

· 测试技术 ·

中图分类号:TN821

文献标志码:A

文章编号:1004-7859(2013)01-0077-03

## 平面近场天线多任务测试系统工程设计

邵余峰, 侯 飞, 陈升一

(南京电子技术研究所, 南京 210039)

**摘要:**提出了一种平面近场天线多任务测试系统的工程设计方法,该方法通过增加多功能天线测试控制器和远控微波开关对传统平面近场测试系统进行升级,使其具备对平面相控阵雷达天线多频点、多波位、多通道一次最多可测试35个天线方向图的测试能力。对新引入的幅相误差及扫描面截断误差进行了计算分析。大型相控阵天线的实测结果表明,在提高测试效率的同时,其测试精度亦能满足测试要求。

**关键词:**相控阵天线;平面近场;多任务测试;工程设计

## Engineering Design of Planar Near-field Antenna Multi-tasks Measurement System

SHAO Yu-feng, HOU Fei, CHEN Sheng-yi

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, China)

**Abstract:** A method of engineering design for planar near-field multi-tasks measurement system is introduced. This method is to upgrade traditional planar near-field measurement system in order to measure phased array antenna on multi-frequencies. Multi-beam positions, multi channels by 35 antenna patterns measured once at best through adding a multi-function testing antenna controller and a remote microwave switch. New import source of amplitude-phase error and scanning plane truncation error are calculated and analyzed. Results of testing a phased array antenna show that it not only improves efficiency of measurement but also makes no effect on precision of measuring antenna in planar near-field.

**Key words:** phased array antenna; planar near-field; multi-task measurement; engineering design

### 0 引言

平面近场天线测试系统是平面相控阵雷达天线进行故障诊断、幅相校正、性能测试的必备手段。随着相控阵天线技术的蓬勃发展,在工程上已对提高平面近场相控阵天线测试效率提出了迫切需求。与传统的单任务天线近场测试仅能进行单频点天线方向图性能测试相比,天线多任务近场测试具备测试多频点、多通道、多波位,一次能测试多个相控阵雷达天线方向图的能力。本文介绍了通过增加波束控制及通道切换设备对传统单任务近场测试系统进行升级的工程设计方法,使其具备对相控阵天线进行10个频点、7个波位、3个通道,相关参数可进行组合,一次最多可测试35个天线的能力。

### 1 工程设计的原理及方法

天线多任务测试系统原理,如图1所示。

工程设计的基本原理为:探头根据预先设置的采样参数,随扫描架运动经过每个测试点,经过测试点的同时,伺服驱动分系统发出一个触发脉冲给多功能天

线测试控制器,触发该控制器发出一串经过编码的遥控信号、定时信号、仪表触发信号、微波开关切换信号,控制被测天线按时序要求工作在不同频点、不同波位、不同通道的测试状态下,并触发仪表进行测试及数据存储,测试时序图如图2所示。

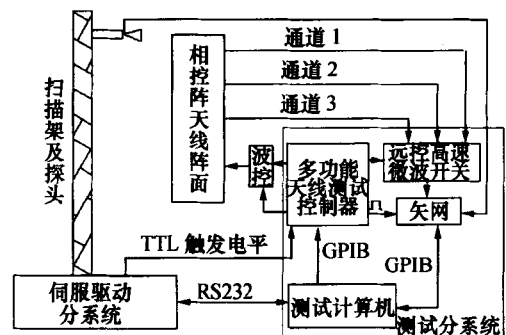


图1 天线多任务测试系统原理图

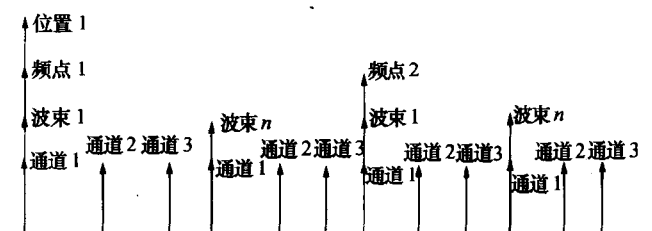


图2 测试系统时序图

通信作者:邵余峰 Email:shaoyf190@sina.com  
收稿日期:2012-09-18 修订日期:2012-11-18

伺服控制计算机和测试主控计算机通过 RS232 总线通信握手以确保伺服运动的同步;仪表测试数据则通过 GPIB 总线传递给主控计算机进行数据存储。

与传统单任务系统相比,多任务测试分系统在工程设计上的最大不同是增加了一台多功能天线测试控制器和一台远控高速微波开关。

多功能天线测试控制器是多任务测试系统的核心,它替代雷达的雷控和定时分系统仿真产生相控阵天线正常工作所需的雷控信号和定时信号,另外还产生一系列测试定时与同步信号。该控制器设计有雷控信号仿真电路、定时信号仿真电路、测试同步信号仿真电路、GPIB 接口电路以及信号转换电路和电源。在天线测试前控制器经 GPIB 接口电路接收主控计算机的指令,将需要测试的天线各波位码、频率码记录下来交给雷控、定时信号仿真电路,然后,根据雷控定时协议进行解码并输入缓存。测试开始后,雷控、定时信号电路接受伺服分系统的外触发信号,在每个测试点实时发送雷控、定时信号给天线进行波位切换。同时,测试同步信号仿真电路也与雷控、定时信号同步协调发出测试仪表触发、数据采集、测试错位校对等信号。最终将天线测试所需的雷控、定时、测试触发、数据采集、数据存储各种信号协同控制,这种仿真信号设计频率为 20 MHz,可完全满足同步控制的要求,实现多任务测试。

