

基于矢量阻抗测量模块的短波天线调谐算法

蒋 龙

(1. 东南大学, 南京 210096; 2. 熊猫电子集团有限公司, 南京 210002)

摘要: 短波天线调谐器是短波通信系统的重要组成部分, 现介绍一种基于矢量阻抗测量模块的短波天线调谐器的调谐算法, 可以改善短波天线调谐器的性能。

关键词: 短波天线调谐器; 天线阻抗; 矢量阻抗测量模块; 调谐算法

Tuning algorithm of shortwave antenna tuning coupler based on vector impedance measuring module

JIANG Long

(1. Southeast University, Nanjing 210096, China 2. Panda Electronics Group Co., Ltd., Nanjing 210002, China)

Abstract: Shortwave antenna tuning coupler is an important part of shortwave communication systems. This paper introduces a tuning algorithm of shortwave antenna tuning coupler based on vector impedance measuring module. With this algorithm, some improvement has been made for the performance of shortwave antenna tuning coupler.

Key words: shortwave antenna tuning coupler; antenna impedance; vector impedance measuring module; tuning algorithm

0 引言

为了提高短波通信的通信质量和抗干扰能力, 要大力发展短波自适应跳频通信技术, 进行快速信道选择。随着频率的迅速变化, 发射机和天线之间必须完成快速的阻抗匹配, 目前普遍采用的方法是利用短波天线调谐器来配接窄带天线, 实现不同频率下的阻抗匹配。

传统的短波天线调谐器只能测量传输线上电压/电流相位差 φ 、匹配网络输入端的并联等效输入电阻 R_p 和电压驻波比 VSWR, 其中 VSWR 是精确值, φ 和 R_p 都只是相对值, 因此, 只能采用逐次逼近式的调谐算法去调整匹配网络, 从而完成阻抗匹配。

本文设计了一种矢量阻抗测量模块应用到短波天线调谐器中, 可以实现天线阻抗($Z_a = R_a + jX_a$)的精确测量, 并给出了以矢量阻抗测量模块为基础的新的调谐算法。

1 矢量阻抗测量模块的原理

1.1 矢量阻抗测量模块的硬件组成

矢量阻抗测量模块采用 DSP 取代传统短波天线调谐器的单片机, 作为控制和运算核心, 以提高运算精度和速度。

矢量阻抗测量模块的硬件组成如图 1 所示, 其工作原理为:

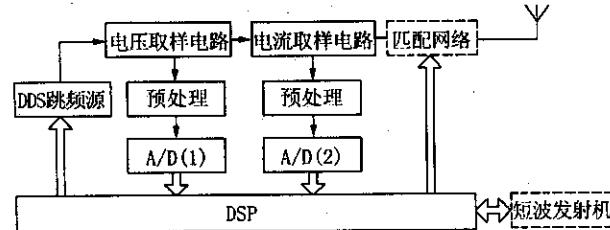


图 1 矢量阻抗测量模块的组成

(1) 当天线调谐器接收到来自短波发射机的调谐指令和频率信息时, DSP 根据频率信息生成调谐频率码送往 DDS 跳频源;

(2) DDS 跳频源根据调谐频率码产生调谐信号送往射频回路作为调谐功率;

收稿日期: 2006-08-30

作者简介: 蒋龙(1976-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为数字信号处理技术在短波天线调谐器中的应用。

(3) 电压、电流取样电路对射频回路进行取样, 取样信号经过预处理后, 分别送往 A/D(1), A/D(2) 进行 A/D 转换;

(4) DSP 根据 A/D 转换后的数字信号计算出取样点的矢量阻抗;

(5) 根据传输线理论计算天线阻抗, 获得天线阻抗的实部和虚部, 同时也可以计算出 VSWR。

1.2 计算矢量阻抗的软件算法

获得经过 A/D 转换的数字信号后, 就可以根据希尔伯特变换的定义和性质, 得到计算矢量阻抗的软件算法。

设 A/D 转换的采样速率为中频信号的 N 倍, 即每个信号周期采样 N 个点, 获得电压离散时间信号为:

$$U_v(n) = A_v \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{N} + \varphi_v\right)$$

电压信号的希尔伯特变换为:

$$\hat{U}_v(n) = -A_v \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{N} + \varphi_v\right)$$

因此, $U_v(n)$ 的幅值和初始相位分别为:

$$A_v = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [U_v^2(n) + \hat{U}_v^2(n)]},$$

$$\varphi_v = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left[\arctan \frac{\hat{U}_v(n)}{U_v(n)} - \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{N} \right]$$

