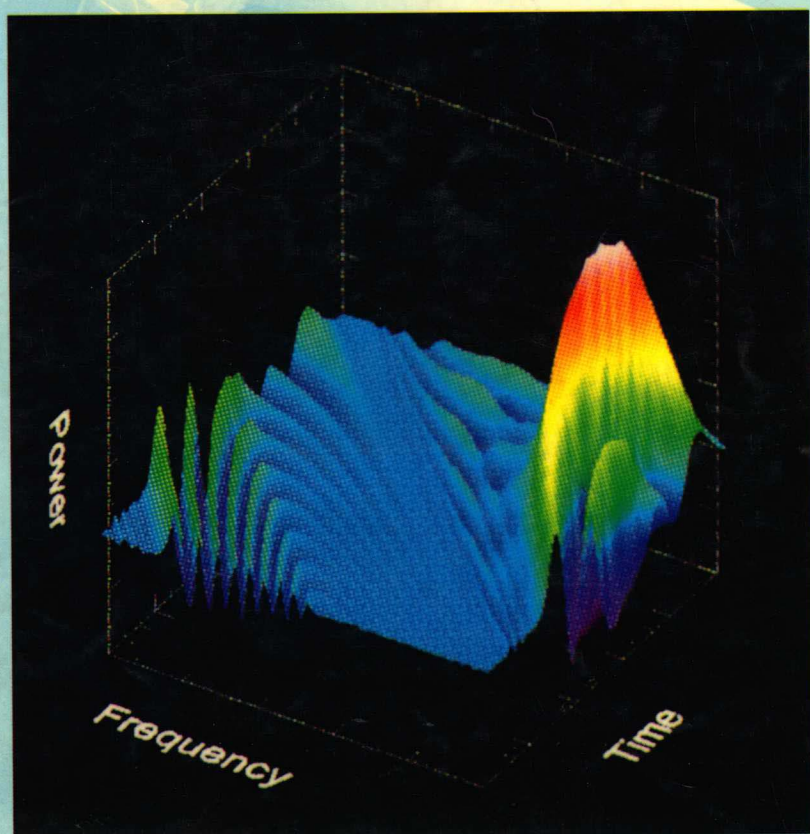


现代电子信息技术丛书

现代电子测试技术

——信息装备的质量卫士

主编 陈光禔 副主编 毛继宏 林春勋 杨福荣 李为民



国防工业出版社

电子科学研究院组织编著

现代电子信
息技术丛书

现代电子测试技术

——信息装备的质量卫士

主 编 陈光禔

副主编 毛继宏 林春勋
杨福荣 李为民

国防工业出版社

·北京·

(封面设计: 陈光禔)

电子信息技术丛书

电子信息技术丛书

图书在版编目(CIP)数据

现代电子测试技术/陈光福主编. —北京:国防工业出版社, 2000.1

(现代电子信息技术丛书)

ISBN 7-118-02163-6

I. 现… II. 陈… III. 电气测量-测量方法 IV. TM930.
12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 34646 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19½ 434 千字

2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1-3000 册 定价:28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

《现代电子信息技术丛书》编审委员会

名誉主任 胡启立 曹刚川
主任 王金城 吕新奎
常务副主任 童志鹏
副主任 汪致远 王小谟 毕克允 殷鹤龄 于安成
安卫国 熊和生 徐步荣 张仁杰 邱荣钦
委员 王政 夏乃伟 程淑清 杨星豪 侯印鸣
何非常 黄月江 干国强 杨天行 石书济
廖复疆 梅遂生 陈景贵 陈光禧 沈能珏
张立鼎 瞿兆荣 徐泽善

《现代电子信息技术丛书》总编委

总编 童志鹏
副总编 邱荣钦 王晓光
委员 李德珍 张国敏

《现代电子测试技术》分册编著人员

主 编 陈光福

副 主 编 毛继宏 林春勋 杨福荣 李为民

编著人员 (按姓氏笔划排序)

马旭飙 王厚军 王健编 王福崇 尹晓民

史红旗 年夫顺 刘祖森 江 岩 李为民

吴 涛 陈光福 张家奎 胡为良 袁 俭

郭利强 彭善全

《现代电子测试技术》分册编著人员

编 著 人 员

总 编 委 员

(北京市出版业)

