

微波暗室远场天线测试转台伺服系统的设计

余亚飞, 贾平平

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要:高性能天线的研发离不开一套高精度的测试系统。天线测试系统主要包括转台伺服系统、测试仪器、监控系统。其中转台伺服系统的优劣直接影响到微波暗室天线测试的准确性,因此伺服系统的设计显得十分重要。文中设计的微波暗室天线测试转台伺服系统通过 ARM 处理器控制电机的转动,调整被测天线的姿态的同时记录天线的天线图测试数据。系统可以自动完成远场收发双向测量,降低了测试的难度。借助频谱仪,伺服系统能够准确测量天线方向图、主瓣宽度、波瓣宽度、增益等参数。该伺服系统具有测量误差小、抗干扰能力强、测量灵敏度高等特点。随着微波暗室天线测试技术广泛应用到工业项目,该转台伺服系统具有很高的实用价值。

关键词:微波暗室;天线测试;转台伺服系统;天线方向图

中图分类号:TP302.1

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)10-0214-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.10.047

Design of Rotating Platform Servo System for Far-field Antenna in Microwave Darkroom

YU Ya-fei, JIA Ping-ping

(College of Telecommunications and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Development of high performance antenna depends on a high-precision test system. Antenna test system includes servo system, test equipment and monitoring system. The merit of the servo system affects the accuracy of the anechoic chamber antenna test directly. Thus, the design of the servo system is significant. Put forward an antenna pattern test servo system which controls the rotation of the motor through the ARM processor, in order to record the antenna test data while adjusting the measured antenna attitude. This servo system can receive bi-far-field measurements automatically and reduce the difficulty of testing. By means of spectrum analyzer, the servo system can precisely measure antenna pattern, the beam width, the side lobe width, antenna gain and other parameters, which has a small measurement error, strong anti-interference ability and is capable of high sensitivity measurements. As the test of microwave anechoic chamber antenna technology is widely applied to industrial projects, this rotating servo system has very high practical value.

Key words: microwave darkroom; antenna test; rotating servo system; antenna patter

0 引言

天线测试微波暗室模拟的是自由空间电磁环境。暗室的作用就是防止外来电磁波的干扰,同时防止测试信号向外辐射形成干扰源,对其他电子设备造成干扰。

随着微波技术及军事民用领域通信技术的快速发展,对天线各项性能的要求越来越高^[1]。为了研制符合要求的高性能天线,先进的天线测试系统必不可少。测试过程中可以发现和解决天线在设计生产中的技术问题,为研制新型天线进行必要的理论修正。

传统的天线测量技术,包括室外远场测量、室内远场测量、紧缩场测量以及平面近场扫描测量等。室内远场测量是指在满足经典的远场测量条件下,在暗室内直接对待测天线进行测量^[2-3]。室内远场测量具有占用空间小、背景电平低、可全天候测量、保密性好等优点,因此在天线测量工程中受到广泛应用。文中从微波暗室测试环境,转台发射控制系统,转台接收控制系统等几方面综合考虑,设计了一种安装在微波暗室中的天线远场测试转台伺服系统。

收稿日期:2014-11-04

修回日期:2015-02-06

网络出版时间:2015-08-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61271234)

作者简介:余亚飞(1990-),男,硕士研究生,研究方向为卫星通信技术;导师:谢继东,教授,博士生导师,研究方向为卫星通信技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150826.1558.054.html>

1 总体方案

微波暗室内设置供被测体的转台、支架及相配套的导轨等。要求使用方便、对电磁波的反射小。天线测试暗室用于远场测试,应考虑暗室空间符合远场测试条件。

1.1 系统概述

天线测试系统的主要功能就是对天线辐射性能,即天线方向图的测试,进而通过方向图分析天线的参数和性能。要实现方向图的测试,需要获得天线在坐标空间各个角度上对应的接收能量分布^[4-5]。

本方案转台、软件系统,配合 Agilent 公司的频谱仪和信号源,实现了在 18 m×10 m×10 m(屏蔽到屏蔽)的微波暗室内远场条件下 200 MHz~20 GHz 天线的自动化测试。

