

电子测量与仪器学会
第五届年会论文集

1994

電子工業出版社

电子测量与仪器学会 第五届年会论文集

电子测量与仪器学会编委会
电子部电子测量仪器情报网
合编

電子工業出版社

(京) 新登字 055 号

内 容 提 要

本论文集由电子测量与仪器学会第五届年会在全国范围内征稿, 经专家评审、优化汇编而成。为推广电子测量方面的新技术, 交流经验, 宣传成果, 特编辑出版此论文集。它包括四大部分:

一. 综述部分, 二. 基础部分, 三. 理论部分, 四. 电子技术应用部分。共编入了 107 篇。专业面广, 内容较为丰富, 对了解我国当前电子测量技术的最新动向与技术水平甚为有益。对从事于测量专业的工程技术人员、院校师生是一本有价值的参考资料。

本论文集在编辑过程中, 由于时间紧, 水平有限, 错误难免。请广大读者批评指正。

电子测量与仪器第五届年会论文集

电子测量与仪器学会编委会 合编

编辑部 电子测量仪器情报网

责任编辑: 魏永昌

电子工业出版社出版 (北京万寿路)

电子工业出版社发行

北京市林业大学印刷厂印制

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 27 字数: 654 千字

1994 年 5 月第 1 版 1994 年第 1 次印刷

印数: 500 册

ISBN7-5053-2569-8 / 2 · 273

前 言

电子测量与仪器学会是中国电子学会和中国仪器仪表学会的一个分会。本学会自1963年成立至今已整整31年。在这31年中，我们始终为推动我国电子测量技术的发展做出我们应有的贡献。在广大科技工作者积极支持与参与下，我学会工作越来越兴旺发达。第五届学术年会的论文，无论是在数量上还是质量上都超过往年。本届年会征得稿件共151篇。这些文章基本上反映了我国电子测量与仪器发展现状与动向。

本论文集分为四大部分。一是仪器发展的综合评述。二是以大规模集成电路测试为主发展起来的软件、理论等。三是基础性的测量与仪器。四是电子测量技术在各方面的应用。

1935年电子界泰斗F·E·Terman和J·M·Pettit出版了“无线电工程测量”一书。1952年此书改版为“电子测量”，已经成为经典著作。半个世纪以来，电子测量与仪器始终是理工科大学中的基础性课程之一。我国电子测量技术现有水平与国外相比，差距还是很大。为推动我国电子测量与仪器的发展，促进成果的推广，交流信息和加强联系，本学会与电子部电子测量与仪器情报网邀请了本行业的专家共同编辑出版了本论文集。在编辑过程中，得到了本行业专家以及本文集作者的热情支持与协助。在此深表感谢。由于时间仓促，水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

电子测量与仪器学会
电子部电子测量仪器情报网
1994.5.

目 录

一、综述部分

电子测试技术发展展望	陈光福 (1)
新兴微波技术的进展及对计量测试的需求	陈成仁 席德熊 蔡新泉 (5)
迎接 ATE 第四代技术	戴昌培 杨新涛 樊 浩 (11)
现代数字系统在线测试专家系统的研究	章小兵 陈光福 (16)
过程控制与检测系统中的 IEEE488 接口设计	吴晓峰 (21)
IEEE488. 2 标准的系统自动组态技术	袁 俭 顾亚平 (27)
基于 GPIB 总线的设备监测系统	石 磊 杜润生 吴 雅 何岭松 (31)
电子测量仪器可靠性预计	刘君华 古云波 (35)

二、基础部份

视觉监测横向透射法光纤几何参数测量	文玉梅 李 平 (40)
一个高速程控脉冲发生器	胡 军 (43)
保偏光纤对称轴自动定位的侧面图象监测原理和实现方法	李 平 文玉梅 藏卫军 (46)
大频偏调频参数自动测试技术	沈林平 (49)
一种基于 VXI 总线的战术导弹通用自动测试系统	李为民 瞿庆丰 徐琴华 匡 实 王厚军 陈光福 (53)
组建我国第一套 VXIbus 雷达自动测试系统的初步实践	林茂六 傅 平 魏子忠 (56)
BY2072 多功能标准源	汪铁华 (64)
电学量值传递新方法研究	刘 勇 (70)
一个高性能精密定时子系统	胡 军 张先戈 (74)
高稳定的恒温 8mm Gunn 振荡器	杨玉芬 王保强 杜 京 (78)
一种高精度恒流源的设计与分析	李宏生 (80)
现代微波与毫米波自动矢量网络测试系统	徐德胜 (85)
CS2092 系列动态测试分析仪的研制	李国强 (91)
一种低功耗、宽量程的掌上型数字式电感电容表	徐 先 (95)
一种高速可编程任意波形产生器的设计	傅有光 (99)

