

综 述

中国第1个天线时域近场测量系统

王楠, 薛正辉

(北京理工大学 电子工程系, 北京 100081)

摘要: 介绍了天线近场测量的历史以及中国第1个天线时域近场测量系统的建立过程和系统组成。指出时基修正和幅度修正技术是天线近场测量由理论向工程实际转化的关键技术, 介绍了修正系统的构成和基本计算方法, 并给出了修正前后测量结果的对比。在频域近场技术的背景下对时域近场的技术特点进行了分析, 指出了天线时域近场测量技术的独到之处和应用前景。

关键词: 天线时域; 近场测量; 时基修正; 幅度修正

中图分类号: TN821⁺.8 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2008)01-0001-05

The First Antenna Time Domain Near Field Measurement System in China

WANG Nan, XUE Zheng-hui

(Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The antenna near field measurement history and the building process of the first antenna time domain near field measurement system in china were introduced. It was pointed out that time base correction and amplitude correction were the key techniques in the transformation of time domain near field measurement from theories to practice. The correction system and algorithms were introduced, and the compare between the measuring results with and without correction were also presented. Based on the analysis of time domain near field technique on the background of frequency domain near field technology, the specialties and application foreground of time domain near field technique were put forward.

Key words: antenna time domain; near field measurement; time base correction; amplitude correction

天线时域近场测量是一种新兴的天线测量技术, 是在频域近场技术的基础上发展而来的。简而言之, 就是用一个时域脉冲去激励被测天线, 而与时域接收设备相连的探头在采样架的带动下在一个采样面上 (一般来说是平面) 采集被测天线的时域近场, 进而利用所采取的时域近场通过近远场变换算出被测天线的时域远场, 以及再通过口面反演算出被测天线的时域口径场的方法。因为天线时域场和频域场为 Fourier 变换关系, 所以天线时域近场测量所获得的结果

既可以是时域的也可以是频域的。1994 年美国 Rome 实验室的 Thorkild B. Hansen 和 Arthur D. Yaghjian 首先提出了不带探头修正的时域平面近远场变换理论^[1-2], 并于 1995 年发展了带探头修正的时域平面近远场变换理论^[3], 这标志着天线时域近场测量技术的产生。此后人们开始致力于这项技术的工程化研究, 1997 年荷兰 Delft 大学率先进行了这方面的实验^[4], 2002 年北京理工大学建立了我国第1个天线时域近场测量系统, 经过 5 年的努力完成了理论原形向工程

收稿日期: 2007-11-12

作者简介: 王楠(1973-), 男, 天津人, 博士研究生, 主要从事相控阵天线及天线时域近场测量的研究。

实际的转化,并在 L 至 X 波段有不逊色于国外频域近场测量系统的水平^[5]。

1 我国第 1 个天线时域近场测量系统

1.1 系统组成

1997 年北京理工大学 EMC 实验室即开始了对

天线时域近场测量技术的研究。从 1997 年至 2004 年主要进行的是理论研究和数值仿真工作,分析了探头修正误差、采样位置误差、时间基准误差和采样面截断误差对测量结果造成的影响^[6-9],为研究工作打下了初步的基础。

