计

(1)方向系数。可用式(1)近似估计,其中, $L$ 为

天线的总长度。

$$D \approx 10 \frac{L}{\lambda} \quad (1)$$

(2)主瓣宽度。可用式(2)近似估计。

$$2\theta_{0.5} \approx 55^\circ \sqrt{L/\lambda} \quad (2)$$

式(2)得到的主瓣宽度是两个主平面上波瓣宽度的平均值。一般情况下,E面的主瓣宽度比H面的宽度要稍窄些。

(3)输入阻抗。无源振子对有源振子输入阻抗的影响有两个方面:

- 阻抗值下降。无源振子较大的时候,半波有源振子的输入阻抗由  $73\Omega$  下降到  $15\sim 20\Omega$  左右,很难与常用同轴线(特性阻抗为  $50\Omega$  或  $75\Omega$ ) 直接匹配,为此须设法提高有源振子的输入阻抗。

- 工作频带变窄。对称振子本身的工作频带较窄,再加上若干个无源振子的影响,使其频率特性更差。

(4)引向器间距。可从方向性和阻抗特性两方面考虑。在振子数一定的情况下,间距增加,可在一定程度上提高增益,但当  $d > 0.4\lambda$  后,增益开始下降,但第一引向器和主振子的间距应略小于其它间距,增益将会有所提高;若要降低天线旁瓣电平,振子距离可取得小一些,但间距过小,有源振子的输入阻抗会变得很小且随频率变化剧烈,不便于和馈线匹配,从而减小工作带宽,一般间距不要小于  $0.1\lambda$ 。综上所述,各引向器之间的距离  $d$  为  $0.1\sim 0.4\lambda$ 。

(5)反射器与有源振子的间距。一般反射器与有源振子之间的距离  $d$  为  $0.15\sim 0.23\lambda$ 。此间距主要影响八木天线的前后场强比和输入阻抗。当  $d$  为  $0.15\sim 0.17\lambda$  时,前后比较高,但天线的输入阻抗小,约  $15\sim 20\Omega$ ;当  $d$  为  $0.2\sim 0.23\lambda$  时,前后比较低,但天线输入阻抗大,约为  $50\sim 60\Omega$ ,易与同轴电缆匹配。

(6)引向器长度。引向器长度的选择有两种方案。一种是各引向器等长度,约取  $0.38\sim 0.44\lambda$ ,优点是加工和调整较为容易,但频带较窄;另一种是各引向器长度随序号增加由长到短渐变。先取第一根引向器长度为  $0.46\lambda$ ,以后的引向器长度则按  $2\%\sim 3\%$

的缩短系数递减,单元数目愈多,引向器的最佳长度也就愈短,如果要求工作频段较宽,引向器的长度应取得短些。优点是频带稍宽,但调试、加工麻烦。设计中往往采用第一种方案。

(7)反射器长度。其长度一般取  $0.5-0.55\lambda$ ,不能短于设计最低频率相应的  $1/2\lambda$ 。

(8)无源振子半径。根据八木天线通频带要求确定,通常取  $1/500-1/80\lambda$ 。

(9)有源振子的形式和尺寸。可选单根半波振子或折合振子,长度取  $0.475\lambda$ 。振子越粗,长度可短一些<sup>[8-9]</sup>。

### 1.3 天线计算器的设计

由于八木天线涉及较多的参数,为了使天线几何尺寸的确定更加快捷、方便,根据天线的工作频率与天线振子长度和间距的关系,利用 Visual Basic 软件编写设计了一个八木天线交互计算软件<sup>[10-11]</sup>。当输入天线的中心工作频率后,该软件可以立刻计算出各个振子的长度和振子的间距范围等几何参数,为后面的仿真优化及参数的确定提供参考。这里选择 2.4 GHz 为天线的中心工作频率,得到天线相关参数,包括反射器、引向器、有源振子的长度和各振子的间距,如图 2 所示。按清零按钮后可以清除当前的数据,重新输入天线的中心工作频率进行设计。