信噪比可变的相位多谱勒信号发生器	马仲明	孙家薰	(102)
一种简单廉价的十六位 A/D 转换器	罗 强		(105)
标量网络自动测试系统	罗碧先	刘 坚	(109)
测量均匀同质外延片电阻率的新方法—高频电容法	唐根梅	聂海谱	(112)
X—频段波导测量线自动测试系统	甄蜀春	韩建立	鞠智芹 (115)
高精度智能化天线控制器	陈庆伟	胡维礼	陆刘兵 (121)
全数字式三相精密测试电源	王广柱	王玉斌	张卫星 (124)
PTCR 伏—安特性 CAT 系统	付 明	周东祥	龚树萍 范 琳 (128)
单相和多相数字合成正弦波			胡延康 (132)
电容器自动测试与分选技术	韦通全	何远虑	莫 玮 (137)
一种 EMI 测量系统及其控制软件设计	魏崇毓	汪大录	(145)
波形合成信号产生器	马金源	周敬猷	谭 映 (148)
合金薄膜应变花桥路电阻的测试、计算和调整	彭士元	常柏灵	(152)
石英钟表频率测试	曹效英	何永江	黄惟一 (155)
高方向性定向耦合器和低反射吸收负载片的精确测定			吴富根 (158)
利用微处理器实现复合取样数字存储示波器	郭世泽	张忠亭	孙圣和 (162)
VXI 总线数字多用表仪器模块的设计	张忠亭	傅 平	郭世泽 (166)
GP—IB 自动测试系统组建实验	吴丽华	张晓兵	周春立 马怀俭 (171)
能扩展寻址的 IEEE 488. 1 接口电路	吴丽华	黄运加	马怀俭 银 红 (174)
特种高压电流			夏世维 (178)
一种电参量测试仪器平台的构成			高 庆 (184)
三、理论部分			
PACPT: 加速的临界路径跟踪故障模拟算法	石 茜	魏道政	(191)
时序电路的冗余确认	何新华	崔晓天	荀玉坤 魏道政 (197)
噪声中随机脉冲序列的脉冲间隔测量			吕文秋 (203)
高速测试图案存储器的研究	彭心炯	胡 军	彭宇辉 (207)
面向对象的测试语言	孔繁颖	马玉海	时万春 (209)
高速信号传输中的波形测试	彭心炯	胡 军	(213)
自动测试计算机辅助教学系统			何凤艳 (216)
CAT 工作站中测试程序的交互式自动生成环境	许小方	陈光福	顾亚平 (221)
基于微机总线观测的故障可测性分析方法研究	王厚军	陈光福	章小兵 (227)
计算机辅助测试程序工程			杨乔林 (230)

测试开发系统 TeDs 的 GUI 构造	王晓明 杨弄林 (237)
一个位独立交叉访问存贮器的方案设计	张德清 (246)
灰电量预测与制导	陶文真 (250)
32 位 RISC SPARC CPU 的功能测试方法	吴也文 骆晓东 周润德 孙义和 (255)
程控交换机网络电路板的测试与故障诊断	王 坚 董 斌 (258)
一种截取高速数据流的方法	詹宏英 孟绍锋 (263)
微波集成电路测试的新技术和问题	田尔文 (266)
相关器的改进和时序法的应用	张革迦 (268)
一种产生具有指定功率谱非高斯随机信号序列的新方法	沈民奋 孙丽莎 (271)
多输出组合电路的可测性设计方法	张美玉 黄维康 (274)
状态差计数法置信度的估计	丁 瑾 胡建栋 (280)
YH—VLSI 通用高速功能测试仪总体方案设计	
.....	张德清 张先武 周清来 胡 军 廖 志 (284)
IMS 正品抄录法的程序实现	杨静玲 孙义和 张 焱 (293)
数字 IC 在线功能测试系统	肖铁军 黄建文 (296)
SCPI 语法与结构分析	杜晓通 陈贻范 张俊星 (300)
在 TP801 上开发 IC 测试功能	胡东红 刘祖刚 (304)
GPIB—PC2 接口及系列软件包的研制	韩九强 吴彩玲 (307)
CAMAC 总线在自动测试技术中的应用	孟汉城 高津京 莫全生 (312)
组合电路穷举输入的故障检测能力分析	李晓维 (315)
单片机在工业控制中的可靠性设计探讨	罗 强 (318)
四、应用部分	
高压电气设备局部放电在线监测	许其贞 (322)
油田数控测井中的数据采集系统	高礼忠 (326)
心音信号的采集和处理系统分析	孙丽莎 沈民奋 (331)
新型多功能智能静态应变仪	习友宝 尹淑开 古天祥 (335)
电容式湿度传感器用于水分测试的仪器设计	王建升 杨盘洪 (340)
热电偶仿真仪的研制	厉鲁卫 (346)
小型计算机在高温测控系统中的应用	侯孝国 (350)
软件数字滤波在智能振动测试仪中的应用	甘志强 詹宏英 (354)
船舶导航系统及仪器的便携式多功能数字式智能接口装置	房建成 万德钧 (357)
微波 NDT 在我国的发展	周在杞 (362)