2002 年北京理工大学 EMC 实验室着手建立我国第 1 个天线时域近场测量系统,系统分为硬件系统和软件系统。详细的硬件系统框图如图 1 所示。

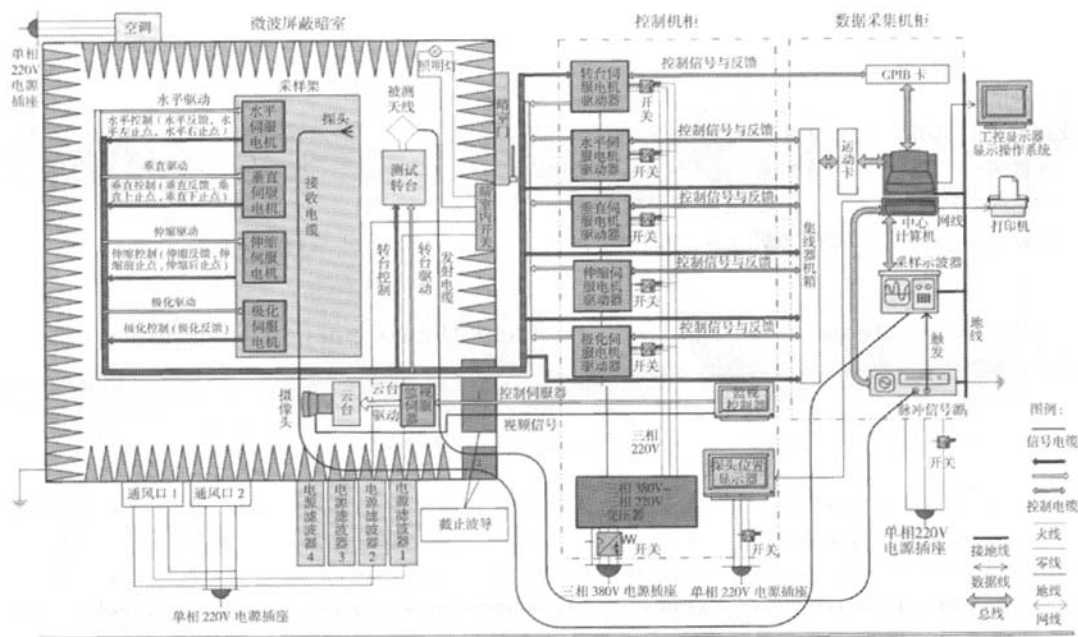


图 1 天线时域近场测量系统组成框图

Fig.1 Architecture of antenna time domain near field measurement system

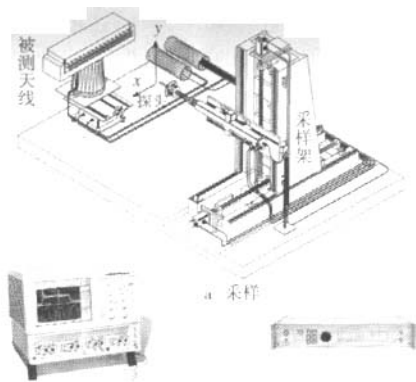
硬件系统包括:暗室分系统、采样架分系统、电子设备分系统、转台、中心计算机、测试探头、电缆及外设。暗室分系统包括:微波暗室、截止波导、电源滤波器、暗室内电源、照明设备、监视器及摄像头、空调设备、通风口及烟感探头;采样架分系统包括:集线器机箱、伺服电机驱动器、伺服电机、采样架、探头位置显示器及三相 380 V - 三相 220 V 电源变压器;电子设备分系统包括:窄脉冲信号源、采样示波器及衰减器;转台:一个自由度的方位旋转转台;中心计算机:内插运动控制卡和 GPIB 卡;测试探头包括:L 到 Ku 波段开口波导探头。

图 2 所示为时域近场测量的主要设备,其中包

括采样架、脉冲信号源和数字采样示波器。在测量过程中,由脉冲信号源激励被测天线,采样架带动探头在近场采样面上接收信号,经电缆传至采样示波器进行数据采集。

图 3 为天线实测场景,其中被测天线为 20 dB 标准增益喇叭。

软件系统包括采样控制软件 and 数据处理软件两部分,均由中心计算机掌握。采样控制软件包括 GPIB 卡控制程序和运动卡控制程序。GPIB 卡控制天线转台、窄脉冲信号源和采样示波器的工作;运动卡控制采样架的运行。数据处理软件包括时间门处理程序、小波降噪程序、离散 Fourier 变换程序、近场