Yagi-Uda Antennas				输入频率 (MHz)	
				2400	
反射器	62.7675	18.75	20.75	引向器7	53.3062
主振子	61.64375	0		引向器8	52.7437
引向器1	57.89625	18.75	21.25	引向器9	51.62
引向器2	57.53125	30	22.5	引向器10	50.6825
引向器3	55.46	28.75	21.25	引向器11	50.495
引向器4	53.18	26.25	20.75	引向器12	50.7762
引向器5	53.77375	30	22.5		

注:以上尺寸单位为毫米(mm)

计算 清除 结构模型

当前时间: 13:11:05

图2 八木天线计算器计算结果

## 2 天线模型及性能仿真

根据设计好的参数,利用 Ansoft HFSS 软件建立

参数可调八木天线模型<sup>[12]</sup>,如图 3 所示。

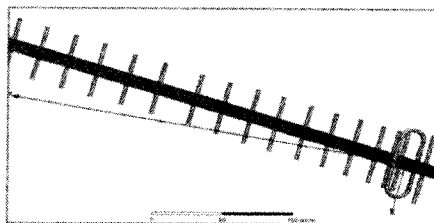


图3 参数可调八木天线模型

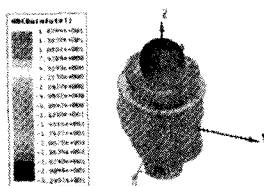
对以 2.4 GHz 为中心工作频率的 18 单元八木天线进行仿真。设置起始频率为 2 GHz,终止频率为 3 GHz,步长为 10 MHz,经过优化后,得到天线的立体的方向图和 E 面、H 面的方向图及天线输入端电压驻波比曲线。这里特别强调的是,由于天线引向振子的间距可调,鉴于篇幅所限,这里只给出了一种间距情况下的仿真结果,如图 4 所示。

由图 4 可得,该天线的增益为 16.744 dB。模型中有源振子采用折合振子,在增加了输入阻抗的同时,由于其横断面较大,两个窄边将产生辐射,从而使天线的增益下降,方向性变坏。天线输入端电压驻波比在 2.3 GHz-2.5 GHz 之间保持在 2 左右,且变化平缓。

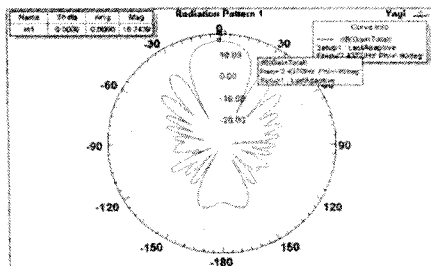
## 3 天线实物制作与测试

本设计中天线参数的可变调整,是通过改变天线相关几何参数来实现电参数的可变调整,以提高天线使用中的灵活性。对于八木天线,可通过两种方法实现参数可变:一是通过伸缩结构改变振子的长度,这种可伸缩振子的工艺比较复杂;二是通过支架上的滑动卡扣调整,改变振子的间距,这种方法实现起来比较方便。该天线设计中使用了第二种方案,即在塑料支架上打出不同间距的调整孔,实现振子间距的调整。

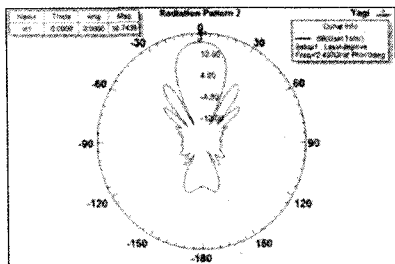
经过多次仿真优化,确定其中一种方案的天线尺寸如下:各振子均使用直径 2 mm 铜线,有源折合振子长度 41.6 mm,宽度 13.46 mm,振子圆弧半径 8.13 mm,反射器长度 60.5 mm,第 1-16 根引向器长