涡轮流量显示仪	叶永青	王 才	(366)
智能化测温装置的数字式非线性校正方法		朱 杰	(373)
燃气热水器性能参数综合检测系统的设计	刘世杰	王元航	(376)
便携式多功能船舶导航仪	房建成	万德钧	(379)
金属腐蚀电位测试仪	张玉林	钟德智	于时霖 (384)
碳刷强度测试仪	李国正	张声良	(388)
电潜泵工况诊断仪的原理与设计	刘润华	宋秀勇	(391)
锚索试验实时监测系统的研制		黄文云	(396)
录象机磁鼓电机的抖动测试与诊断 ...	万里雪	曾周末	杨学友 闫 明 孙 家 (400)
开关磁阻电机的信号测试系统	宋爱国	黄惟一	张焕春 房建成 (404)
单片机在汽车行驶监控中的应用		张新义	(410)
MCS BASIC—52 语言在某兵器测试中的应用		苏群星	(415)
感应电机故障诊断的神经网络方法	张潮海	周其节	(419)
多路延期时间测定仪的研制		刘少京	(425)
单片机测距仪研究	杜文启	杜 干	(429)
微波辐射及其防护	钟茂声	花建敏	(431)
用微波相位法测量石油含水量的传感器研究	肖 芬	吕文选	邱仕年 (435)
一种智能型多笔记录仪	王晓红	周 立	(439)
烟雾传感检测装置		李元密	(445)
一种在线全自动高准确度测重装置	王桂珠	程宗发	贺国光 王文胜 (449)
MCS—51 单片机在机械振动测试中的应用	战同令	金维光	刘文顺 (454)
智能残氧检测仪表设计	梁质林	刘怡忱	(458)
电子自动结石体位叩击机	韦通全	孙以礼	李长俊 (462)
点焊动态电阻检测电路的设计及工艺试验	谭义明	赵亚光	杨思乾 张 勇 (468)

电子测试技术发展展望

陈光 稿

电子科技大学

一.电子测试技术在科学技术发展中的重要性

测试是人们认识客观世界取得定性或定量信息的基本方法。在科学技术高速发展的今天,测试工作将处于各种现代装备系统设计和制造的首位,并成为生产率、制造能力及实用性水平的重要标志。据资料报道:测试成本已达到所研制装备系统总成本的 50%,甚至达 70%,而且编制测试程序所花的时间要比系统设计所花的时间长得多。因此,在未来激烈竞争的世界中,测试将与现代装备系统的设计和制造构成一个完整的整体,是保证现代装备系统实际性能指标的重要手段。有人认为微电子技术、计算机技术和电子测试技术将是现代电子装备系统的两大基础。因此,国际上先进的工业国都投巨资对电子测试技术、测试设备和系统进行研究,并取得了惊人的发展。

随着科学技术的飞速发展,各科学领域对测试技术提供了愈来愈高的要求。而且,测试技术的发展往往应超前发展。一个新的科学理论和现代装备如果世有先进的测试技术和仪器的支持,其研究、设计和测试均是不可能的。然而,科学技术的发展,尤其是微电子技术和计算机科学的发展又极大地推动了测试技术和仪器的发展,并使常规的测试原理和仪器设计发生了重大的变革。可以预料,在未来的十年中,将会在现代测试技术领域产生一系列强有力的新颖的测试概念和测试仪器,大大提高测试质量而降低测试成本。

我国的电子测试技术及仪器与国外先进国家相比差距是很大的。而且,先进的电子测试技术及仪器总是首先用于军事目的的。因此,凡是高、精、尖的测试仪器国外均对我们实行禁运。所以,尽快发展我们的电子测试技术是势在必行的。

在世界处于大变革时期,危机与机遇同在,我们要抓住机遇,在未来的十年中,努力发展我国的电子测试事业。

二.现代电子测试技术的发展趋势

随着微电子、计算机及数字信号处理(DSP)等先进技术在测试技术中的应用,就共性及基础技术而言,未来电子测试技术的发展有如趋势:

• 集成仪器概念

仪器与计算机技术的深层次结合将产生全新的仪器结构概念。以现有的虚拟仪器、卡式仪器及 VXI 总线和 MMS 为基础的模块式仪器,进而将出现集成仪器的概念。集成仪器将基于“信息的数据采集(A/DC)——信号的分析与处理(DSP)——输出(D/AC)及显示”的结构模式。利用这个仪器的通用硬件平台,调用不同的测试软件就可构成不同功能的仪器。因此,出现了“软件就是仪器”的概念。由于硬件平台是通用的,故可非常方便地将多种测试功能集于一体,实现多功能集成仪器。例如,一台基于高速数据采集的数字化仪,如果对采集的数据通过分析软件进行定标和数据点的显示就构成一台数字存储示波器;然而,如果对采集的数据利用软件进行 FFT 变换,则构成一台频谱仪。

• 自动测试的体系结构

以 GPIB 总线为基础的自动测试系统, 由于 VXI 总线及 MMS 的出现, 在系统总体结构上将出现分布式结构和多总线结构, 从而构成更为合理的集成测试与开发环境, 它能在高档测试控制计算机的控制和 Windows 多窗口的管理下完成多种参数的自动测试, 并能支持高质量产品的开发, 共享系统的硬件软件资源, 以加快测试和开发速度, 降低产品成本。

在系统构成上, 将废除由硬件积木单元实现的激励和响应的监测, 而是由测试系统中的计算机从数学上合成希望的激励波形, 而响应信号则利用高速数据采集技术进行采集, 然后将采集的数据由计算机进行数字处理和分析, 从而得出测试结果。在数学模型上, 利用时域的暂态响应技术是最为理想的测试方法。

一个测试系统总希望有好的兼容性和可扩展性, 具有开放式结构的特点, 这就要特别注意国防工业标准的建立和采用。目前, 在测试技术领域有不少的国际标准, 随着测试技术的发展还会制定出新的国际标准。