出版发行

北京出版业

北京出版业

北京出版业

北京出版业

北京出版业

北京出版业

北京出版业

北京出版业

北京出版业

北京出版业

北京出版业

北京出版业

北京出版业

北京出版业

序

信息技术是一个复杂的多层次多专业的技术体系,粗略地可以分为系统和基础两个层次。属于系统层的一般按功能分,如信息获取、通信、处理、控制、对抗(简称为 5C 技术,即 Collection, Communication, Computing, Control, Countermeasure 五个词的第一个字母)等;基础层技术一般按专业分,如微电子、光电子、微波真空电子等。

信息技术革命的火炬是由微电子技术革命点燃的,它促进了计算机技术、通信技术及其他电子信息技术的更新换代,迄今,尚未有尽期。信息技术革命推动产业革命,使人类社会经历了农业、工业社会后进入了信息社会。

大规模集成电路的集成度是微电子技术革命的重要标志,它遵循摩尔(Moore)定律,每 18 个月翻一番,预计可延伸到 2010 年。届时,每个芯片可包含 100 亿(10^{10})个元件,面积可达到 10cm^2 ,作为动态存储器的存储量可达 64Gb(吉比特),接近理论极限 10^{11} 个元件和 256Gb 存储量。微处理器芯片的运算速度每 5 年提高一个数量级,到本世纪末,每个芯片运算速度可达 10~100 亿次每秒,有人认为,实现 2000 亿次的单片微处理器在技术上是可能的。与此相适应,每芯片比特存储量与每 MIPS(兆指令每秒)运算量的成本将呈指数式下降,现在一个 100 兆指令/s 专用数字信号处理芯片只售 5 美元。如果飞机的价格也像微电子那样呈指数式下降的话,70 年代初买 1 块比萨饼的费用在 90 年代就可以买 1 架波音 747 客机。3 年内 1 部电话机将只用 1 块芯片,5 年内 1 台 PC 机的全部功能可在 1 个芯片上实现,6 年内 1 部 ATM 交换机的核心功能也可用 1 个单片完成。由于微处理器芯片价格持续不断地下降,构成了它广泛应用的基础。现在,在一般家庭、汽车和办公室中,就有 100 多个微处理器在工作,不仅是 PC 机,而且在电话机、移动电话机、电视机、洗衣机、烘干机、立体声音响、家庭影院中也有。1 辆高档汽车中包含 20 多种可编程微处理器,1 架波音 777 客机含有 100 多万行的计算机程序代码。

通信技术的进步还得力于光子技术的进步。光通信速率(比特每秒)每两年翻一番,现在实验室中已可做到 10^{12}b/s ,即可将全世界可能传输的全部通信量于同一时刻内在 1 根光纤中传送,或相当于 1s 内传输 1000 份 30 卷的百科全书。通信速率的提高和通信容量的增大,使光通信成本也不断降低,与 80 年代相比,降低了两个数量级。

因特网是全球信息基础设施的雏形,其发展速度惊人。现在每 0.4s 增加

一个用户,每4min增加一个网络。1996年联网数大于10万,联网主机数大于1000万,用户数大于7000万(预计到本世纪末,将大于2亿),PC机总量将达5亿,联网主机达3000万,信息量每5年翻一番。越来越多的公司、团体、机关、个人通过信息网络相互联接,其应用范围从单纯的电子函件通信扩大到远程合作(包括教育、诊断、办公、会议、协作等)、按需点播、多媒体文娱、电子商务、银行、支付等,人类社会生存与发展的另一维空间,即信息空间或称为赛博空间(Cyberspace)正在形成。如果说工业社会是建筑在汽车与高速公路上的话,信息社会则是建筑在信息与信息高速公路上的。政府、军队、经济、金融、电力、交通、电信等关键部门都要依赖于信息基础设施的正常运行。信息技术和信息产业的水平已成为综合国力的重要标志,也是国际竞争力的焦点与热点。

