

超短波宽带天线设计与分析

余泽, 逯贵祯

(中国传媒大学信息工程学院,北京 100024)

摘要:提出了一种新型“V”型天线,并运用实频匹配技术使该天线在25MHz~85MHz获得了优秀的天线性能。该天线在频段范围内 $VSWR < 3$,增益主要分布在0~2dB之间,最小增益不低于-6dB,天线效率大于75%,可广泛运用于军事、遥感、环境监测等领域。

关键词:超短波;实频法;VSWR

中图分类号:O441.4 文献标识码:A 文章编号:1673-4793(2013)06-0029-05

The Designing and Analysis of Broadband UHF Antenna

YU Ze, LU Gui-zhen

(Information Engineering School, Communication University of China, Beijing 100024, China)

Abstract: The UHF antenna with high performance is a topic that people are constantly researching. This paper puts forward a new type of “V” Antenna, and using Real Frequency Method to make the antenna obtained a excellent design between 25MHz to 85MHz. The VSWR of the antenna is below 3, gain is between 0dB to 2dB in the main frequency range, and the minimum gain is no less than -6dB. Then, the efficiency of the antenna is more than 75%. So, it can be widely used in military, remote sensing and environmental monitoring.

Keywords: UHF; real frequency method; VSWR

1 引言

现代通信特别是在军用、遥感、卫星和环境监测等领域,超短波有着广泛的运用。但是,在超短波无线通信系统中,由于频率低,波长很长,这使得常规天线存在尺寸大、带宽小的问题。此外,超短波频段天线的增益和效率普遍很低,这十分不利于信号的发送、传输和接收。所以,如何提高超短波天线的效率又成为了一大难题。目前,国内超短波频段的天线,特别是25MHz到85MHz频段的高性能的天线非常少,在该频段内的设计主要有7m的套筒天线、

附加匹配网络的非对称双鞭天线和其他附加匹配网络的天线,比如笼形天线,偶极子天线等等,但是尺寸普遍偏大,高度都在3m以上而且增益比较低^{[1][2]}。国外也对该频段的天线进行了研究,比如Chavka G. G在2007年提出了一种新型超短波天线(BACCD),在30MHz~88MHz满足VSWR小于3,但是天线高度达3.5m^[3]。本文介绍了实频匹配的基本原理,详细阐述了这种高性能天线的结构和设计方法,并使用矩量法和网络分析法验证了设计方案,最后,还对仿真结果特别是增益和效率进行了分析。

2 实频法原理

实频法可以直接根据天线阻抗的实部数值来进行带宽匹配网络的设计。这些数值可以通过试验和电磁仿真软件轻松获得, 它不需要天线阻抗模型和阻抗的解析表达式, 也无需像直接优化法那样预先设定匹配网络的拓扑结构。下面介绍实频技术原理。

任意天线阻抗 Z_t 与电阻性点源的匹配原理如图 1:

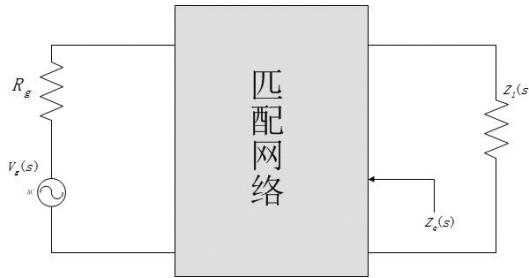


图 1 实频技术法原理图

我们给定的匹配频段范围是 $(0, \omega_n)$, 天线在此频段内的阻抗 Z_t, Z_q 是从输出端看去的匹配网络的阻抗值, 它是未知的, 那么我们设:

$$\begin{cases} Z_q(j\omega) = R_q(\omega) + jX_q(\omega) \\ Z_t(j\omega) = R_t(\omega) + jX_t(\omega) \end{cases} \quad (1)$$