• 测试软件

测试软件不管是对单台仪器还是对测试系统都是十分重要的, 而且将是未来发展和竞争的焦点。国外专家预言“在测试平台上, 下一次的大变革就是软件”, “测试软件将是未来的战场”, “测试设备的未来属于软件”。由此可见测试软件对未来发展的重要作用。

目前, 基于 Windows 多窗口管理的用户图形接口 (UGI) 为用户的操作提供了极大的方便。它利用虚拟仪器软而板的概念, 用图形环境替代了字符环境。用户操作仪器时不必去查看使用说明书, 也不必记忆键盘和复杂的命令语句, 而只须使用鼠标器在 CRT 上显示的图形和菜单中进行选择即可。进而还可利用多媒体进行控制和管理。

为了简化自动测试软件的编制, 尤其是对各种程控仪器驱动程序的编制, 国外已研制成功了测试软件的开发工具——测试软件自动生成系统。如 HP 公司的 HP-ITG 和 HP-VEE, NI 公司的 Lab windows 和 Lab View, Tektronix 公司的 EZ-TestIII 和 Tek-TMS, 以及 Wavetek 公司的 Wavetest 等。这些软件均提供仪器程序库或仪器指令库。使用者利用上述软件并在仪器软面板上选择适当功能及所需的测试内容, 就能自动生成其最终的测试代码。

未来的测试软件还能根据某种规范或屏幕上的某种图形来进行测试, 将描述与测试生成模块, 使数据库与标准结合, 标准与数据提取自动化工具相结合, 并将工具纳入文件编制中。

• 人工智能测试技术

人工智能专家系统用于测试技术中是充分利用了计算机的“智能”。它将最优秀的测试专家的思维过程固化到测试程序的软件中, 将某种维妙和复杂的程序与计算机修正程序结合起来, 从而大大提高测试系统的能力。

人工智能测试技术除大量用于复杂测试的修正因子处理外, 再一个应用就是现代装备系统的故障检测与维修。据有关资料报道, 美军将人工智能测试技术用于战场装备的检测维修中, 使自动化故障诊断系统的误报警可减少 90%, 而维修时间可缩短一半。

人工智能测试技术的应用尚不十分普及, 在未来十年, 随着人工智能的逐步完善及应用的普及, 人工智能测试技术定会有大的发展。

三. 测试领域的发展动向

现代电子测试技术已深入到科学技术的各个领域, 测试仪器和系统的发展动向是与各学科领域的发展相适应的, 很难有一个统一的完整的描述, 下面只就个人的肤浅体会谈点不成熟的看法, 以期达到抛

转引玉的作用。

• 仪器平台和测试系统平台的建立

充分利用通用集成测试仪器和集成测试环境的概念,建立通用的仪器平台和测试系统平台,为各种功能的测试仪器和测试系统的二次开发打下硬件和系统软件的基础。最终用户只需在这个高水平平台的基础上开发一定的应用软件就能构成实用仪器和实用测试系统,从而加快研制周期、降低研制成本、提高产品质量。为了使建立的平台具有开放性,必须充分利用 IEEE488.1、IEEE488.2、VXI、MMS、SCPI 等工业标准和规约,以及基础的测试系统软件和语言。

高速、高分辨率的数据采集和数字信号处理技术(DSP)是未来测试仪器平台和测试系统平台的关键技术,应予以足够重视。

• 微波、毫米波测试

现代的各种电子装各系统,如雷达、卫星通讯和电子对抗等均工作在微波和毫米波波段。因此,相应的测试仪器和系统,如频谱仪、网络分析仪、信号发生器等的工作频段也应满足微波和毫米波波段的要求,即进入 26.5GHz 至 110GHz 范围,甚至更高。美国 HP 公司的 HP-70000 系列频谱分析仪,频率上限已达 325GHz。

• 通讯测试

在当今社会中,通讯的重要性是人所共知的,通讯的发展也是十分迅速的。如数字通讯、移动通讯、扩频通讯、卫星通讯和光通讯等均要求相应的测试仪器。因此,在未来的十年通讯测试仪器必然会有大的发展。

• 数据域测试

现代电子装各系统大多是以计算机为基础的数字系统,对数字系统的故障诊断和测试必须使用数据域测试仪器,如逻辑分析仪、数据发生器等。而对于大规模数字集成电路的测试则必须使用集成电路测试仪。随着系统规模的增大和工作速率的提高,数据域测试仪器的技术指标也将快速提高。

• 调制域测试

调制域测试是测出信号频率、相位或时间间隔变化与时间的相互关系。在雷达和数字通讯等系统的测试中十分有用,它能测试频率跃变的建立过程和信号的抖动等。调制域分析测试仪在我们目前尚属空白。

四.几点建议

电子测试技术及仪器是一个知识密集、技术密集且发展十分迅速的行业,是电子工业的一个重要领域,并与其它各行业领域关系十分密切,相互促进、互为支撑。为使我们的电子测试技术领域在未来十年有大的发展,特建议:

• 抓住机遇,重点突破

目前正处子测试技术的大变革时期,我们应抓住这个机遇,重点突破。在跟踪国外先进技术的同时充分发挥我们的软件优势,发展我国的电子测试技术。在原有 GPIB 的基础上,突破 VXI 系统,并研制与之相适应的测试软件。同时突破毫米波测试技术,打破国外的封锁。