信息技术的飞跃发展及其渗透到各行各业的广泛应用,不仅推动了产业革命,而且也深刻地改变了人们的工作、学习和生活的方式。信息技术不仅扩展了人的视觉、听觉等感知能力,而且还渗透到思维领域,减轻或部分地替代人的脑力劳动,提高思维的效率和质量,实现人的思维能力的延伸,增强人的认知能力。信息作为事物的属性与相互关系的状态的表达是客观存在的,但不是显在的,很多是潜在的,有的是深埋的,有待挖掘与提炼。信息技术大大地丰富了信息采集的内容,提高了信息处理的能力,为人们对客观事物及其规律的认识提供了创新的工具,也为人们正确认识与有效改造主观世界和客观世界提供了源泉,将使社会的物质文明与精神文明建设得到极大的发展。

信息、能源与物质是人类社会赖以生存与发展的三大支柱。在信息社会中,信息是最重要的支柱和最重要的产业,它影响着其他两个支柱的健康发展,包括生产、传输、分配、运行、减少损耗、改善管理、提高效率、降低成本等等;同时,它还能不断地培育与发展新物质和新能源的发明与生产,不断地改善生态环境,从而使人类社会进入可持续发展的健康轨道。

信息革命在带动产业革命的同时也带动军事革命,使得军事技术、武器装备、作战思想、作战方式、战争形态、军事原则、军事条令与部队编成等都将发生深刻的变化。如果农业社会是冷兵器时代,工业社会是热兵器时代,那么信息社会则是信息兵器时代。信息、信息系统与信息化平台、武器与弹药成为战场上的主战兵器。信息优势成为传统的陆地、海洋、空中、空间优势以外的新的争夺领域,并深刻地制约着传统领域的战斗胜负,从而构成信息化战争的新形态。在这种战争中,战争胜负决定于敌对双方掌握信息与信息技术的广度与深度。信息不仅是兵力倍增器,它本身就是武器和目标,是双方必争的制高点。1991年初的海湾战争,被称为硅片战胜钢铁的战争,即源于这样的认识。它开启了赛博空间战、网络战、信息战等簇新的作战方式。

以信息优势为核心的军事革命是建筑在先进的指挥、控制、通信、计算机、情报、监视、侦察及其一体化的信息战能力的基础上的,这个众系之系(系统的系统)我国称为综合电子信息系统,与美军后来提出的 C⁴ISR/TW 相当,它由以下 6 部分组成。

1. 鲁棒的多探测器信息栅格网络。为作战部队提供作战空间感知优势。
2. 先进的指挥控制与作战管理栅格网络。为部队提供作战的先期规划、胜敌一筹的作战部署,执行作战指挥控制与一体化兵力管理能力。
3. 从探测器到射击器的栅格网络。为部队提供精确制导武器的动态目标管理、分配与引导,协同作战,一体化防空,快速战损评估和再打击能力。
4. 联合的通信、导航与定位栅格网络。提供可靠、安全、大容量与高精度的信息,以支持部队的机动行动,确保全面优势。
5. 信息进攻能力。采取侵入、操纵与扰乱等手段,阻碍敌人作战空间感知、认知与有效用兵能力。
6. 信息防护能力。保证我方信息系统的安全,防护敌方对我信息网络的利用、干扰和破坏。

这个系统的系统涉及众多先进的信息技术的横向与纵向的有机集成,它包括雷达和光电的有源与无源探测技术、有线和无线及固定和移动通信技术、计算机硬件和软件技术、精确导航定位技术、航天航空测控技术、信息安全保密技术、电子战技术等横向专业技术的集成;也涉及微电子技术、光子与光电子技术、真空电子技术、压电与传感器技术等先进元器件技术,电子材料技术、电源技术、测试技术、先进制造技术等纵向基础技术的集成。当代军事革命要求在创新的军事思想指引下,发展有层次多专业的纵横集成的信息技术;同时,又要求在先进的信息技术驱动下,培育与发展新的军事思想,并在此基础上推动作战原则、军事条令与部队编成的变革,形成军事革命与信息革命的有机结合。