1.2 系统组成

- 该暗室天线测试系统由四大部分组成:
- (1)转台伺服系统:实现天线在空间位置上的转动与控制。
 - (2)测试仪器:实现信号的产生及对应各个位置上射频微波能量分布的采集。
 - (3)监控系统:完成测试系统的人机操作界面,实现位置控制和数据采集的同步控制,显示、存储和分析测试结果等。
 - (4)测试附件:发射天线、标准增益天线。

2 转台伺服系统的设计

2.1 功能及其组成

如图 1 所示,该伺服系统主要由电路部分(包括源转换电路、主控制电路、功率放大电路)、伺服机构、执行元件(电动机)、反馈元件组成。其中电源转换电路完成从电源 28 V 到主控电路所需电源的转换,主控电路完成两个通道角度传感器信号采集、伺服系统状态控制、校正算法实现及与主机的信号通讯等功能,功率放大电路完成控制信号的放大从而驱动方位电机,方位电机完成带动负载转动,位置传感器完成伺服框架角度的反馈,电机用于实现负载的转动^[6]。

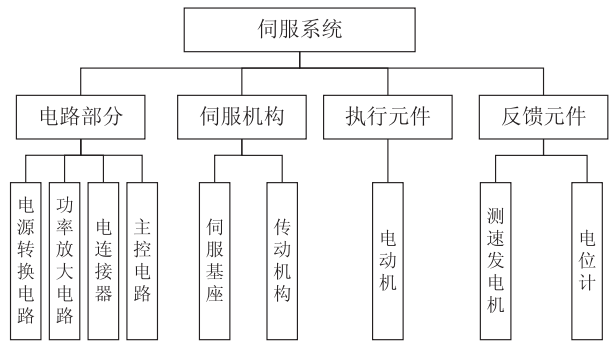


图 1 伺服系统组成框图

2.2 设备描述

- (1)电动机。

数据采集处理后得到控制量,电机通过控制量完成天线的调整。交流伺服电动机定子与电容分相式单相异步电动机的定子构造基本上相似。由两个位置上相差 90°的绕组组成这种定子,始终接在交流电压上的是励磁绕组 R_f ,另一个是连接控制信号电压 U_c 的控制绕组 L 。与普通电机相比,交流伺服电动机的转子具有转动惯量小和转子电阻大的特点,通常做成鼠笼式。目前有两种形式的转子结构应用较多:一种是为了减小转子的转动惯量,把转子做得细长。这种转子是采用高电阻率的导电材料做成的鼠笼转子;另一种是杯壁很薄的空心杯形转子。该转子具有反应迅速、转动惯量很小、运转平稳等特点,被广泛采用^[7-8]。文中设计方位电机选用南京派远科技研发的 60HBM00630CBM,极化电机选用南京派远科技研发的 40HBM00230BAT。
- (2)传感器。

测试转台伺服控制系统在不断调整天线方位和俯仰的姿态过程中,要不断获取天线姿态信息。所以,系统中需要高精度的传感器感知天线姿态信息^[9]。本系统采用绝对式编码器,具体型号为长春博辰 BCE58K20-14-12V-TAB-TMG,工作电压为 12 V。绝对式编码器轴旋转的时候,输出与位置相对应的数据代码(一般都是二进制、BCD 码等)。通过数据代码大小的变化,即可判断出正反方向和位移所处的位置,而无需判向电路。它有一个绝对零位代码,当停电或关机后,再开机重新测量时,仍可准确地读出停电或关机位置的代码,并准确地找到零位代码。一般情况下,绝对式编码器的测量范围为 0°~360°,可实现多圈测量。同时分辨率可达到 80"。
- (3)限位器。

方位转动轴和俯仰转动轴都需要设置一个保护限位器。实际限位点是由一个金属传感器确定。当天线走到限位点处,检测到限位器信号停下,从而达到保护转动轴的目的^[10]。本系统采用日本欧姆龙公司生产的接近传感器,具体型号为 E2E-X2ME1-Z。
- (4)转台控制器。