• 加强基础研究,提高仪器质量和可靠性

加强测试新概念、新原理、新方法以及通用元、部件的基础研究,以提高仪器质量,并注意改进仪器的加工工艺,对仪器进行可测性设计,以提高仪器工作的可靠性,克服长期存在的“国产仪器不可靠”局面。

· 增加投入, 积极开发新仪器

电子测试仪器技术新、批量小、更新快, 因此是一个高投入的产业。据我们出国考察得知, 国外大的仪器公司每年用于新仪器的研究经费达销售额的 10% 至 18%, 一个公司就是几亿美元至十余亿美元。没有足够的投资强度很难开发出高水平的测试仪器

· 提高仪器设计开发手段

据考察, 国外大的仪器公司均设有设计中心, 以实现仪器设计的自动化 (EDA), 共享设计资源, 以提高设计的标准化, 从而保证了仪器的设计质量和可靠性。

· 注意人才培养

电子测试仪器是为各科学领域的发展服务的, 因此, 仪器的发展应超前发展。仪器发展的前瞻性要求仪器研究人员具有高的技术水平。因此, 要注意高层次仪器研究人才的培养及在职人员水平的提高。

(上接第 10 页)

- [3] 陈成仁、席德熊, “毫米波的非军事应用”, 世界电子信息, Vol. 1, No. 2, pp. 20—21, 1993.7
- [4] “加速发展毫米波测量技术与仪器的对策”(国防电子科技情报研究课题), 机电部电子测量仪器专业情报网, 1992 年 2 月, 北京
- [5] “全国毫米波计量测试技术发展研讨会论文集”, 中国计量测试学会, 1988 年 8 月, 北京
- [6] “Emerging Technologies in Electronics……and their measurement needs” NIST IR 90—4250, Feb. 1990
- [7] J. L. Wiltse, “The Ascent to MM—Wave”, Microwave J. RF, Vol. 26, No. 3, pp. 325—328, March 1987
- [8] 1989 U. S Industrial Outlook, International Trade Administration, U. S. Department of Commerce, pp. 27—1 to 27—3 (1989)
- [9] J. D. Montgomery, “Microwave to 2013”, Microwave Journal, Vol. 31, No. 9, pp. 259—272, Sept. 1988
- [10] R. T. Adair, et al, “Millimeter Wave Standard: An Emerging Need”, NCSL Newsletter, Vol. 27, No. 1, pp. 6—13, Janu. 1987

新兴微波技术的进展及对 计量测试的需求

陈成仁 席德熊 蔡新泉

(中国计量科学研究院)

摘要——许多人将 1—1000GHz 频域称为微波。微波系统是国家的眼睛和全球通信网的主干。其传统应用领域包括通信、导航、雷达、制导、遥感(地质勘探、农业、环境监测和气象预报)、电子战等;新兴的应用包括高清晰度电视(HDTV)、光纤通信和计算机电路等的微波电子学;机器人视觉系统;飞机的机载风切变检测系统;机动车防撞雷达;卫星的直接广播系统;以及工业和其他应用的本地通信和雷达系统。

这些应用领域的需求使世界微波系统市场不断扩大。在美国,1988 年的微波设备交货量为 350 亿美元,占美国电子设备、系统和电子元件交货量的 1/4,仅次于计算机及其外围设备的交货量。

当前的微波电子学面临着 3 大变革:超常性能电平,集成和更高的频率。其意义恰如半导体技术中发生的那样重大。当时,集成电路取代了晶体管和电子管。

如果没有测量支持的显著改善和提高,微波技术根本无法实现这些变革。国际计量界多年前就意识到,他们欠缺满足工业测量需求的手段。例如,美国标准技术研究院(NIST)分 3 类提出了一个新的发展微波计量测试的规划,以便提供对高性能微波元件的测量支持:(1)1—100GHz 分离元件和天线;(2)1—100GHz 集成电路和集成天线;(3)100—1000GHz 集成电路和集成天线。这个新的规划将为促进研究和开发未来的新产品、改善加工过程中的质量控制、为民用工业标准互换性与其他目的、为产品的销售和采购、为确保市场竞争力等等提供测量支持和技术基础。

本文将简要介绍新兴微波技术的发展动向,着重介绍国际上微波计量测试的发展趋势。

一、新兴微波技术发展动向

对于新兴微波技术的发展,作者曾发表了一系列文章进行介绍[1~5]。随着频谱资源的开发利用,目前的一种频谱划分方法为:(1)兆赫(MHz)频域,包括调幅无线电使用的中频波、调频无线电和电视使用的甚高频波、电视和其他用途的超高频波;(2)吉赫(GHz)频域,即微波频域,包括厘米波、毫米波和亚毫米波;(3)太赫(THz)频域,包括远红外光、近红外光和可见光;(4)拍赫(PHz)频域,包括超可见光和 x-射线等。因此,微波具有 1—1000GHz 的频率范围,显然,它是频谱资源的一个重要组成部分。

如所周知,相对于较低频率的无线电波而言,微波具有其固有的性能(能力)和局限:高信息容量、直线传播特性、强聚焦能力、小天线尺寸、高空间分辨率、与大气和地球的相互作用强、与光电技术相互交融等等。在实际的微波电子学领域中,可以使这些能力实现到何种程度,依赖于高度复杂的微波技术的发展,而高度发展的微波技术又强烈地依赖于测量技术。

