

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2107836

双极化多任务平面近场测试系统设计

陈金^{1,2} 余伟^{1,2} 乔淑君¹

(1.南京电子技术研究所 南京 210013; 2.天线与微波技术国家重点实验室 南京 210013)

摘要: 针对大型相控阵雷达天线测试任务量大、测试周期长的特点,设计了一套高效率的多极化、多任务测试系统;该系统是在传统平面近场测试系统的基础上引入多功能信号仿真器、单刀多掷微波开关进行升级,并采用高隔离度的双极化天线作为采样探头,利用控制信号将雷达天线的工作极化与采样探头的极化进行两两组合周期、分时测试的方法,单个测试周期内完成对雷达天线的多极化、多任务的同时测试。实测结果表明,与常规多任务测试系统相比,该系统缩短了测试时间 200% 以上,大幅提高了测试效率,同时其测试精度亦能满足要求。

关键词: 双极化;多任务;高效率;近场测试系统

中图分类号: TN820 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 140.35

Design of dual polarized multi-task near-field measurement system

Chen Jin^{1,2} Yu Wei^{1,2} Qiao Shujun¹

(1. Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210013, China;

2. National Key Laboratory of Antenna and Microwave Technology, Nanjing 210013, China)

Abstract: Aims at the characteristics of large amount of test tasks and long test cycle of the large-scale phased array radar antenna, a high efficient multi-task plane near-field measurement system is introduced, based on traditional near-field measurement system, through adding a multi-functional signal simulator, single pole multiple throw RF switch and a dual polarized antenna with high isolation, the simultaneous test of the multi polarization and multi task comes true. Compared with conventional multitasking test system, the results show that the measurement time can be reduced by 200% or more, the measuring efficiency has been greatly improved, and the test accuracy can also meet the requirements.

Keywords: dual polarized; multi-task; high efficient; near-field measurement system

0 引言

随着星载合成孔径雷达(SAR)^[1]技术的快速发展,星载相控阵雷达的功能日益多样化,相控阵雷达研发过程中的测试任务量(包含波束扫描、波束展宽、低副瓣等任务波束^[2])也逐渐增大,使得传统的单任务测试方法已无法满足天线测试需求,基于此多任务测试方法的设计成为当下系统设计的热点之一。文献[3]对近场多任务测试系统的设计方法进行了综述,对高效率的多任务测试系统提供思路;文献[4-5]对传统单任务测试系统进行了升级改造,实现了多任务测试的目的;文献[6-7]均通过提高测试流程中设备的使用效率,缩短了测试时间,达到提升测试效率的目的;然而,上述提及的多任务测试系统均未涉及到相控阵天线的多极化测试。与单极化的雷达天线相比,多极化雷达天线的测试任务量成倍增加,如何提高单个测试周期内的多

极化、多任务的测试,进一步降低天线阵面的测试时间,提高测试效率,是一个亟待解决的问题。

本文提出了一种双极化的多任务平面近场测试系统。该测试系统借助高隔离的双极化天线作为采样探头,利用控制信号将雷达天线的工作频点、工作波位、工作极化及采样探头的工作极化实现同步切换,实现多极化、多任务的测试,从而在一个测试周期内即可同时完成天线阵面的主极化、交叉极化波瓣图的测试,同时提高测试设备的最大使用效率,最多可以完成的测试任务量达 1 000 量级,避免了雷达天线多极化测试时旋转采样探头带来的误差及时间损失,大幅地缩短了雷达天线的测试时间,提高了测试效率。

1 近场测试方法

星载相控阵天线对环境的气压、温度、湿度等条件要求非常严格,其研制过程中的性能测试均在微波暗室内^[8]进

行,因此其测试一般采用平面近场测试方法^[9-10]。

与天线的远场测试^[11]不同,天线近场测试技术^[12-14]是通过利用一个特性已知的探头,在离待测天线几个波长的近场区域内某一个表面上进行扫描,测得天线在这一平面上辐射近场的幅度和相位的分布随位置变化的关系。根据电磁辐射的惠更斯-基尔霍夫原理和等效性原理^[15],某初级源所产生的波阵上的一点都是球面波的次级源,也就是说从包围源的表面上发出的场可以看作是这一表面上点源所辐射的球面波场的总和。分析一个辐射问题只需要获得一个包围辐射场的假想的表面电流和表面磁流,由于无源空间电场和磁场具有确定的关系,故仅需获得表面电流的分布,通过集合所有表面电流分布对远场某角度的贡献,应用严格的数学变换得到远场特性。这种测试手段完全突破了远场条件的限制,使得电大尺寸天线(如电扫描阵列天线、多波束天线等)的测试可以完全搬到测试室内部,有很好的工程实用性其应用日益广泛。