系统增益可以表示为:

$$G(\omega^2) = 1 - |\rho|^2 \quad (2)$$

ρ 是输出端口归一化反射系数, 则有:

$$\rho = \frac{Z_q - Z_t^*}{Z_q + Z_t} \quad (3)$$

把(3)代入(2)可得:

$$G(\omega^2) = \frac{4R_q(\omega)R_t(\omega)}{|Z_q(j\omega) + Z_t(j\omega)|^2} \quad (4)$$

根据上式建立增益误差函数:

$$\sigma = \sum_{i=1}^m (G(\omega_i) - G_0(\omega_i))^2 \quad (5)$$

其中: $G_0(\omega_i)$ 是目标增益 G_0 电平

假设为 $Z_q(j\omega)$ 最小电抗函数, 且当 $\omega > \omega_n$ 时, $R_q(j\omega)$ 为 0。

设 $R_q(j\omega)$ 的变化曲线如图 2, 则可近似用 n 段折线来表示 $R_q(j\omega)$ 。

ω_k 表示折线的断电频率, r_k 表示相邻端点频率

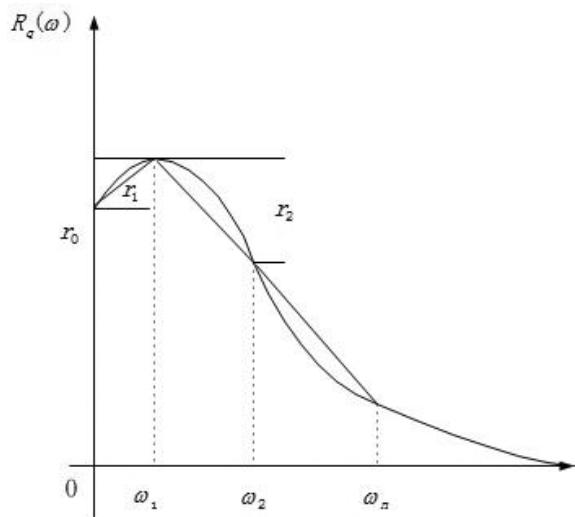


图 2 的折线逼近图

上 $R_q(j\omega)$ 的差, 则 $R_q(j\omega)$ 可以表示为:

$$R_q(\omega) = r_0 \sum_{k=1}^n a_k(\omega) r_k \quad (6)$$

上式的系数 $a_k(\omega)$ 可用公式求出:

$$\begin{cases} 1, \omega_k \leq \omega \\ \frac{\omega - \omega_{k-1}}{\omega_k - \omega_{k-1}}, \omega_{k-1} < \omega < \omega_k \\ 0, \omega \leq \omega_{k-1} \end{cases} \quad (7)$$

由于 $Z_q(\omega)$ 为策动点函数, 则实部与虚部具有约束关系, 我们可以根据 $R_q(\omega)$, 利用博德公式求得虚部 $X_q(\omega)$ 为:

$$X_q(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \frac{dR_q(y)}{dy} \ln \left| \frac{y + \omega}{y - \omega} \right| dy = \sum_{k=1}^n b_k(\omega) r_k \quad (8)$$

其中

$$b_k(\omega) = \frac{1}{\pi(\omega_k - \omega_{k-1})} \int_{\omega_{k-1}}^{\omega_k} \ln \left| \frac{y + \omega}{y - \omega} \right| dy \quad (9)$$

得到 r 后, 便可以得到 R_q 和 X_q 的折线表达式, 但这是不可实现的, 必须用一个可实现的有理函数 $\hat{R}(\omega)$ 来逼近它^[4-5], 我们假设:

$$\hat{R}(\omega) = \frac{A_0 \omega^{2k}}{1 + B_1 \omega^2 + \dots + B_n \omega^{2n}} \quad (10)$$

其中, 当网络为低通时, $k=0$; 为带通时, $k>0$; 为高通时, $k=n$ 。利用上式 $\hat{R}(\omega)$ 的表达式, 对求出的折线进行曲线拟合, 拟合的优化算法采用最小二乘法。