1. 微波电子市场[6~10]

美国市场

美国微波设备的交货量 1988 年为 350 亿美元,按 1988 年美元不变价计算,预计 1994 年和 2000 年分别为 460 亿和 620 亿美元。其巨额交货量反映了微波系统的广泛服务范围:通信;导航;雷达;制导;遥感(地质勘探、农业和气象);电子战;测试和测量;工业应用;消费者应用和其他领域。新兴的或潜在的服务需求将保持其庞大的交货量。新兴的服务领域例子包括:机载风切变检测系统;气象预报的改进雷达系统;机动车防撞雷达系统;局部地区的低功率高速通信系统;监测和控制移动物体的本地雷达系统;机器人视觉和操纵系统;高速计算机电路;高速光纤通信系统的信号处理;HDTV 信号处理;联合通信的本地分配设备。新兴的卫星应用包括:直接广播卫星(DBS)的电视接收系统;卫星移动系统;提供电视节目的商用卫星;分路网络终端之间的交换设备等。

在美国,48%的微波设备是由政府机构采购的,而 42%是由国防部采购的。其他政府机构(如运输部、商业部、各州、联邦通信委员会和国家宇航局等)的采购实例包括:运输部为提高 100 个机场的微波系统能力,采购了 50~60 亿美元的微波设备;商业部 1990 年采购了 175 套新一代气象雷达系统(NEXRAD);运输部为 3600 架喷气客机安装风切变检测系统,采购了 2 亿美元的设备;联邦通信委员会将(或已经)发射 23 个通信卫星,价值 40 亿美元;美国宇航局与海洋和大气局合作,正在积极评价地球观察系统的指标和设计,该系统由 4~6 个卫星组成,用以监测地球大气、磁场、地质等的长期变化。这项计划是与日本和欧洲合作的,美国将投资 20~40 亿美元。

世界市场

1988 年世界微波设备的交货量为 810 亿美元,按 1988 年美元不变价折算,预计 1994 年和 2000 年分别为 1060 和 1430 亿美元。1998 年,微波测试设备的世界市场是 12 亿美元,并以每年 14.1%的正常速度增长,至 1993 年已超过 22 亿美元。日本正在大力推进微波集成电路,并在直接广播卫星、移动无线电发送系统、高数据速率的光纤发送系统、HDTV 等系统中广泛应用微波技术。欧洲特别强调微波技术的电信应用。英国的毫米波多通道多点电视分配服务(M³VDS)拥有由卫星、录相带库和本地编辑节目发送的 20 套节目,估计有 800 万个潜在用户市场。此外,美国的智能高速公路计划与英国的“信息高速公路”计划雄心勃勃,后者在未来的 10 年将投资 380 亿英镑,电话公司、有线公司、卫星及电视公司都竞相加入这项计划。据报导,1994 年 2 月已安装了欧洲第一台电视点播(Video-on-Demand)计算机服务器。

光纤技术的冲击与竞争

光纤系统的崛起对微波系统市场的冲击,主要是在高人口密度地区的点一点通信领域。对于下述服务类型,微波技术仍将占主导地位:低人口密度地区的点一点通信;陆地、海洋和空间的移动通信;雷达、导航、遥感、电子战等领域的微波服务。这些领域的微波服务是电缆技术无法提供的。

虽然对于某些通信应用而言,光纤可以与微波技术竞争,但是,更显著的关系是相互补充,甚至是共存的。例如,对于光纤携带的跨区域信号,微波将提供局部地区的传送,特别是涉及移动载体时。随着微波系统采用光电技术,以及光纤系统中采用微波技术,两者正在逐步交融。总之,两者相结合将提供任何单一技术无法达到的性能。

2. 微波系统的发展目标

为了满足不断扩大的和新兴的微波服务,并增强其竞争能力,必须在 3 个方面推进微波系统的发展:目标 1,改进性能;目标 2,降低成本,减少小尺寸和重量;目标 3,拓展更高的频率。

为了达到改进性能的目标,工业界必须追求更高的信息密度、改善信号质量,提供多用性和灵活性。通过增加现有系统的信息容量,以及在一个给定的范围内采用互不干扰的更大数目的系统,

可获得更大的信息密度。这些措施是相当重要的,因为随着更多的地面系统投入使用,拥挤现象越来越严重;在空间,同步轨道空间的卫星容量将趋近饱和,为使卫星互不干扰地运行,必须开发研究具有低旁瓣的高性能天线;最后,已投入使用的微波和光纤系统的信息容量,必须通过发展先进的微波信号处理系统来扩展。改善信号质量必须保持低数据差错率,特别是当信息密度增大后。改善信号质量亦要改善微波系统的灵敏度,以使其可以更广泛地应用于通信、雷达和遥感。对于数字和模拟信号,这些改进要求提高微波信号处理电路的保真度,此外,还要求扩展多用性和灵活性,这可以通过发展下述微波系统来实现:它们既可以同时许多不同的频率上工作,又可用电控天线同时为多个地区服务。

为达到降低成本、减小尺寸和重量的目标2,工业界必须在全部频率上发展小型化分离元件和集成元件。对于所有的应用,特别是对于移动性的、空中和空间的应用,这些元件是极为重要的。