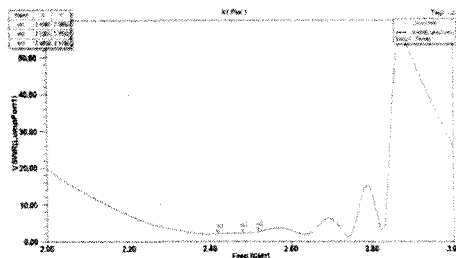
a)3D 方向图



b)E 面方向图



c)H 面方向图



d)天线输入端电压驻波比曲线

图 4 仿真结果

度依次为:51.3 mm、49.9 mm、49.2 mm、49.1 mm、47.6 mm、47.7 mm、47.8 mm、47.8 mm、45.5 mm、45.6 mm、45.1 mm、44.5 mm、44.7 mm、44.3 mm、44.1 mm、44.3 mm,如图 5 所示。

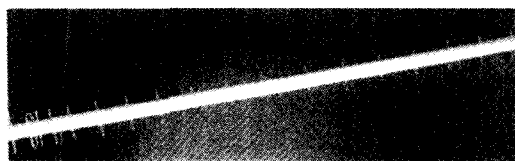


图 5 天线实物

可使用普纳公司 PNA3621 型矢量网络分析仪及测试平台对该天线进行测试。该设备采取旋转天线法可测试天线的增益和方向性:将待测天线固定于测试云台上,通过方向控制器控制天线在水平面内旋转 360 度,接收天线接收来自云台上发射天线的场强,经过处理后得到测试结果;采用电桥法可对天线的负载、回波损耗、驻波等反射特性进行测试。在网络分析仪表面板显示进度和结果的同时,利用串行接口与电脑连接,在电脑上可显示出测量的相关图形曲线和数据,并分别以“.BMP"和“.TXT"文件格式保存。测试中,频率范围为 2.3 GHz~2.5

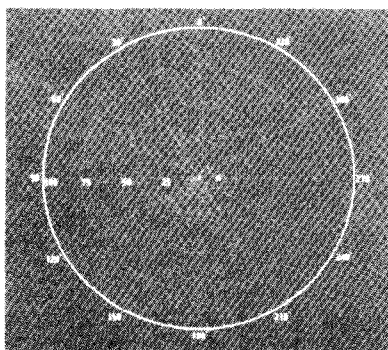
GHz,以 10 MHz 为间隔,共选取 21 个采样测试点,测得极坐标下的 E 面方向图和天线输入端电压驻波比及回波损耗曲线,如图 6 所示<sup>[13]</sup>。

由实测结果可以看出,八木天线的定向性非常好,其主瓣宽度为  $21^\circ$ ,旁瓣较小,方向图对称性比较好。方向图不平滑呈锯齿状是由于试验室的空间测试环境有限,造成电波多次反射后进入测试天线所致。在 200 MHz 测试频段内,电压驻波  $VSWR < 1.5$ ,回波损耗  $RL < -15$  dB,宽带性能较为理想。

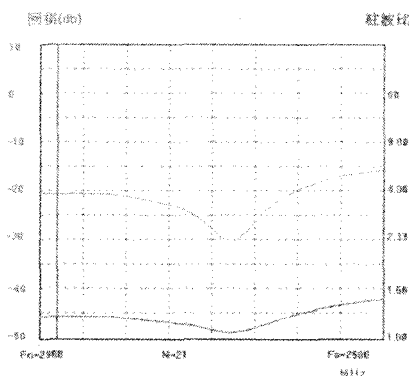
## 4 结论

本文创新点:本文针对八木天线的工作原理和参数估计进行了研究,设计了一种参数可变的八木天线。设计过程中利用 Visual Basic 软件编写的八木天线计算器,提高了设计精度和效率。