2 多极化多任务近场测试系统设计

2.1 测试系统原理及组成

双极化、多任务平面近场测试系统原理如图 1 所示,图中粗实线为射频链路,虚粗线为低频控制链路。

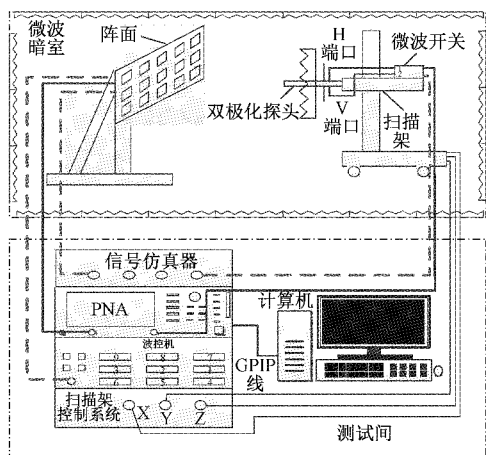


图 1 双极化多任务近场测试系统原理

测试系统工作原理为:预先设置扫描架的运行参数,双极化探头随着扫描架运行至每个测试点时,扫描架控制系统^[15]发出触发脉冲信号至多功能信号仿真器,触发其输出一串经过编译的嵌套的时序信号:波控时序信号、定时信号、微波开关切换信号及矢量网络分析仪采样信号等;控制雷达天线按时序要求工作于不同频点、不同极化、不同波位的状态,控制探头按时序要求进行工作极化切换,并触发矢量网络分析仪进行采样,实现对雷达天线不同频点、不同波位、不同极化的测试。预先对多功能信号仿真器设定多组嵌套的时序信号即可完成相控阵天线的多极化、多任务的测试。

测试系统的设备构成如表 1 所示。

表 1 测试仪表设备

序号	设备名称	技术要求/功能	数量
1	扫描架系统	控制扫描架	1 套
2	波控机	波控码布控	1 套
3	矢量网络分析仪	射频源、数据采样	1 台
4	信号仿真器	同步脉冲信号	1 台
5	测试计算机	数据处理	1 台
6	微波开关	端口隔离度 > 50 dB	1 个
7	双极化探头	端口隔离度 > 35 dB	1 个

2.2 测试系统设计

与传统平面近场测试系统相比较,双极化、多任务测试系统增加了多功能信号仿真器、单刀多掷微波开关及双极化采样探头。

多功能信号仿真器是多任务测试系统的控制核心。测试前,信号仿真器通过 GPIB 接口线接收主控计算机的指令后预先存储多组经过编码的嵌套的时序信号,部分时序信号如图 2 所示,其中 T_0 为单个任务的测试周期,量级为 1 000 ns, TH 时序信号、TV 时序信号为多极化雷达天线极化工作模式的控制信号, Trig in 为矢量网络分析仪采样的触发信号, Trig1 时序信号、Trig2 时序信号分别为单刀多掷微波开关两个射频端口的控制时序信号。测试时,每当扫描架运行至测试点,扫描架控制系统发出一个触发信号,触发多功能信号仿真器输出预先存储的时序信号并行发送至相控阵天线、微波开关及矢量网络分析仪等设备,一方面控制相控阵天线工作频点及波位的切换,控制探头工作极化模式的切换,另一方面,控制数据采集系统完成测试点的测试数据的采样,实现多任务测试。多功能信号仿真器的存储容量决定系统测试任务量的上限,本文设计的测试系统测试任务量可达 1 000 量级。

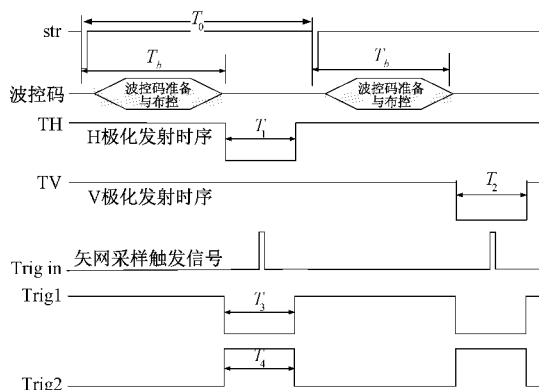


图 2 时序信号示意图

双极化采样探头、单刀多掷微波开关是测试系统实现多极化测试的核心。常规多任务测试系统均采用单极化的波导作为采样探头,其优点是交叉极化特性较好,一般对交叉极化特性具有较高要求的雷达天线,其测试均采用波导作为采样探头;其缺点是在切换探头工作极化时需要人为