目标3将拓展微波频谱的范围和获得更多的能力。为此,工业界必须发展可以给出有效性能的新的电子技术。这必须开拓30—100,100—1000GHz频谱,后者将呈现准光学特性。

二、新兴微波技术的测量需求

为了支持工业界追求上述3项技术目标,计量测试学界必须在一个宽广的频谱范围内提供先进的测量能力。只有具备先进的测量能力,才能支持新兴微波技术的研究开发、制造、市场交易(包括技术指标和性能评价以及采购)、安装和维护、互换性及其他目的的民用工业标准、市场竞争等。各国对这种新兴微波技术对测量的需求给予了严重的关注。最有代表性的是美国。80年代初期,美国标准实验室国家会议(NCSL)为了确定关键的测量需求,调查了400多个机构,其中包括346个工业机构、61个政府部门和4所大学。NCSL发现,计量部门对微波技术的测量支持严重不足。

美国标准技术研究院(NIST)为改善其测量能力,提出了相应的应急计划和长远规划。其应急计划在文献[2]中已简介过。长远规划包括3部分:(1)1—100GHz分离元件(电子器件和天线);(2)1—100GHz集成元件(集成电子电路和集成天线);(3)100—1000GHz集成元件(集成电子电路和集成天线。)

1. 1—100GHz分离元件的测量需求

为了支持新兴的高性能微波系统,必须发展新的测量方法,其准确度必须比现有测量技术高10倍。现代系统是如此复杂,它们不可能用现在的手动测量方法来有效地表征,因此必须易于自动化。新的测量方法必须有宽广的连续的频率复盖,过去是在关键的固定优选频率上进行测量。最后,新的测量必须支持更广泛的接口型式。因为欲减小系统的尺寸并降低成本和重量,正在引入具有新型接口的新兴小型微波系统;此外还要求新型光电器件与微波器件相连接。例如,1mm同轴接头正用于100GHz系统;在卫星和天线中,光纤将会取代金属波导,光纤的重量轻、成本低和可绕曲,而且不会与微波波束相互干扰。在强有力的相控阵雷达与其他应用中,光纤可以用作卫星内部的信号相互连接或者用作控制传输线。

要求改善测量支持的分离元件可分为两大组:(1)电子器件,它们产生、处理和传输微波而不被辐射,诸如信号源、放大器、检波器、波导、同轴电缆和接头等;(2)天线,用于发射和接收微波。

电子器件测量

将发展确定分离电子器件关键微波量值的测量方法。对于微波系统的信息传输,最关键的测量需求是与微波系统的两个功能相对应的:有效地传输微波功率和保持信号的保真度。此外,材料特

性的测量和提供标准数据亦是很重要的。

功率传输的测量包括功率、阻抗和衰减等基本参量。信号保真度的测量包括噪声和波形参量。欲评价系统各处的信息质量,并确定信号源、放大器、调制器、检波器和电子开关等的性能,波形参量的测量是关键。以噪声测量为例说明工业界目前所面临的问题。噪声是微波放大器和放大元件(晶体管)单一的最重要的特性,良好的噪声性能要付出昂贵的代价。噪声性能将影响系统的灵敏度和信息能力。目前的噪声测量能力不适于表征近代产品所获得的噪声性能。因此,为了开发新产品,并评价其性能指标,制造商和采购部门反复向计量部门寻求支持。计量机构必须研究新的测量方法,使其比目前可以采用的方法更好,并使它们成为工业界广泛采用的标准方法。

材料是极为重要的,因为微波元件的性能对制造材料的微波性能非常敏感。在设计微波“基板”(类似于传统电子学中的印刷电路板)时,这种敏感性是特别重要的。不幸,微波材料特性的绝大多数现有数据,都是基于多年以前在频率低于 10GHz 时的传统材料的测量所给出的。10GHz 以上频率的数据很少,而新型材料实际上没有数据。材料特性测量和数据的内容包括电容率(介电常数)、导磁率、均匀性(确定整个材料各处特性的均匀性或一致性)与非均匀性(确定作为角向函数的材料特性的均匀性程度)。

天线测量

将发展测量天线的新方法,使其可提供更高的准确度、改善自动化程度、更宽的频率复盖和更易于控制天线的辐射图形。这种测量能力使天线可将更强的信号传输到接收站,使其可紧邻其他天线而不会相互干扰,并使之可用于要求更高的灵敏度和多用性场合。相控阵天线是要求改善测量支持的强有力的近代天线的主要例子。所需测量包括性能测量和材料测量。材料测量将着重强调天线保护罩所用材料的测量,这些材料的微波特性均未能给出,特别是 10GHz 以上频率,而这些特性严重影响天线性能。材料测量的内容除上述 4 项参数外,还包括传输率和反射率的测量。

天线性能和测量包括增益、图形、场强、极化、视距和天体信号源特性。增益测量用于确定如何成功地使天线将其功率聚焦到方向预定接收天线的方向;图形测量用于确定在所有方向的聚焦性能,特别是所需的有关接收区域的辐射强度,以及减少可能与邻近系统干扰的杂电辐射;场强测量用于确定一个发射系统的微波波束强度;极化测量可用来确定一个天线的专门特性,使之可以在同一频率上发射两个互不干扰的信号,从而增加一倍信息处理容量;视距测量用于准确确定在预期方向的天线辐射;天体信号源特性的测量,可利用太阳、月亮、关键的行星和星体作为天体信号源标准,用以评价和维护地面终端与使用中的卫星微波系统的性能。

