

文章编号 1005-0388(2007)02-0251-04

短波小型接收天线设计

张 瑜¹ 方 辉¹ 李水清²

(1. 河南师范大学物理与信息工程学院, xxzhangyu01@sohu.com,
河南 新乡 453007; 2. 中国电波传播研究所, 河南 新乡 453003)

摘要 常用短波天线的尺寸一般较大, 不适用在舰艇、船只和山顶等特殊环境中使用。因此, 在不降低性能指标的条件下, 需要尽量减小短波天线的尺寸。为此, 设计了小型短波宽带有源鞭状天线。结果表明, 小型短波宽带有源鞭状天线的性能指标不小于常用的笼形天线, 且具有体积小、重量轻、抗毁性强、使用电压低等特点。

关键词 短波, 有源, 宽带, 鞭状, 天线

中图分类号 TN823.14 文献标识码 A

Design of compact shortwave receiving antenna

ZHANG Yu¹ FANG Hui¹ LI Shui-qing²

(1. College of Physics Information Engineering, xxzhangyu01@sohu.com,
Xinxiang Henan 453007, China; 2. China Research Institute of Radiowave
Propagation, Xinxiang Henan 453003, China)

Abstract Generally, the dimension of antenna at HF band is large that can be not applicable to the removable plantform. In order to reduce dimension of the antenna, a miniature broad band active fragellar antenna is designed in this paper. A prototype of the antenna is produced and its performance is tested. The result show that the antenna designed is of small dimension, light weight and low voltage, and its performance is better than or equivalent to the cage receiving antenna used in common.

Key words shortwave, active, broad band, fragellar, antenna

1 引言

短波(1~30MHz)通信系统具有小功率、不易被“摧毁”的中继系统(电离层)和远距离通信等特点, 因此不仅被广泛地应用于政府、外交、气象、商业等部门, 以实现语言、文字、图像、数据等信息的传输, 而且在军事部门, 始终是军事指挥的重要保障手段之一。

由于短波波长较长, 要满足一定的技术指标, 天线尺寸必须做得很大^[1]。这给天线的安装、运输等带来了许多不便, 也使天线成本大大提高, 使短波通

讯的应用受到一定的限制。如在舰船上使用时, 由于工作空间较小, 且处于移动状态, 较大结构的短波天线使用非常不方便。因此, 用户对短波天线提出了尺寸小、频带宽、辐射效率高、架设方便等小型化要求。为此, 设计了一种基于晶体管器件的小型有源短波宽带鞭状接收天线。

2 天线设计

2.1 设计思想

接收空间电磁波的天线需要具有一定的几何电尺寸。凡投射到这个几何电尺寸上的电磁波功率全

部被天线的负载所吸收,这一几何电尺寸被称为天线的有效几何电尺寸^[2]。

根据天线的有效几何电尺寸的物理意义可以得到:

$$A = \frac{P_{\max}}{S} \quad (1)$$

式中, A 为天线有效几何电尺寸; P_{\max} 为接收的最大功率; S 为功率密度。

根据天线理论^[2]可知, 有源天线总增益 G 为

$$G = G_1 G_2 \quad (2)$$

在天线效率为 1 的情况下, 有源接收天线是在天线根部接入一个匹配网络, 则天线有效几何电尺寸和天线增益之间有如下关系^[3]:

$$A_2 = \frac{\lambda^2}{4\pi} G = \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} G_1 \right) \cdot G_2 = A_1 \cdot G_2 \quad (3)$$

式中, A_1 为无源天线的有效几何电尺寸; A_2 为有源天线的有效几何电尺寸; G_1 为无源天线增益; G_2 为有源网络增益, λ 为工作波长。

由(3)式可知, 有源天线的有效几何电尺寸 A_2 是无源天线有效几何电尺寸的 G_2 倍。从理论上讲, 在保证一定的技术指标下, 可以通过提高有源网络增益 G_2 来相对缩小 A_1 , 从而使有源天线做得很小。加入有源网络后, 不仅可以相对提高天线增益, 并且也可实现天线的小型化。即用有源网络的增益来补偿无源天线因尺寸变小所造成的增益下降。

另外, 无源天线和具有高输入阻抗的有源网络相结合, 可以把无源天线作为恒压源来考虑, 能做到近似与频率无关, 从而使有源天线获得宽频带特性^[4]。

2.2 电路设计

在有源天线设计中, 用场效应管做共漏极形式的源极输出器 k_i , 实质上是功率放大器。其优点是温度稳定性高、抗辐射能力强、杂波小、输入阻抗高。输入回路在非常小的信号电流作用下, 就可实现对输出回路大的电流控制。有源天线设计原理图如图 1 所示。其中, R_T 为天线等效阻抗, R_i 为场效应管输入回路等效阻抗。