b TDS8000B数字采样示波器 c AVH-S-1-B脉冲信号源

图2 时域近场测量系统的主要设备

Fig.2 Main equipments of time domain near field measurement system

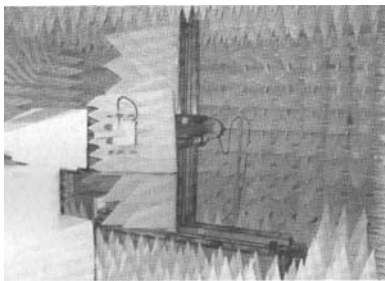


图3 天线实测场景

Fig.3 Picture of measuring process

分布重建程序、近远场变换程序、误差修正程序以及结果输出程序。软件系统框图如图4所示。

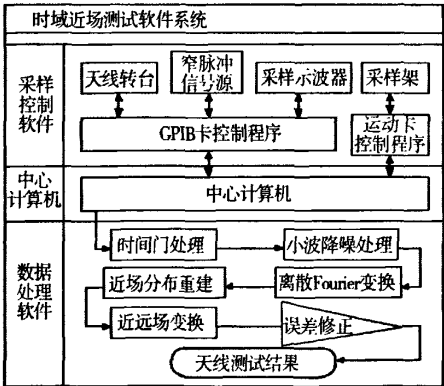


图4 天线时域近场测试软件系统框图

Fig.4 Frame of antenna time domain near field measurement software system

1.2 时基误差、幅度误差的修正方法

在系统刚组建时的几次验证性实验中,发现测量的方向图与所预期的相比完全不同。在查找原因的过程中首先排除了计算程序出现错误的可能性。在此基础上,采样点的位置精度和采集信号波形的精度决定了测量结果的精度。首先,微波暗室按照标准建造,满足测量要求。采样架的运动精度为0.01 mm,误差也在允许范围之内。采样示波器在幅度上为12位 A/D 采样,时间精度为飞秒级,满足测量的要求。脉冲信号源输出脉冲宽度 < 130 ps,幅度 10 V,而时基抖动为 15 ps。经研究发现脉冲信号源的 15 ps 时基抖动正是造成测量误差的主要原因。并且在实际测量过程中还发现,脉冲信号源所输出的信号幅度也有大约 10% 的变化。因此脉冲信号源的时基抖动和幅度变化是系统的主要误差来源。

如图5所示,脉冲信号源的输出信号经过一个

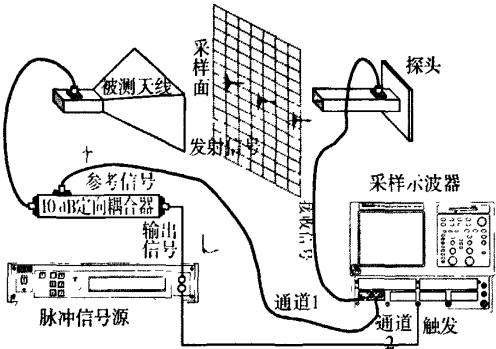


图5 时基修正系统连接示意

Fig.5 System combination of time base correction

10 dB 定向耦合器被分成两路,从定向耦合器主路输出的信号作为发射信号给被测天线馈电,由被测天线辐射后被探头在采样面上接收,进入采样示波器的通道1,构成测量通道;从定向耦合器支路输出的信号作为参考信号经由电缆直接进入采样示波器的通道2,构成参考通道。当探头运动到某一采样点位置时,由工控计算机向采样示波器发送指令,同时采集通道1和通道2的信号。这样当探头在每一个采样点采样时,脉冲信号源输出信号的变化情况实时地被通道2所记录,通过适当的信号处理方式将脉冲信号源的时基抖动和幅度变化提取出来就可