如果已知一个策动点函数的实部可以利用下面

的方法求出策动点函数。

若 $Z(s)$ 是一个策动点函数, 则它可以表示为:

$$Z(s) = \frac{m_1(s) + n_1(s)}{m_2(s) + n_2(s)} = M(s) + N(s) \quad (11)$$

$m_1(s)$ 和 $n_1(s)$ 分别是分子多项式的偶部和奇部, $m_2(s)$ 和 $n_2(s)$ 分别是分母多项式的偶部和奇部, M 和 N 分别是 $Z(s)$ 的偶部和奇部, 则有:

$$\begin{aligned} M(s) &= \frac{1}{2} [Z(s) + Z(-s)] \\ &= \frac{m_1(s)m_2(s) - n_1(s)n_2(s)}{m_2^2 - n_2^2(s)} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} N(s) &= \frac{1}{2} [Z(s) - Z(-s)] \\ &= \frac{n_1(s)m_2(s) - m_1(s)n_2(s)}{m_2^2 - n_2^2(s)} \end{aligned} \quad (13)$$

在实频率轴上, $M(s)$ 便成为 $F(s)$ 的实部, $N(s)$ 便成为 $F(s)$ 的虚部, 即

$$\begin{cases} M(j\omega) = \hat{R}(\omega) \\ N(j\omega) = j\hat{X}(\omega) \end{cases} \quad (14)$$

设策动点函数:

$$Z(s) = \frac{a_0 + a_1s + \cdots + a_ks^k}{b_0 + b_1s + \cdots + b_ns^n} \quad (15)$$

$Z(s)$ 的分母多项式可由式(15)分母多项式左半平面的 n 个根确定, 再根据(12)求出 $M(s)$ 的分子, 并令其与(10)分子相等, 便可以求出 $Z(s)$ 的分子, 即:

$$A_0s^{2k} = (a_0 + a_2s^2 + \cdots)(b_0 + b_2s^2 + \cdots) - (a_1s + a_3s^3 + \cdots)(b_1s + b_3s^3 + \cdots) \quad (16)$$

令其同次幂的系数相等, 可以得到一个关于 a_k 的方程组, 通过这个方程组可以求得系数 a_k , 这样就可以确定 $Z(s)$ ^[6-8], 然后用网络综合的方法, 得到匹配网络。

3 天线结构设计

本方案基本构型类似于正“V”天线, 在“V”型天线的正中间增加了一根金属棒, 增强天线的辐射, 在天线的辐射末端添加匹配网络^[9-12], 具体结构如图3所示。

天线从匹配网络一端添加激励, 模型中 $h = 3m$, $h_1 = 2.9m$, $l = 1m$, 角 α 近似为 18° , 天线辐射末端采用实频匹配技术设计了匹配网络, 以改善天线的各

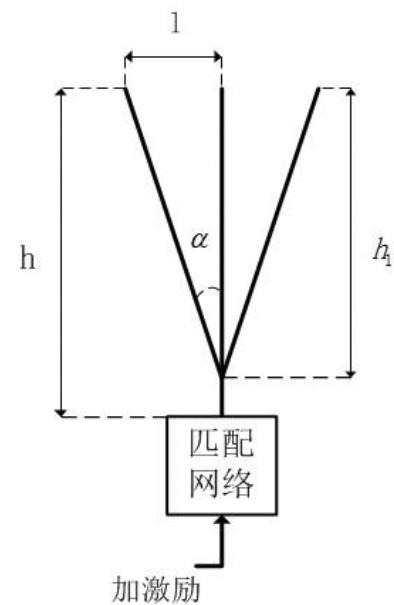


图3 天线结构示意图

方面性能, 匹配的主要步骤如下:

1. 阻抗归一化和频率归一化: 其中参考阻抗为电源内阻 50Ω ;