在设计中, $R_i \gg R_T$, 对于场效应管的输入回路 R_T , 感应的场强电压可等效为恒压源。当输入电压 $V_i = V_{i1} = V_{i2} = V_{i3}$ 时, 输出电压 $V_o = (I_1 + I_2 + I_3) R_o = 3IR_o$ 。因为 $I_1 = I_2 = I_3 = I$, 则输出功率 $P_o = 3I^2 R_o$ 。可以看出, 采用三个场效应管的输出功率比 1 个管子扩大了 3 倍。

源极跟随器的输出端是一线性网络, 输出幅频

特性实测值如图 2 所示。

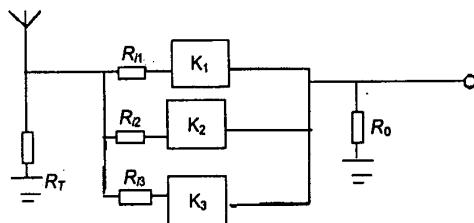


图 1 有源天线设计原理图

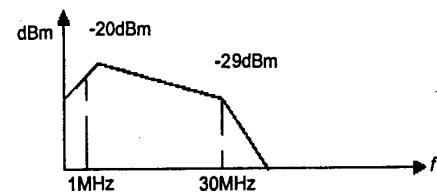


图 2 输出幅频特性

2.3 噪声控制

无源天线加入有源网络后, 虽然对信号有放大作用, 同时也放大了无源天线所接收的外来噪声, 并且网络本身还有附加噪声。一般来讲, 在天线设计时噪声或信号的绝对电平值的大小并不十分重要, 最重要的指标是信号与噪声的比值(信噪比)。只有用信噪比才能正确衡量通信质量的优劣。在设计时必须使有源天线系统的信噪比不小于无源天线系统的信噪比, 才能达到天性性能指标的要求。有源天线等效示意图如图 3 所示。

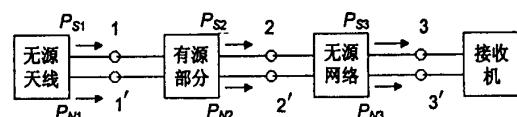


图 3 有源天线等效示意图

根据文献[5~7]可知, 图 3 的有源天线输入信噪比为

$$\left(\frac{P_{S1}}{P_{N1}} \right)_{1-1'} = \frac{P_{S1}}{KBT_A} \quad (4)$$

这样

$$\left(\frac{P_{S2}}{P_{N2}} \right)_{2-2'} = \frac{P_{S1}}{KBT_A + KBT_T} \quad (5)$$

$$T_T = \frac{1}{3} T_{r1} + \frac{1}{3} T_{r2} + \frac{1}{3} T_{r3} = \frac{1}{3} T_{r3} \quad (6)$$

$$\left(\frac{P_{S3}}{P_{N3}} \right)_{3-3'} = [nP_{S1}] / [n(KBT_A) + KBT_T +$$

$$n[(KB) \frac{T_o}{3G}] + (KB) \frac{T_R}{3G}] \quad (7)$$

式中, P_{Si} 为信号功率; P_{Ni} 为噪声功率; K 为波尔兹曼常数; B 为噪声频带宽度 Hz, 它取决于负载或网络的通频带; T_A 为外部环境噪声温度; T_T 为晶体管的噪声温度; n 为无源网络的效率; T_0 为工作环境温度(一般取 290°K); G 为单个晶体管的增益; n (KB) $\frac{T_0}{3G}$ 为网络本身的电阻分量而产生的噪声功率, T_R 为接收机的噪声温度; (KB) $\frac{T_R}{3G}$ 为接收机产生的噪声功率。

有上述公式及结果可以看出, 它比其它接收系统的信噪比更优越。

2.4 天线结构

设计出的天线结构如图 4 所示, 参数如下:



图 4 天线结构实物图

- 1) 天线底座: 圆盘结构、直径 50 cm。
- 2) 有源网络屏蔽合: 高 20 cm、直径 10 cm。
- 3) 天线高: 120 cm、直径 3 cm(铝管或钢管)。
- 4) 天线重量: 1~2kg(不含底座)。

经过设计和调试, 有源天线的主要技术参数见表 1。天线的电压驻波比测试曲线见图 5。

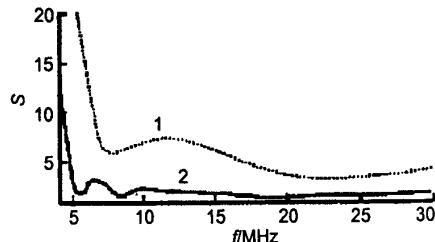


图 5 天线的电压驻波比测试曲线

(1—不接阻抗匹配网络时的曲线;
2—加阻抗匹配网络后的曲线)