转台控制器主要由基于高级精简指令集机器(Advanced RISC Machine, ARM)芯片的主控电路部分和驱动器部分组成。转台控制器应具有与监控计算机通信功能、上电自检和指令自检功能,要求能在电源输入或者输出异常的情况下给主控芯片一个高的逻辑电平(5 V)(正常情况为低电平),采样旋转变压器以及限位器的信号并进行处理,输出控制转台的状态,并在工作开始和结束前锁定伺服系统^[11]。

(5) 基于 ARM 芯片的主控电路。

基于 ARM 的主控电路是整体系统的基础,是系统运行实现的平台。根据模块化设计原理,本系统硬件设计主要由处理器模块、电源模块、存储模块、串口通信模块组成。

a. 处理器模块。

系统性能的优劣和可扩展性的强弱与处理器关系十分密切,因此处理器模块是系统的核心部分。选用性能优异的处理器芯片,可以让系统运行得更加稳定、高速和高效。并且系统设计的复杂程度的高低与处理器关系也十分密切。考虑到实际需求,本硬件设计的处理器选择 ATMEL 公司生产的 AT91SAM9260 控制器芯片。AT91SAM9260 控制器是 ARM9 的一种,主要是针多任务的应用,具有全存储器管理的优点,同时还具有高性能、小核心尺寸和低功耗等重要特点^[12]。

b. 电源模块。

由于系统的稳定性与电源的稳定性息息相关,因此电源模块的设计有严格要求。本系统中存在多种电压(24 V、12 V、5 V、3.3 V、1.8 V 和 1.2 V),因此需要多个变压模块。系统的输入电压可以设计为 24 V 和 12 V,由外部电源提供,其他电压均可以通过变压得到。其中,24 V 电压接入 XR10-24S05 芯片可以输出 5 V 电压,5 V 电压接入到 CM1084S-3.3 芯片可以得到 3.3 V 电压输出,接入到 TPS73701 芯片可以得到 1.2 V 电压输出,而 1.8 V 电压由 AMS1117-1.8 芯片通过 5 V 接入变压得到^[13]。

c. 存储模块。

嵌入式操作系统数据都存储在存储器模块中,与之前的存储模块相比,本设计采用的存储模块具有读取速度更快和模块容量更大的特点。系统采用的 AT91SAM9260 控制器芯片支持多种存储模式,如 SDRAM, NANDFLASH, NORFLASH, EEPROM 等。系统采用主控板是由 NORFLASH 模式存储启动、内核和文件,而 SDRAM 模式是用来进行动态存储。由于 NORFLASH 这种非易失闪存技术具有在芯片内执行的特点,所以应用程序可以直接在 Flash 闪存内运行,不必再把代码读到系统 RAM 中, NORFLASH 的传输效率很高,在 1~4 MB 的小容量时具有很高的成本效益。SDRAM 是同步动态随机存储器,同步是指 Memory 工作需要同步时钟,内部命令的发送与数据的传输都以它为基准,动态是指存储阵列需要不断刷新来保证数据不丢失,随机指数数据不按照线性依次存储,而是自由指定地址进行数据读写^[14]。

本系统采用 MT48LC32M8A2 芯片设计的 SDRAM 模式,采用 SST39VF1601 芯片设计的 NORFLASH 模式。

d. 串口通信模块。

数据通信传输方式有很多种,比如 TCP/IP 通信、串口通信、并口通信。本系统串口通信主要是用来采集传感器模块发送的协议数据,同时还用于控制板的串口调试。

串行通信的标准有三种:RS-232、RS-422 和 RS-485。本系统采用的 RS-232 是通信工业中应用最广泛的一种串行接口,其采取不平衡传输方式,即所谓单端通信。RS-232 通信距离最长约 15 m,最高传输速率可达 20 kbps^[15]。