以修正通道1的采样信号。

图6和图7为测量S波段标准增益喇叭得到的被测天线两个主面的方向图,图中包含了各种方法

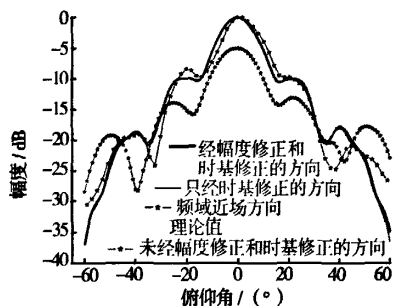


图6 3.3 GHz 被测天线 E 面测量结果

Fig. 6 The antenna E plane measuring results in 3.3 GHz

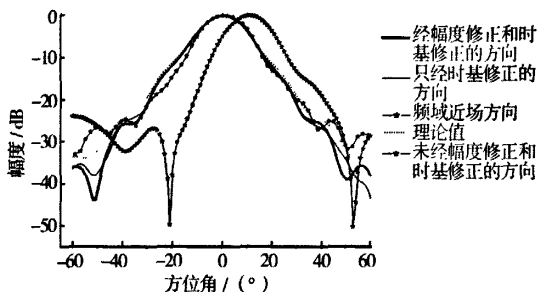


图7 3.3 GHz 被测天线 H 面测量结果

Fig. 7 The antenna H plane measuring results in 3.3 GHz

所得结果的对比,其中频域近场方向图为 NSI 频域近场测量系统的测量结果。可以看出:未经时基和幅度修正的方向图严重变形,而经过时基修正后的方向图十分接近理论值和频域近场测量的结果,且

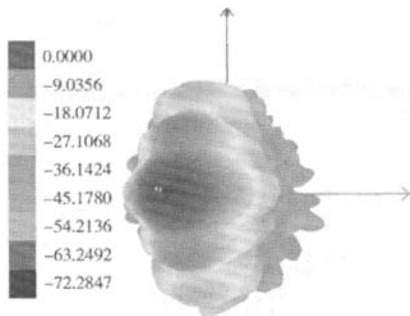


图8 经时基修正幅度修正的3.3 GHz 被测天线立体方向图

Fig. 8 Antenna 3.3 GHz 3D pattern measuring with time base correction and amplitude correction

幅度修正后结果有进一步的改善。还可以看出:经过时基修正和幅度修正的方向图与只经过时基修正的方向图十分接近,这说明时基误差是时域近场测量误差的主要来源,而测量结果对幅度误差并不敏感。此外,将时域近场测量结果同频域近场测量结果进行对比可以看出,时域近场测量结果更接近理论值,这说明时域近场测量的精度不逊于频域近场测量的精度。

2 天线时域近场测量技术的特点

这项技术如今受到了人们越来越多的关注,运用该技术不仅可以获得传统的频域近场测量所获得的一切信息,而且较之后者还有以下3个明显的优势。

1) 十分适用于超宽带(UWB)天线的测量。因为时域近场测量可以在一次采样过程中获得被测天线通带内的全部信息,进而可以获得全通带内任意频点的方向图,因此其效率是非常高的,而频域近场的逐点扫描或多点扫描无论是从效率还是从灵活性上根本无法与之相比。

2) 可以获得被测天线的瞬态场,为研究天线的前期场性能提供了测量技术的保障。由于天线注满时间、网络响应、辐射体索默菲前兆等效效应的影响,天线的前期场实际上是非线性的,这种非线性在时域上表现为信号波形的畸变,并且天线口径越大、网络越复杂畸变越严重^[10]。对于大威力、高精度雷达来说,正是用大口径天线发射、接收窄脉冲信号,因此其前期场性能如何是一个不能回避的重要问题。在此问题上,时域近场测量技术的纯时域近远场变换和纯时域口面反正演正可大显身手,而频域方法则无能为力。

3) 信号处理手段丰富,可以使实际测量更逼近理论模型,从而提高测量精度。一个典型的例子是:超低副瓣天线测量的难点在于电磁波在探头与被测天线之间的多次反射使得探头修正理论的精度受到限制(探头修正理论是忽略多次反射效应的),而在对被测天线的散射特性一无所知的前提下,建立考虑多次反射效应的探头修正理论是不可能的。在时域近场测量中,通过适当地选取采样面的位置和激励脉冲的宽度,可以用时间门技术去掉多次反射的影响,从而大大提高测量精度。