2. 1—100GHz 集成元件的测量需求

为了减小尺寸、重量和降低成本,微波系统将越来越多地采用集成电路建造。集成具有两种主要形式:(1)集成电子电路,它将信号源和波导之类的微波电子器件与有关的光电器件一起集成到一个公共的基片上;(2)集成天线,将天线元与有关的电子和光电器件一起集成到一个公共基片上。

鉴于下述原因,微波集成元件对测量提出了严峻的挑战:(1)小型测量端口使集成电路内部的输入和输出接口不易接近,而在分离元件中无此问题;(2)电路元件互相紧邻,使测量探针更易于扰动被测电路;(3)与分离元件制作的电路性能相比较,用集成方式制造的电路性能对材料特性更为敏感;(4)在集成电路和集成天线中引入了光电技术,从而引起了特别复杂的技术和接口的混合问题。这些差别需要研究新的测量方法来解决,而且需要引入一些新的测量量值的定义,并要求建立支持这些新的测量方法的物理标准。

集成电子电路的测量

微波电子器件的集成,采用类似于传统半导体器件的方法。但是,所需的结构、采用的方法和器件类型是完全不同的。微波集成电路的频率提高了 1000 倍,从而使微波电路性能的测量变得更加困难。特别是,它们对需量探针的出现极为敏感。

迄今,因缺乏适合于微波集成电路的测量方法,从而影响了集成电路的设计和制造工艺的发展。微波集成电路的测量问题是如此严峻,一些主要的生产厂家估计,成品器件成本的 80~90% 是与测试有关的。在某些情况下,生产厂家发现,他们不可能用高的成品率生产出满足全部性能指标的高度复杂的微波集成电路。

为了支持微波集成电路,必须发展 4 类需量,是好的办法是用测量所处位置来分类:(1)器件内部:在集成电路内对电子器件的内部元件进行测量,用以支持其设计和制造;(2)在集成电路内对电子器件的输入/输出端口进行测量,用以确定器件的整体性能,并确定这种器件如何才能将微波信号有效地传送到相互连接的波导通路中;(3)在波导通路中测量,用以确定相互连接的波导通路的性能;(4)在材料内部测量,用以表征基片和其他原材料的微波特性,这些基片和原材料是用于在集成电路内制造电子器件和波导通道的。

测量的内容与 1~100GHz 分离元件的相同。为了实现这些测量,必须研究开发专门的接触式电测量技术与非接触式的光学测量技术。此外,必须研究专用测量结构,使其完全制作在商品集成电路内,以便进行测量。材料特性的测量必须考虑温度和湿度的影响,以模拟实际使用条件。为了支持设计和制造工艺,它们必须作为温度和湿度的合成函数进行测量。为支持宽带应用,还必须作为频率的函数进行测量。

集成天线测量

集成天线是最有前途的新兴微波技术之一。它们是包含有嵌入金属辐射元的平板或曲面底座。可能包括上千个元,特别是在相控阵天线中,集成天线的直径大至数米,小至几厘米(直接在单片半导体晶片表面制造),并包括构成天线的电子器件。这些器件将用作发射机和接收机,每个发射机和接收机都与天线内的独立或数组元相连。这些天线元可以用光电器件控制,并包含有内部信号处理电路。一些新天线的设计是如此复杂,倘若不用集成就不能经济地制造。与传统天线相比,它具有如下优点:(1)降低了成本,减小了尺寸和重量,因它将天线元嵌入到一个隔离基片上,从而极大地降低了结构的复杂性;(2)可塑形状。集成天线可以制作成各种形状,以适合于诸如飞机、卫星和航天器之类的载体表面形状,从而满足特定的空气动力学和结构要求。它们亦可以加工成各种形状,以满足建筑物的美学或其他方面的要求;(3)完善而复杂的设计。集成天线可以提供用于相控阵天线,这是最多用途的新型天线。相控阵可用电控向许多方向发射而不必进行物理移动。它可立即有效地改变发射方向和辐射图形的形状。这种能力可以使采用这种天线的卫星,用分时制将其信号快速地从—个地点发送到另一个地点,从而为许多不同地区服务。

集成天线可用多个内部小功率发射机激励,而毋需单一的传统高功率发射。采用多个发射机就不再需要天线内部的复杂微波波导网络,从而极大地减轻了重量。由于采用了独立的低功率元发射机,故可采用低成本的半导体信号源,而不必采用昂贵的低寿命的微波管用作高功率中心发射机。集成天线可以用光导馈送的光信号控制,从而不会相互干扰。一个复杂的集成天线将要用成千上万的信号进行控制。

为了支持集成天线,将研究对天线整体性能以及集成天线内的独立天线元性能和相互作用的测量。还将研究集成天线材料的测量方法,并提供参考数据。新的测量方法有如下特点:(1)非单个输入/输出端口。集成天线没有一个单独的可提供测量参考面的微波功率输入或输出点。在新的制量研究的同时,将需要引入诸如增益和噪声之类的新参量的定义;(2)不同的发射/接收性能。集成