该计算器求出的天线尺寸范围为 Ansoft HFSS 电磁仿真软件搭建天线模型和仿真及优化提供了参考。由于天线振子的间距是可变的,在仿真和实物测试中针对其中一种参数方案进行了性能对比。制作



a) 天线 E 面方向图



b) 驻波比及回损测量值

图 6 天线测试结果

的天线采用塑料支架, 振子间距易于调整, 利用 PNA3621 型网络分析仪及测试平台进行了测试, 在 2.3 GHz ~ 2.5 GHz 的 200 MHz 带宽内, 实测结果与仿真图比较吻合, 效果比较理想。

**MSTT**

#### 参考文献

- [1] Kaneda, Deal W.R, QianYongxi. A broadband planar quasi-Yagi antenna [J]. Antennas and Propagation, IEEE Transactions, 2002, 50 (8): 1158-1160.
- [2] Davi Correia, Antonio J.M. Soares. Optimization of gain impedance and bandwidth in Yagi-Uda antennas using genetic Algorithm [J]. IEEE Mitimoc Proceedings, 1999(8): 41-44.
- [3] Yoshihiko Kuwanhara. Muhiobjective Optimization Design of Yagi-Uda Antenna [J]. IEEE Trans. Antennas Propagation, 2005, 53(6): 1984-1992.
- [4] Eric. A. Jones, William. T. Jones. Optimum Element Lengths for Yagi-Uda Arrays [J]. IEEE Antennas Propagation Magazine, 1997, 39:

1386-1391.

- [5] 尚飞, 冯拓宇, 王文生. 一种优化设计八木天线的新方法 [J]. 中国电子科学研究院学报. 2008. 10(5): 497-501.
- [6] 许海堤, 傅光. 一种八木天线的优化设计方法 [J]. 现代电子技术. 2003(22): 45-47
- [7] 约翰·克劳斯. 天线 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005. 2.
- [8] 宋铮, 张建华. 天线与电波传播 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003: 128-136.
- [9] 卢万锦. 天线理论与技术 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004: 80-83.
- [10] 龚沛曾, 陆慰民, 杨志强. Visual Basic 程序设计简明教程 (第二版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [11] 伍俊良. Visual Basic 课程设计与系统开发案例 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [12] 李明洋. HFSS 电磁仿真设计应用详解 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010. 5.
- [13] 南京普纳科技发展有限公司. PNA3621 矢量网络分析仪使用说明 (高校天线教学辅导实验书). 南京, 2008.

(上接第 26 页)

的空口速率会越来越大, 从而对基带信号处理时延的要求会越来越高, 原来的单线程的处理方法已经难以达到系统要求。因此, 如何提高基带信号的处理速度, 较低系统的处理时延成为了通信系统的一个关键问题。本文提出了一种基于 GPP 的使用 OpenMP 技术实现上行物理信道并行处理的方法。测试结果表明, 该方法方便有效地减少了处理时延, 取得了很好的效果, 达到了 LTE 系统对处理时延的要求。

**MSTT**

#### 参考文献

- [1] 英特尔亚太研发有限公司, 北京并行科技公司. 释放多核潜能: 英

特尔 Parallel studio 并行开发指南 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2010. 1-11.

- [2] 周淑贤. 基于 openmp 的多核程序设计 [J]. 科技信息, 2010(9): 78-79.
- [3] 英特尔亚太研发有限公司, 英特尔软件学院教材编写组. 多核多线程技术 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2011. 217-258.
- [4] Calvin Lin, Lawrence Snyder. 并行程序设计原理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009. 30-50.
- [5] 沈嘉, 索士强. 全海洋 3GPP 长期演进 (LTE) 技术原理与系统设计 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009, 43-123.
- [6] 3GPP TS 36.211 v8.6.0, 2009.03.
- [7] 3GPP TS 36.212 v8.6.0, 2009.03.
- [8] 3GPP TS 36.213 v8.6.0, 2009.03.

## 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>