远控高速微波开关根据多功能天线测试控制器发出的控制信号对相控阵天线各个射频通道进行切换。由于测试时伺服系统控制扫描架探头连续运动且不停,在 2 个测试点之间大约 50 ms 的时间内,测试通道需要切换几十次。因此,必须使用高速的微波开关,这种微波开关的性能要求很高,要求速度快,要稳定性高。设计上选用了高稳定 4 通道 PIN 开关作为开关主体,这种开关的切换速度为 10 ns,通道间隔离度达到 80 dB,相位稳定性小于  $0.01^\circ$ ,可满足天线测试的需求。

多任务测试系统通过软件预先设定测试频率、仪表源功率、天线待测通道、波束角度以及扫描架运行范围和扫描方式等各项测试参数。数据处理软件用来分解转换测试数据,将测试系统采集到的各个采样点的幅相数据进行计算,得到天线方向图性能参数并显示图形。由于平面近场测试数据计算天线方向图的算法已经成熟,本软件继承了传统单任务数据处理软件的算法及功能,具体不再详述。软件增加了将测试数据转换成相应的频点、波位、通道的单个测试数据的功能,数据转换的顺序与图 2 中的测试时序相对应。

## 2 测试精度的分析与计算

平面近场误差源可归纳为 18 项<sup>[1]</sup>,目前对平面近场测量国内外学者已通过理论分析和计算机模拟得到

了各误差源引起的远场误差的上界,各项误差源的减小和补偿技术已被用来提高测试精度和结果的可靠性<sup>[2]</sup>。由于多任务测试系统利用了原有单任务系统的扫描架、暗室环境、探头及射频电缆,继承了天线性能的计算及误差修正方法,由于矢网采用 R&S ZVA24,精度及动态范围还有待提高。因此,本文不再对每项误差进行理论分析,而是着重分析升级成多任务系统后所引入的新的误差源对原有测试精度的影响。

由于多任务系统增加了多功能天线测试控制器和远控微波开关,使得天线近场测试引入了 2 个新的误差源。

一般,近场测试数据方向图计算公式为

$$f(\theta, \varphi) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N I_{mn} \cdot e^{j[k \cdot ((m-1) \cdot dx \cdot \sin\theta \cdot \cos\varphi + (n-1) \cdot dy \cdot \sin\theta \sin\varphi) + \phi_{mn}]} \quad (1)$$

式中: $I_{mn}$ 为每个采样点的幅度数据; $\phi_{mn}$ 为每个采样点的相位数据。

先分析远控微波开关所引入的误差源,微波开关的通道隔离度为 80 dB,相位误差为  $0.01^\circ$ 。将这 2 个参数代入式(1),得到

$$f(\theta, \varphi) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (I_{mn} + 10^{-8}) \cdot e^{j[k \cdot ((m-1) \cdot dx \cdot \sin\theta \cdot \cos\varphi + (n-1) \cdot dy \cdot \sin\theta \sin\varphi) + \phi_{mn} + \frac{0.01}{180} \pi]} \quad (2)$$

我们将单任务测试的 S 波段标准喇叭的近场数据分别代入式(1)、式(2)进行计算,并进行方向图比较,如图 3 所示。

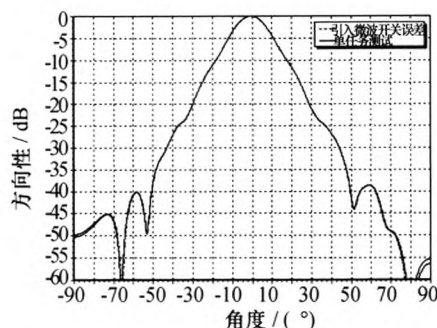


图3 引入远控微波开关的方向图比较

由图 3 可看出,远控微波开关所引入的误差对天线性能的影响可忽略。

多功能天线测试控制器同步控制多任务切换,本身并没有输入输出射频信号,因此其本身对射频信号没有影响。但多任务测试由于频点切换、通道切换、波位切换、仪表响应时间、GPIB 卡 SCPI 指令的传输时间、测试数据传输与存储等时间的累积,在某一采样位置完成所有任务需 50 ms。考虑到多任务的切换时间及扫描架 0.12 m/s 的运行速度,它会使得在多任务测