系统中大多数传感器数据的接收和信标接收机使用的都是 RS-232 通信标准,中央处理器(Central Processing Unit, CPU)通过通用异步收发传输器(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART)发送与接收串口数据,使用 MAX202 将 CPU 电平转变为 RS-232 电平。同样为 MAXIM 公司生产的 MAX202 使用单一的+5 V 电源供电,内部含有 2 个驱动器,2 个接收器。每个发送器输出端和接收器输入端设有保护,能保证 120 kbit/s 数据传输速率。同时 MAX202 提供额外保护装置防止静电,它的 RS-232 输入端和输出端能经受住采用人体模型的±15 kV 放电测试^[16]。

(6) 驱动器部分。

驱动器在整个控制环节中,正好处于主控制箱→驱动器→马达的中间环节。主要功能是接收来自主控制箱的信号,然后将信号进行处理再转移至马达以及和马达有关的感应器,并且将马达的工作情况反馈到主控制箱。

2.3 伺服系统工作过程

上电后,主控电路控制伺服系统运动到角度 5°的位置,然后回到初始位置(角度 0°),并通过串口发送自检信息和准备好的信息,等待监控计算机传输角度信息,主控电路通过串口中断接收监控计算机传输的双转台角度信息后,按 2 ms 的控制周期控制伺服系统运动到该位置,直到收到下一个监控计算机信息,工作结束后,将伺服系统控制在初始位置。发射极化转台和接收转台控制系统框图分别见图 2 和图 3。

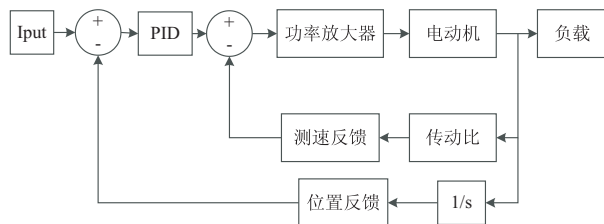


图 2 发射极化转台控制系统框图

3 结果分析

本次远场测试距离为 15 m,工作频率范围为 200

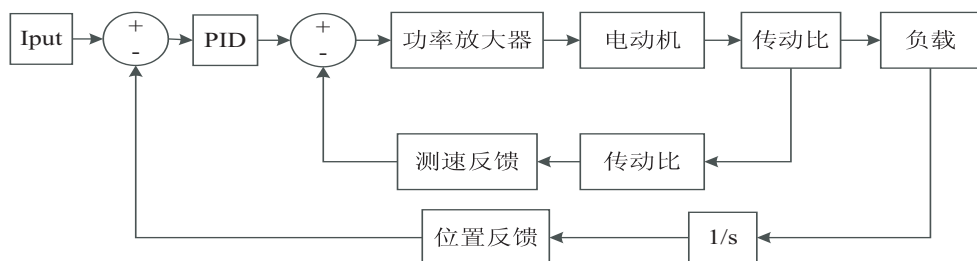


图 3 接收转台控制系统框图

MHz ~ 20 GHz。屏蔽效能、场地均匀性、归一化场地衰减和传输损耗等均符合要求。

当待测天线偏离波束中心时,频谱仪测量的射频信号功率也随着变化,利用频谱仪的迹线功能,记录天线运动轨迹。对于测试结果,在此选取其中发射极化方式同为水平极化、信号中心频率同为 14 GHz 的一组数据进行分析讨论。如图 4 和图 5 所示,实测转台方向图,横轴为空间角度值,纵轴为接收到的功率电平值。方向图绘制时可以将正反极化绘制在一起以便做比较。天线方向图的波瓣宽度越窄,天线的增益越高,方向性越好,作用距离越远,抗干扰能力越强。