同理, 也可以得到电流信号的幅度 A_i 和初始相位值 φ_i , 此时取样点矢量阻抗的计算就较为简单了。令 $A = A_v/A_i$, $\varphi = \varphi_v - \varphi_i$, 则取样点的矢量阻抗:

$$Z = \frac{\dot{U}_v}{\dot{U}_i} = \frac{A_v}{A_i} \angle (\varphi_v - \varphi_i) =$$

$$A \angle \varphi = A \cos \varphi + jA \sin \varphi$$

1.3 天线阻抗的计算

匹配的传输线路中任何位置的阻抗都表现为特性阻抗, 但如果不匹配, 则传输线路(假设是无损的)的阻抗呈周期性变化。

传输线路中任何点的阻抗都可以通过如下方程式进行计算:

$$Z = Z_0 \frac{Z_a + jZ_0 \tan \theta}{Z_0 + jZ_a \tan \theta}$$

式中:

Z ——传输线上取样点的阻抗;

Z_0 ——传输线特性阻抗;

θ ——取样点与负载之间的距离, 单位为度(例如 $1/4$ 波长就是 90°)。

因此, 将上式进行简单的变换, 可以得到:

$$Z_a = Z_0 \frac{Z - jZ_0 \tan \theta}{Z_0 - jZ \tan \theta}$$

将 $Z = A \cos \varphi + jA \sin \varphi$ 代入上式, 就可以计算出天线阻抗。

线阻抗, 作为天线调谐器的调谐依据。

2 调谐算法

2.1 匹配网络和调谐原理

匹配网络以 L_1, C_1 构成的 Γ 形网络为主调谐网络; 为了抵消杂散电感的影响, 串联了一个调谐电容 C_2 ; 为了扩充网络的匹配能力, 并联了调谐电容 C_3 , 将网络变成 Π 形。天线调谐器匹配网络结构如图 2 所示。

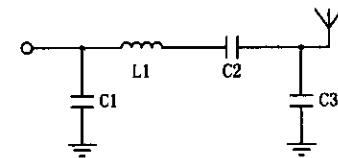


图 2 匹配网络简化模型

L_1, C_1, C_2 和 C_3 分别由一系列离散元件构成, 调谐时通过控制继电器来改变网络元件的参数。

匹配网络的调谐原理如图 3 所示。图中 $R - X$ 平面为电阻 - 电抗平面, 箭头表示各元件值改变时, 匹配网络的输入阻抗的变化情况。

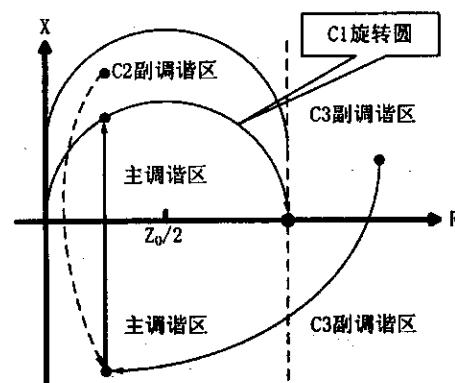


图 3 匹配网络调谐原理

2.2 调谐参数

调谐过程中作为调谐依据的参数除了天线阻抗 $Z_a = R_a + jX_a$ 外, 还有两个参数:

(1) 天线导纳 $Y_a = G_a + jB_a$ 其和天线阻抗 $Z_a = R_a + jX_a$ 的关系为:

$$G_a = \frac{R_a}{R_a^2 + X_a^2}, B_a = \frac{-X_a}{R_a^2 + X_a^2}$$

(2) 电压驻波比 VSWR

$$|\Gamma| = \frac{|Z_a - Z_0|}{|Z_a + Z_0|}, \text{VSWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

其中, Γ 是电压反射系数。

2.3 调谐分区

根据 R_a, X_a, G_a, Z_0 的关系不同, 将天线阻抗在 $R - X$ 平面上分为如图 4 所示的 6 个区进行调谐。

1 区: $1/G_a > Z_0, X_a > 0$;

- 2 区 : $R_a > Z_0, X_a > 0$;
 3 区 : $R_a > Z_0, X_a < 0$;
 4 区 : $1/G_a > Z_0, X_a < 0$;
 5 区 : $1/G_a < Z_0, X_a < 0$;
 6 区 : $1/G_a < Z_0, X_a > 0$.

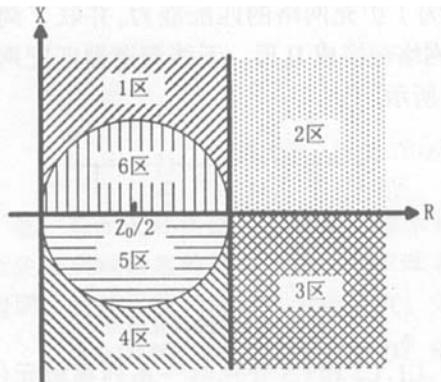


图 4 天线阻抗的 $R - X$ 平面分区

2.4 调谐流程

为了尽量回避分布参数的影响,并提高调谐算法的冗余度,实际的调谐流程和图 3 所示的调谐原理稍有不同,具体的步骤如下:

(1)首先将所有 L, C 都不接入,由矢量阻抗测量模块测量天线阻抗和导纳,并按照图 4 进行分区。

(2)对于 1, 2 和 3 区,可以按照调谐原理分别接入相应的 C_2 或 C_3 ,并测量天线阻抗;如果天线阻抗已经下拉到主调谐区(包括 4, 5 和 6 区),则继续进行调谐,否则,表示天线阻抗超出匹配网络的范围。

(3)计算天线阻抗相对于 C_1 旋转圆的电抗偏差 X 和所需的 L_1 值,并接入最接近的 L_1 的组合值,然后测量天线阻抗。

$$X = \sqrt{\left| \left(\frac{R_0}{2} \right)^2 - \left(R_a - \frac{R_0}{2} \right)^2 \right|} - X_a ,$$

$$L = \frac{X}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

(4)计算串联 L_1 之后的天线阻抗实际值 $Z'_a = R'_a + jX'_a$ 和理论值 $Z_a = R_a + jX_a + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ 之间的误差,并调整 L_1 的组合值,然后测量天线阻抗。

$$\Delta E_X = \frac{X'_a - X_a}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L} \cdot L = \frac{X}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Delta E_X}$$

(5)计算天线导纳相对于 Z_0 的电纳偏差 B 和所需的 C_1 值,并接入最接近的 C_1 的组合值,然后测量天线阻抗。

$$B = B_a, C = \frac{B}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

(6)计算并联 C_1 之后的天线导纳实际值 $Y'_a = G'_a + jB'_a$ 和理论值 $Y_a = G_a + jB_a + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$ 之间的误差,并调整 C_1 的组合值,然后测量天线阻抗。

$$\Delta E_B = \frac{B'_a - B_a}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \cdot C = \frac{B}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Delta E_B}$$

(7)上述步骤的误差是按照线性模型补偿的,而实际的误差模型可能要复杂很多,因此,调谐精度可能达不到要求,此时,可以根据 Z_a 的位置微调 L_1 和 C_1 。

3 结束语

在 Matlab 中对 6 米鞭天线的阻抗值按照上述调谐算法进行了调谐仿真,仿真结果如图 5 所示,其平均调谐次数小于 9 次,调谐精度较好($VSWR < 1.2$),匹配后的天线阻抗基本达到了最佳值。实际使用过程中,由于环境和分步参数的影响,调谐精度和调谐次数比上述仿真值稍差。

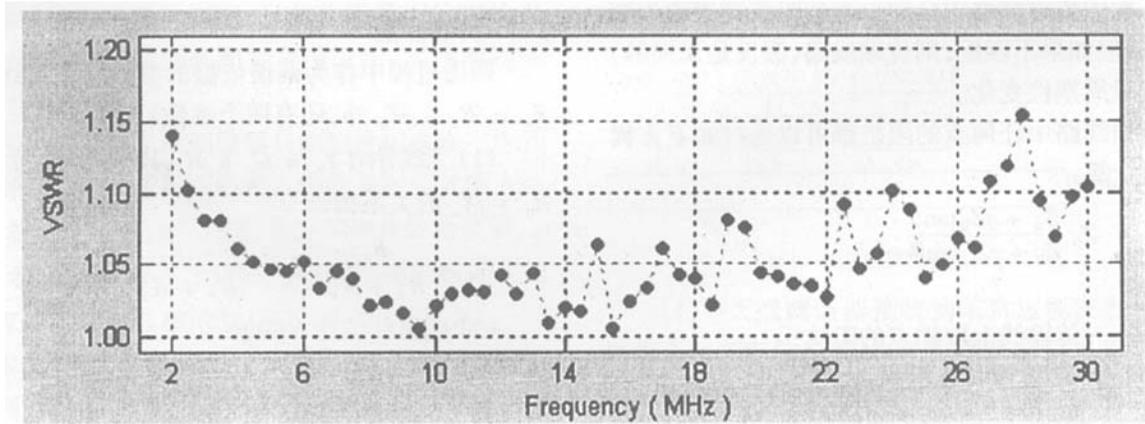


图 5 调谐算法的匹配效果仿真

参 考 文 献 :

- [1] Yichuang Sun, Wai Kit Lau. Evolutionary Tuning Method for Automatic Impedance Matching in Communication Systems [C]. IEEE J 1998 3: 73-77.
 [2] 朱良学,王可人.一种用于短波数字天调的模糊控制算法 [C]. 中国通信学会第四届学术年会论文集(下册),1995: 577-580.

[3] 胡中豫.现代短波通信 [M].北京:国防工业出版社,2003.

[4] 胡广书.数字信号处理——理论、算法与实现 [M].2 版.北京:清华大学出版社,2003.

[5] Roy Blake.现代通信系统 [M].2 版.张晋峰,译.北京:电子工业出版社,2003. 责任编辑:肖滨

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>