或者机械旋转采样探头,一方面容易引入旋转的角度误差,亦可能造成探头与雷达天线之间距离发生变化,从而造成测试结果不准;另一方面,对于双极化的相控阵天线,需要多个测试周期才能完成主极化、交叉极化波瓣图的测试,测试效率较低。本文提出的双极化、多任务测试系统,将采用双极化的天线作为采样探头,将其与微波开关进行组合,微波开关的 2 个射频输出口分别与双极化探头的 H 极化、V 极化端口通过射频电缆连接,信号仿真器输出的 Trig1 时序信号、Trig2 时序信号分别控制微波开关的射频端口 1、射频端口 2 的通断,从而控制双极化探头工作极化状态的切换;与此同时,多功能信号仿真器并行输出的 TH 时序信号、TV 时序信号控制相控阵天线的工作极化状态,因此,可形成如下的测试状态:H(天线)H(探头)、H(天线)V(探头)、V(天线)H(探头)、V(天线)V(探头)。在无需旋转探头,的情况下即可完成对相控阵天线的主极化、交叉极化波瓣图的测试,实现多极化测试。

通过优化扫描架在测试点的停留时间,使其大于任务数量 $\times T_0$,待完成所有测试任务后再运行至下一个测试点,确保了多极化、多任务的精确测试。

3 系统验证

利用多极化、多任务测试系统和常规多任务测试系统,对某星载相控阵天线进行了对比测试。相控阵天线方位向长 9.8 m,距离向宽 4 m,任务量为 1 000 个。为了验证测试系统的可靠性和稳定性,对一个波位(距离向扫描 -20° 、方位向不扫描)进行多次重复测试,图 3 为多极化测试系统测试的近场幅度分布图,图 4 为多极化测试系统测试的近场相位分布图,图 5 为两种测试系统测试的 H 极化方位向的对比波瓣图,图 6 为两种测试系统测试的 V 极化的距离向 20° 扫描的对比波瓣图,表 2 对结果进行了统计,测试结果表明:两套系统测试结果基本吻合,测试精度均满足要求;与常规多任务测试系统相比,本文的多极化测试系统缩短了测试时间 200% 以上。两套系统的测试结果存在差异是由于采用了不同的采样探头,探头之间存在性能差异,从测试结果可以看出,该测试系统已经能够满足大部分雷达天线的测试需求。