我们正处于世纪之交,党的第十五次代表大会的胜利召开,启动了有中国特色的社会主义事业在邓小平理论的指引下全面进入 21 世纪。我国的国防与军队现代化建设的跨世纪历史进程已经开始。为了适应军事革命环境下的高新技术军事斗争的需要,我军必须拥有信息优势,必须拥有以先进的综合电子信息系统为基础结构的性能优良的武器装备,必须提高部队素质,把人才培养推上新的台阶。

江泽民总书记非常重视人才的培养,他多次指示,要用高新技术知识武装全军头脑。在未来的信息化战场上,知识将成为战斗力的主导因素,敌对双方的较量将更突出地表现为高素质人才的较量。本丛书的编写出版就是为贯彻这个伟大号召提供系统基础知识。全书以先进的综合电子信息系统为龙头,

多层次、全方位地介绍相关的各项先进信息技术,既包括系统技术,也包括基础技术,共 17 个方面,荟萃成 17 个分册。丛书的编写以普及先进信息技术知识为目标,以中专以上文化程度,从事军、民用电子信息业务的技术人员和管理干部为主要对象,努力做到深入浅出,雅俗共赏,图文并茂,引人入胜,文字简练,语言流畅,学术严谨,论述准确,使其具有可读性、可用性、先进性、系统性与权威性。参加丛书各分册撰写的作者都是长期从事现代信息技术研究与发展的专家,他们在繁重的业务工作的同时,废寝忘食,长期放弃节假日的休息,辛勤耕耘,鞠躬尽瘁,为本丛书做出了卓越的贡献。他们以自己的模范行动,“努力成为先进思想的传播者、科学技术的开拓者、‘四有’公民的培育者和优秀精神产品的生产者”。我谨代表总编委向他们致以衷心的感谢!

本丛书的编写出版得到原国防科工委与原电子工业部领导的大力支持,得到国防工业出版社领导及责任编辑们的积极推动与努力,借此之机,向他们表示由衷的感谢!

中国工程院院士

原电子工业部科技委常务副主任

童志鹏

前言

本书是《现代电子信息技术丛书》的一个分册,全面介绍电子测试技术、仪器和系统的基本原理及方法,并对各种测试仪器和系统在军事及民用方面的应用进行了叙述。

著名科学家门捷列夫说过:“没有测量,就没有科学”。测试技术和仪器是科学研究中信息的获取、处理和显示的重要手段,是人们认识客观世界取得定性或定量信息的基本方法,是信息工程的源头和重要组成部分。而电子测试技术及仪器则是指利用电子技术对电量或非电量进行测量的方法与设备。它是进行军事装备研究,新产品试制和开发,以及生产与维护运转中不可缺少的测试手段和工具。一切重大的科学技术成就都与测试技术和测试仪器有直接关系。因此,电子测试技术及仪器的水平常常是衡量一个国家科技发展和生产技术水平的重要标志,也是军事实力的重要表现。

在科学技术高度发展的今天,测试工作将处于各种现代军事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。据有关资料报道:目前,测试成本已达到所研制的军事装备系统总成本的50%,甚至70%;而且,编制测试程序所花的时间比系统设计所花的时间更长。因此,在未来激烈竞争的世界中,测试将与现代军事装备系统的设计和制造构成成为一个完整的整体,是保证现代军事装备系统实际性能指标的重要手段。

电子测试技术和仪器是直接或间接地为军事目的服务的,它不仅是各种军事装备的研究开发、生产调试和维护修理的重要工具,而且,测试仪器本身常常就是军事装备中的重要组成部分。因此,军用电子测试仪器的性能指标将直接影响军事装备的性能。如军事通信和侦察、导航、遥控遥测、雷达、制导,以及深空探测的精度和准确度等都对频率稳定性和频谱纯度有极高的要求,否则将“差之毫厘,失之千里”;由于毫米波具有独特的传输特性,在军事应用中占有重要位置,因此,电子战、军事指挥系统和机载辐射计等对毫米波测试技术及仪器提出了高的要求;自动微波网络分析系统的出现推动了军用相控阵雷达等军事微波装备的发展;频谱分析仪器则提高了军事目标识别的能力;动态振动模态分析仪器促进了飞行器及潜艇设计的优化;电磁兼容(EMC)测试技术及仪器使海军和空军的电子装备实现了密集化、小型化,并便于隐蔽;光纤测试仪器推动了军用光纤通信的发展等等。