试中最后一个天线方向图的扫描范围较第一个方向图的扫描范围偏移 6 mm,如图 4 所示。

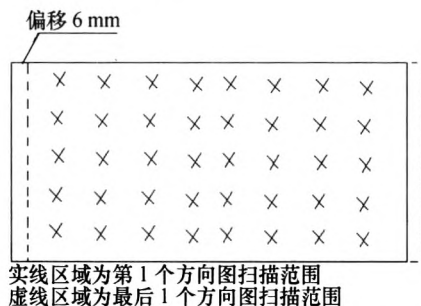


图 4 多任务测试天线方向图扫描区域的变化

这是多任务测试系统带来的扫描面截断误差,文献[3-4]给出了平面近场扫描面截断误差理论分析。在此项工程设计中,考虑可信域(最大可信远场角)为  $-60^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ <sup>[6]</sup>,根据扫描面选取原则<sup>[7]</sup>,取扫描面积为  $1.5 \text{ m} \times 1.3 \text{ m}$ ,对 S 波段标准增益喇叭进行 2 次如图 4 所示的近场测试来判断该项误差的影响,其测试的方向图如图 5 所示。

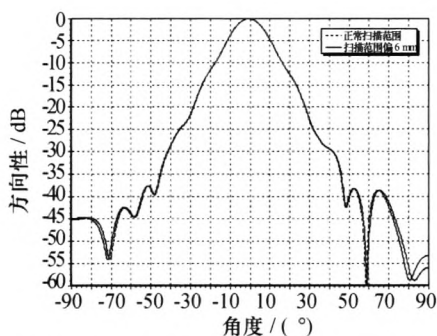


图 5 扫描范围偏移 6 mm 时方向图变化

多任务测试相对于单任务测试,其扫描范围 6 mm 的偏移量在 S 波段,  $-60^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$  的最大可信远场角区域内对测试精度的影响可忽略。

为验证以上分析,我们对大型 S 波段相控阵天线在近场进行了单任务和多任务的方向图对比测试,测试结果如图 6 所示。对比测试表明多任务测试依然具有高的测试精度。

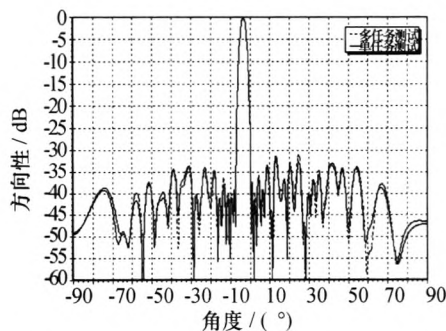


图 6 单任务测试及多任务测试方向图比较

### 3 结束语

本文讨论了对传统单任务平面近场测试系统通过增加远控微波开关和天线多功能测试控制器实现对相控阵天线多频点、多波位、多通道的多任务测试能力的工程设计方法,并在 S 波段对由此引入的误差源进行了分析。该多任务系统已在大型相控阵天线近场测试中得到应用,在提高测试效率的同时,通过单任务及多任务实测方向图的对比,证明了所引入的误差源在  $-60^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$  的最大可信远场角区域内对测试精度的影响可忽略。对于低于 S 波段的频段,由于采样间隔足够大,本文的方法仍将适用;而对于高于 S 波段的频段,特别是 X 波段及以上频段由于采样间隔缩小到毫米级,必须考虑与扫描架运行速度的匹配问题同时对扫描架运行精度提出了更高要求,多任务测试在工程上将受限制,但误差分析方法仍将适用。

当然对有源相控阵天线阵面,其方向图测试的一致性,还受到有源器件本身性能的影响,如功率输出的稳定性、移相精度的稳定性、对温度等环境因素的敏感性、有源阵面系统热噪声等。不过这些因素都属于待测天线本身的问题,不能归结到天线测试多任务系统中。

### 参考文献

- [1] Allen C N. Error analysis techniques for planar near-field measurements systems[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1986, 34(6): 754-768.
- [2] Allen C N. Effect of random errors in planar near-field measurement[J]. IEEE Transactions on Antenna and Propagation, 1988, 36(6): 769-780.
- [3] 王化深, 李娟. 天线平面近场测量的扫描面截断误差分析[J]. 电子测量与仪器学报, 2006, 20(3): 10-13.  
Wang Huashen, Li Juan. Analysis of scanning plane truncation error for the antenna planar near-field measurement[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2006, 20(3): 10-13.
- [4] 宋维嘉, 闻映红. 天线平面近场测量的扫描面位置误差分析[J]. 电子测量技术, 2007, 30(5): 21-24.  
Song Weijia, Wen Yinghong. Analysis scanning plane location error for the antenna planar near-field measurement[J]. Electronic Measurement Technology, 2007, 30(5): 21-24.

邵余峰 男, 1971 年生, 本科, 硕士, 高级工程师。研究方向为相控阵雷达天线系统集成。

侯飞 男, 1977 年生, 高级工程师。研究方向为自动化测试技术。

陈升一 男, 1970 年生, 工程师。研究方向为自动控制技术。

## 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](http://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](http://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](http://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>