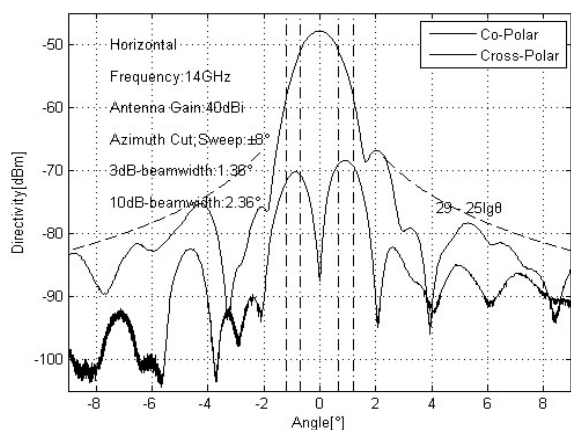


图 4 水平发射 14 GHz 转台正负 8°方向图

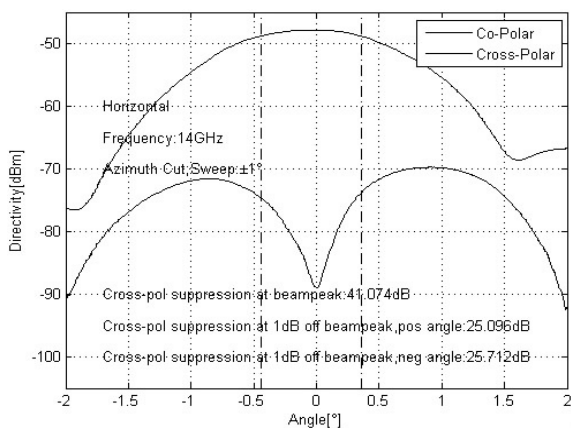


图 5 水平发射 14 GHz 转台正负 1°方向图

4 结束语

文中设计的微波暗室远场天线测试伺服系统可高效地完成天线远场双向测量。该系统的主要功能如

下:能完成天线远场点频,扫频方向图测试,测试过程实时方向图显示;能完成天线轴比测试;能分析天线的方向图参数:波束宽度、零点位置、零点深度、副瓣位置、副瓣电平、交叉极化隔离度等;能分析天线增益。同时可实现测试结果的自动保存,最大的优点是所有的测试操作都是由软件控制,方便非专业人员操作。

参考文献:

- [1] 谢处方,饶克谨.电磁场与电磁波[M].第4版.北京:高等教育出版社,2006.
- [2] 董国华.微波暗室天线自动化测试系统及误差分析[D].南京:南京理工大学,2005.
- [3] 吕 杨.天线远场专用测试系统的设计与实现[D].西安:西安电子科技大学,2006.
- [4] 钟顺时.天线理论与技术[M].北京:电子工业出版社,2011.
- [5] Pratt T, Bostian C, Allnutt J. Satellite communication[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [6] 卢志刚,吴 杰,吴 潮,等.数字伺服控制系统与设计[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [7] Osborn G. 嵌入式微控制器与处理器设计[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [8] 胡寿松.自动控制原理[M].第4版.北京:科学出版社,2001.
- [9] 李友平.容灾地球站天线伺服控制系统的设计与研究[D].南京:南京邮电大学,2012.
- [10] 魏 清.基于 ARM 的嵌入式船载卫星通信地球站的软硬件设计[D].南京:南京邮电大学,2014.
- [11] 陈 明,张京妹.控制系统可靠性分析[M].西安:西北工业大学出版社,2006.
- [12] AT91 ARM thumb microcontrollers[M]. [s. l.]: Atmel Corporation, 2008.
- [13] Alexander C K, Sadiku M N O. Fundamentals of electric circuits[M]. 5th ed. 北京:机械工业出版社,2013.
- [14] 魏永明,耿 岳,钟书毅. Linux 设备驱动程序[M].北京:中国电力出版社,2005.
- [15] 李连升,张志英,刘绍球.现代伺服控制[M].北京:国防工业出版社,1987.
- [16] Rohde U L, Whitaker J C. Communications receivers: DSP, software radios, and design[M]. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

微波暗室远场天线测试转台伺服系统的设计

作者：[余亚飞](#)，[贾平平](#)，[YU Ya-fei](#)，[JIA Ping-ping](#)
作者单位：[南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京, 210003](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)[ISTIC](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2015(10)

引用本文格式：[余亚飞](#).[贾平平](#).[YU Ya-fei](#).[JIA Ping-ping](#) [微波暗室远场天线测试转台伺服系统的设计](#)[期刊论文]

-[计算机技术与发展](#) 2015(10)