2. 用折线 $\hat{R}_q(\omega)$ 逼近 $R_q(\omega)$: 首先通过试验或仿真测得天线的实部电阻采样数据, 然后根据公式(4)在 Matlab 中进行优化功率增益函数的计算得到匹配网络的实部电阻的表达式 $R_q(\omega)$, 再用最小二乘法对 $R_q(\omega)$ 进行折线逼近;

3. 有理函数逼近折线 $R_q(\omega)$: 采用公式(10)的有理函数形式, 用 Matlab 的曲线拟合工具箱, 对折线进行有理函数拟合;

4. 用盖维茨法求出 $Z_q(s)$: 根据原理部分的盖维茨法, 可由实部求出匹配网络的阻抗表达式, 并转换为 S 域的形式;

5. 根据网络综合方法综合出 LC 网络;

最终对 $25\text{MHz} - 85\text{MHz}$ 频段设计的匹配电路如图4, 左边接源负载, 右边接天线, 通过实频法该天线带宽比匹配前增加了 5 倍(见图5), VSWR 小于 3, 增益大于 -6dB 、效率高于 75%。

由图5可见, 该匹配网络使天线性能得到了极大的提高, 在 $25\text{MHz} - 85\text{MHz}$ 带宽内获得了很好的匹配, VSWR 都在 3 以下。不仅如此, 该天线的增益和效率指标在超短波天线中是十分优秀的, 如图6 为天线在频段内的增益, 在主辐射频段 $25\text{MHz} - 75\text{MHz}$, 天线的增益都在 0dB 以上, 在 $75\text{MHz} -$

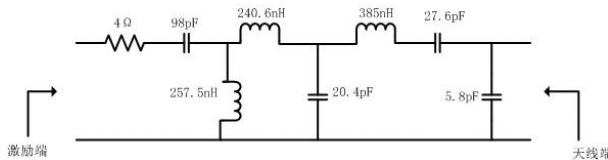


图 4 实频匹配网络

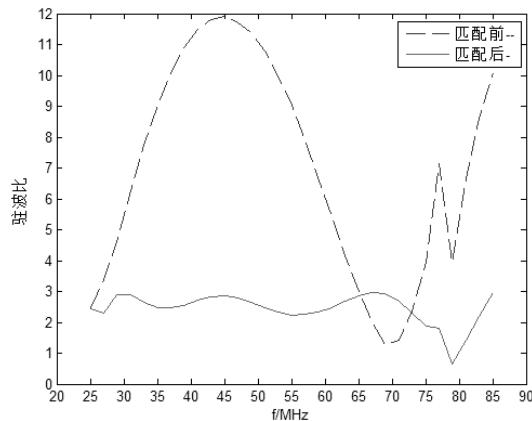


图 5 匹配前后天线 VSWR 对比

85MHz 也达到 -6dB 以上的技术指标, 这远远超过了现有市场和研究出的超短波天线的性能^{[12][13]}。除此之外, 图 7 为该天线的效率, 由图可知该天线在整个频段的效率都高达 75% 以上。天线在宽带化的基础上, 着重考虑了它的增益和效率指标, 本文通过对天线结构的设计和实频匹配技术的运用使天线在 25MHz – 85MHz 频带内获得了优秀的性能。