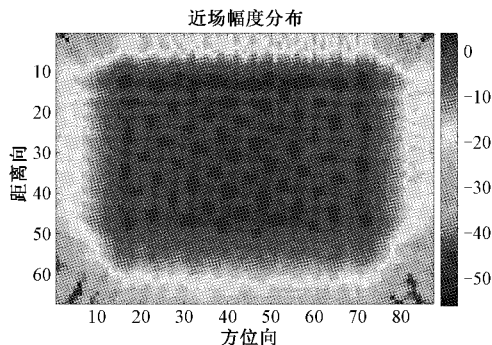


图 3 天线近场幅度分布图

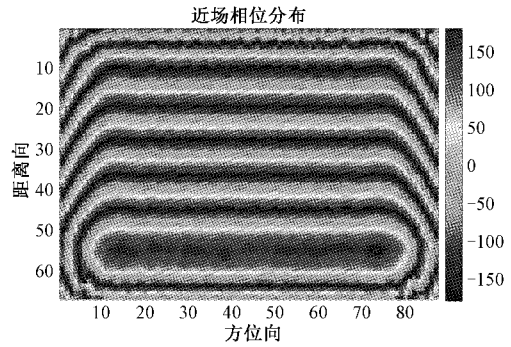


图 4 天线近场相为分布图

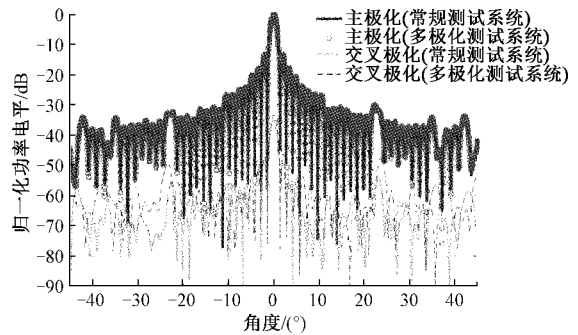


图 5 H 极化方位向法向波瓣图对比

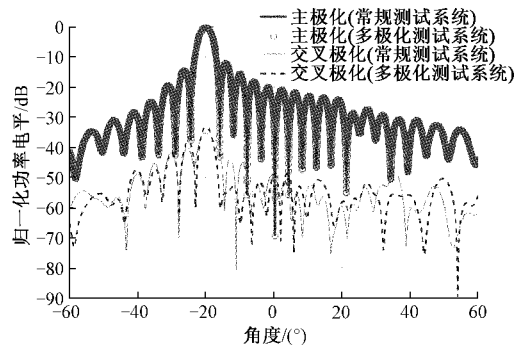


图 6 V 极化距离向扫描波瓣图对比

表 2 测试结果对比

测试项目		本文系统	常规系统	要求
指向精度/ $^\circ$	H 极化	-0.048	-0.038	$-0.1^\circ \sim$
	V 极化	-0.041	-0.045	0.1°
波束宽度精度/%	H 极化	0.47	0.41	0.5
	V 极化	0.38	0.4	
交叉极化/dB	H 极化	-32.3	-34.7	-30.0
	V 极化	-33.1	-35.1	
时间效率	次数	1	2	—
	总时长/h	7.2	16.5	

4 结 论

本文设计了一套多极化的多任务测试系统,利用雷达

天线的工作极化与采样探头的极化两两组合周期、分时测试的方法,单个测试周期内即完成雷达天线的主极化、交叉极化波瓣图的测试,大幅缩短了测试时间,提高了测试效率。该系统已在某星载大型相控阵天线近场测试中得到了应用,实测结果表明,该测试系统具有较高的可靠性和稳定性,为高效率的测试系统设计提供了技术支撑。当然,该系统还存在不足,后期还需对采样探头的极化纯度做进一步的优化设计。

参考文献

- [1] 吴钊君,胡东,颜振亚,等. SAR 干扰技术综述[J]. 信息化研究,2021,47(3):1-13.
- [2] 李灏,周朝阳. 多波束比幅系统测向校准方法[J]. 电子测量技术,2020,43(1):110-115.
- [3] 袁婕. 浅谈相控阵雷达天线近场多任务测试系统设计方法[J]. 中国新通信,2017,19(5):61-61.
- [4] 邵余峰,候飞,陈升一. 平面近场天线多任务测试系统工程设计[J]. 现代雷达,2013(1):77-79.
- [5] 王耀华. 一种新型相控阵雷达天线测试系统设计[J]. 中国新通信,2020,22(5):51-51.
- [6] 丁若梁,阎云涛,陈金龙. 相控阵天线多波束自动测试系统设计[J]. 电子测量技术,2020(11):148-152.
- [7] 徐凡. 一种卫星载荷地面测试系统的设计[J]. 无线电工程,2019,49(7):645-648.
- [8] 褚瑞,米进财. 基于锥形微波暗室的北斗导航天线测试系统[J]. 环境技术,2018,36(4):103-107,118.
- [9] 方鑫. 有源相控阵天线近场测试方法研究[J]. 舰船电子对抗,2018,41(5):108-110.
- [10] 周勇,郁佳婧,陈挺. 基于 CGFFT 和等效磁流法的天线近场测量方法研究[J]. 中国测试,2020,46(1):18-23.
- [11] ZHENG Z, ZHANG Y, SHI L, et al. An overview of probe-based millimeter-wave/terahertz far-field antenna measurement setups [measurements corner] [J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2021, 63(2):63-118.
- [12] 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.
- [13] 王建晓. 平面近场天线测量与多波束天线研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2016.
- [14] 李勇,李焱明,刘征. 基于多通道控制器的扫频近场测量[J]. 电子测量与仪器学报,2009,23(4):54-59.
- [15] 谭焯州,周昌杰,王茂泽. 平面近场反演技术[J]. 电子信息对抗技术,2019,34(3):61-64.

作者简介

陈金,工程师,主要研究方向为相控阵天线系统及天线设计。

E-mail:chenjinjiangxi@163.com

余伟,高级工程师,主要研究方向为相控阵天线系统设计。

E-mail:chenjinjiangxi@126.com

乔淑君,工程师,主要研究方向为天线系统设计。

E-mail:410786419@qq.com