表 1 有源天线的主要技术参数

序号	名称	指标
1	频率范围	1~30MHz
2	传递系数	>10dB
3	二阶互调失真	优于 60dB
4	三阶互调失真	优于 70dB
5	天线方向图	水平面全向 360°
6	相位一致性	±6°
7	环境要求	-30~+55 °C
8	输出特性阻抗	50Ω
9	电源电压	12V

3 试验结果与分析

为了验证所设计的有源天线的效果, 在同一时刻、同一地点、相同接收机, 分别用设计的有源天线和长 23 m 的笼形天线同时接收电离层参数。测量的电离层参数主要是采用电离层探测仪测量电离层频高图。即由发射机向一定方向发射高频无线电脉冲信号, 由于电离层的存在, 短波信号会在一定的高度上反射回地面。接收机接收这一返回信号后, 比较发射和返回信号的时间, 就可以推算出该信号在电离层中的反射高度。这样当发射的信号连续改变时(从 1 MHz~30 MHz)就可以得到一组反射高度随频率变化的 $h \sim f$ 曲线, 即频高图。

从多次实验结果可以看出^[8], 在频率 1~30 MHz 范围内, 使用小形宽带有源鞭状天线收到的电离层资料优于或等于笼形天线收到电离层资料。

因此可以说明, 在实际使用中, 因天线场地和环境条件所限时, 设计得有源天线完全可以替代原来使用的 23 m 笼形天线, 并不小于原信噪比特性。并且具有天线尺寸小, 隐蔽、易于安装、方便、占地面积小等特点。这一小型天线可直接用于舰艇、船只等移动平台, 如海军军舰上对敌短波监视天线。同时有源短波宽带天线尤其在移动通信中应用, 更能表现出它的优越性。

参考文献

- [1] 刘学观, 郭辉萍. 微波技术与天线 [M]. 西安电子科技大学出版社, 2001.
- [2] John D Kraus, Ronald J Marhefka, 章文勋译. 天线 (上)(第三版) [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [3] 向春清, 胡修林, 陈海涛. 短波宽带天线及匹配网络的优化设计 [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(8): 7-9.
- [4] 林昌禄, 聂在平等. 天线工程手册 [M]. 北京: 电子工

业出版社,2002.

- [5] 陈铁鸿,孙琰等.宽带匹配网络的现代设计方法[J].电波科学学报,1996,11(2):102-109.
Chen Y H, Sun Y, et al.. Modern methods for the design of broadband matching networks[J]. Chinese Journal of Radio Science, 1996, 11(2):102-109.
- [6] 黄香馥等编著.宽带匹配网络[M].西安:西北电讯工程学院出版社,1986.
- [7] 陈惠开.宽带匹配网络的理论与设计[M].北京:人民邮电出版社,1982.
- [8] 李水清.有源天线与笼型天线在电离层频高图测量中的效果比较.中国电波传播研究所内部报告,2004.



张瑜 (1963—),男,河南人,1986年毕业于西安电子科技大学,2005年前为中国电波传播研究所高级工程师,现为河南师范大学物理与信息工程学院副教授,曾先后主持军工研究项目七项,参与研究项目数十项,在不同的学术刊物上发表论文43篇,获部、省、市科技成果奖多次。目前主要从事电波折射修正和雷达低角跟踪技术研究工作。

方辉 (1978—),男,河南人,现为河南师范大学硕士生,研究方向为电波传播理论及应用。

李水清 (1952—),男,河南人,现为中国电波传播研究所工程师,目前主要从事电子发射与接收设备的研制工作。

(上接第243页)

- [10] A Derneryd, G Kristensson. Signal correlation including antenna coupling[J]. Electronics Letters, Feb, 2004, 40(3):157~159.



王伟 (1977—),男,河南人,上海交通大学电子工程系博士生,主要从事MIMO系统中的天线技术及空时编码等方面的研究工作。



耿军平 (1972—),男,陕西人,博士,上海交通大学电子工程系,现在主要从事智能天线和电磁兼容等方面的研究工作。

E-mail: wang_w@sjtu.edu.cn



金荣洪 (1963—),男,江苏人,博士,上海交通大学电子工程系教授,博士生导师。主要从事现代通信天线理论和设计、数字波束形成技术、多波束天线、数值分析技术等领域的研究工作。

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)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>