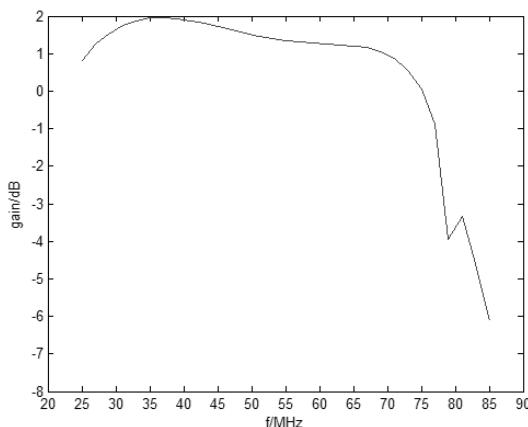


图 6 匹配后天线增益

4 结论

本文提出了一种类似“V”型的天线结构, 优化

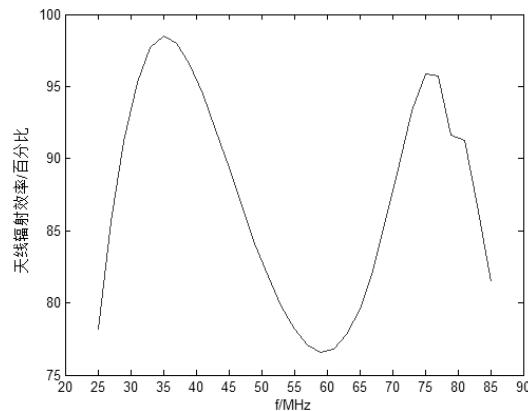


图 7 匹配后天线的效率

了天线尺寸, 并运用实频技术设计出匹配网络, 确定了网络中各元件的参数和位置, 最终, 使该天线在 25MHz – 85MHz 频段内, 尺寸在 $3\text{m} \times 2\text{m}$ 范围内, 满足 VSWR 小于 3, 效率大于 75%, 在 25MHz – 75MHz 的增益在 0 – 2dB, 整个频段的最低增益也大于 -6dB , 是在 25MHz – 85MHz 频段中十分罕见的高性能天线。设计结果的显示和分析也证明了匹配网络和天线一体化对天线宽带化和小型化的巨大作用, 同时也体现了实频匹配方法在超短波天线中的实用性。

参考文献

- [1] 匡磊, 刘燕北. 经典线天线设计 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [2] 李剑锋. 小型宽带鞭状天线设计综述 [J]. 杭州电子工业学院学报, 2000, 20(6): 52 – 55.
- [3] Chavka G G. A New Broadband UHF Antenna with Controlled Current Distribution [C]. International Conference on Antenna Theory and Techniques, 2007: 271 – 273.
- [4] 陈铁鸿, 孙琰, 等. 宽带天线阻抗匹配网络设计中的实频法 [J]. 电子学报, 1997, 25(3): 20 – 24.
- [5] 高火涛, 侯杰昌, 等. 宽带天线阻抗匹配网络的设计 [J]. 武汉大学学报, 2001, 47(5): 541 – 544.
- [6] 王小军. 基于实频技术的微带天线匹配结构设计 [D]. 南京航空航天大学论文, 2010: 13 – 15.

(下转第 28 页)

BC:586 – 589.

- [7] Shu Lin, Daniel J. Costello, J. Error Control Coding [M]. 晏坚, 等, 译. 北京: 机械工业出版社, 2007:343.

- [8] Richardson. The Geometry of Turbo – Decoding Dynamics[J]. IEEE Trans Inform Theory, 2000,

46(1):9 – 23.

- [9] Dakshi Agrawal, Alexander Vardy. The Turbo Decoding Algorithm and Its Phase Trajectories [J]. IEEE Trans. Information Theory, 2001, 47(2): 699 – 722.

(责任编辑:王 谦)

(上接第 32 页)

- [7] 周强, 李世智. 小型天线匹配问题中的实频技术[J]. 北京理工大学学报, 1992, 12(3):23 – 26.

- [8] 邱景辉, 吕延明, 等. 一种短波天线小型化设计方案[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(11):2488 – 2490.

- [9] Ramahi O M. Design of a Matching Network for an HF Antenna Using the Real Frequency Method [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1989, 37(4).

- [10] Schoeffler J D. Impedance Transformation Using Lossless Networks[J]. IRE Transactions on Circuit Theory, 1961:131 – 135.

- [11] 罗胜钦, 刘芳, 等. 网络综合原理[M]. 上海: 同济大学出版社, 2005.

- [12] 匡磊, 王正林. 天线手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.

- [13] Casciola D. UHF Antenna Choice [J]. IEEE Transaction on Broadcasting, 1999, 45(1):93 – 105.

(责任编辑:王 谦)

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>