此外,时域近场测量技术还可以支持为天线建立新的时域考评体系。研究证明天线的辐射性能可以用时域场去衡量,并比传统的频域方向图更直观、更生动、更全面^[10]。

在天线时域近场测量所包含的诸多技术中,时基修正和幅度修正是两个最重要的误差修正技术,是将理论转化为工程实际的关键。其出发点是为了弥补设备能力的不足。其中又以时基修正技术最为关键^[11],无它则测量无从获得正确的结果。

3 结论

天线的时域近场测量是一种新兴的天线测量技术,这种技术能够高效、全面、真实地反映被测天线的辐射性能,提高天线测量效率^[12]。从本质上说频域空间是一个数学上的中间过程,真正的频域空间并不存在,真实世界总是在一定的时空范围内存在的。从这个意义上说,时域天线测量技术能更好地反映事物的真实性。从实验结果看,这种技术不仅切实可行,而且其测量精度不逊于频域近场技术。时域近场技术发展前景广阔,在这种技术的基础上,大量的时域信号分析技术可以同天线测量技术相结合,这对二者的发展都有良好的促进作用。

参考文献:

- [1] HANSEN Thorkild B, YAGHJIAN Arthur D. Planar Near-field Scanning in the Time Domain, Part 1: Formulation [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1994, 42(9): 1280 - 1291.
- [2] HANSEN Thorkild B, YAGHJIAN Arthur D. Planar Near-field Scanning in the Time Domain, Part 2: Sampling Theorems and Computation Schemes [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1994, 42(9): 1292 - 1300.
- [3] HANSEN Thorkild B, YAGHJIAN Arthur D. Formulation of Probe - corrected Planar Near - field Scanning in the Time Domain [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1995, 43(6): 569 - 584.
- [4] DE JOUGH, HAJIAN R V, LIGTHART M, et al. Antenna Time Domain Measurement Techniques[J]. Antennas and Propagation Magazine IEEE, 1997, 39(5): 7 - 11.
- [5] WANG Nan, XUE Zhenghui, YANG Shingming, et al. Antenna Time Domain Planar Near Field Measurement System [J]. International Journal on Wireless and Optical Communications, 2006, 3(2): 1 - 7.
- [6] 陈国华. 天线平面时域近场测试误差仿真分析研究[D]. 北京:北京理工大学,2004:45 - 51.
- [7] 刘超,薛正辉,高本庆,等. 时域近场测量采样平面选择分析[J]. 电波科学学报, 2000, 15(4): 512 - 516.
- [8] 刘超,薛正辉,高本庆,等. 时域近场测试中的采样面截断误差分析与修正[J]. 微波学报, 2000, 17(2): 81 - 84.
- [9] 刘超,薛正辉,高本庆,等. 时域近场测试中的探头误差分析与修正[J]. 电子学报, 2001, 29(12): 1689 - 1692.
- [10] 王楠,薛正辉,杨仕明,等. 超宽带超低副瓣相控阵天线时域远场辐射特性研究[J]. 电子学报, 2006, 34(9): 1605 - 1609.
- [11] WANG Nan, XUE Zhenghui, YANG Shingming, et al. Time Base Correction Technique in Antenna Time Domain Planar Near Field Measurement[C]//ZHENGHE FENG. 2007 5th International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings. Beijing: Chinese Institute of Electronics Press, 2007:106 - 109.
- [12] WANG Nan, XUE Zhenghui, YANG Shingming, et al. Fast Sample Technique in Antenna Time Domain Near Field Measurement[C]//YINGHONG WEN 2007 4th International Symposium on Electromagnetic Compatibility Proceeding. Beijing: Chinese Institute of Electronics Press, 2007:507 - 510.

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)，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>