由于军事电子测试仪器在军事装备中的重要作用,因此,在国际军事竞赛中,军事电子仪器常常是一个重要筹码,用以对他国进行种种限制和禁运。因此,一个国家要在军事装备上实现现代化,则必须具有先进的军事测试技术来予以保证。

本书正是在上述指导思想下写成的,它突出了军事应用中的先进测试技术及仪器。然而,对于测试技术及测试仪器而言,它常常是军民两用的。这一特点使本书可以适应更广泛的应用范围。全书共十一章。第一章电子测试技术及仪器概述。介绍了电子测试技术基础及电子仪器平台的基本概念。第二章测试信号的产生。重点介绍了合成信号源、

合成扫频信号源及函数/任意波形发生器。第三章测试信号的分析。介绍了频谱分析、调制域分析、噪声测试和相位噪声测试。第四章数字存储示波器。介绍了数字存储示波器的工作原理及应用。第五章频率和时间测量。重点介绍通用计数器、微波频率计数器及频率标准和时间标准。第六章功率测量。在介绍了功率测量方法的基础上,叙述了热偶式功率计、二极管功率传感器、峰值功率计、功率分析仪及功率计的校准。第七章阻抗与网络分析。在介绍了元器件特性的网络表征方法的基础上,重点叙述了射频阻抗测量、标量网络分析仪和矢量网络分析仪。第八章光电测试。主要介绍了光源、光功率计、光时域反射计、光谱分析仪、光信号分析仪及光元器件分析仪。第九章数据域测试。重点介绍了数字信号发生器和逻辑分析仪。第十章通信测试。主要介绍了规约分析仪、数字传输测试(误码测试、抖动测试)和数字通信测试。第十一章自动测试系统。重点介绍自动测试系统的基本结构、接口标准(IEEE488、VXI 接口)、仪器的程控、虚拟仪器和仪器驱动器,以及测试软件的自动生成。

本书是在《现代电子信息技术》丛书总编委的直接指导下,由我国电子测试技术领域的工程技术人员共同编写完成的,是集体智慧的结晶。陈光禔编写了第一章和第九章;马旭飙和郭利强编写了第 2.1、2.2 节和 2.3 节;王厚军编写了第 2.4、3.2、3.4、10.1 节和第六章;刘祖森编写了第 3.1 和 3.3 节;李为民编写了第四章、第五章和第 11.1、11.2、11.4、11.5 节;年夫顺和史红旗编写了第 7.1、7.3 和 7.4 节;江岩编写了第 7.2 节;王健编写了第 8.1 和 8.6 节;尹晓民编写了第 8.2 节;胡为良编写了第 8.3 节;张家奎编写了第 8.4 节;王福崇编写了第 8.5 节;彭善全编写了第 10.2 节;吴涛编写了第 10.3 节;袁俭编写了第 11.3 节。

本书由陈光禔任主编,毛继宏、林春勋、杨福荣、李为民任副主编,共同制定了本书的编写大纲,并负责有关章节的组稿和审稿。毛继宏负责第三章、第七章和第八章的组稿及第六章、第九章和第十章的审稿;林春勋负责第二章和第十章的组稿及第一章、第三章和第四章的审稿;杨福荣负责第六章的组稿及第二章、第七章和第八章的审稿;陈光禔负责第一章、第四章、第五章、第九章和第十一章的组稿及第五章和第十一章的审稿,最后由陈光禔和李为民统编全稿。

在本书编写过程中,原电子工业部电子科学研究所的童志鹏教授、邱荣欣教授、李德珍主任、朱旒同志、张国敏同志和国防工业出版社的王晓光编审都一直关心着本书的编写工作,并参加本书的审稿,提出了不少修改意见;孙中明编审为本书的出版作了大量细致的编辑工作,为提高本书出版质量付出了艰辛劳动;作为本书的挂靠单位电子科技大学科技处对本书的编写给予了极大的支持和帮助。在此,一并表示感谢!

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在疏漏和错误。殷切希望领导、专家和读者批评指正。

作者

目 录

第一章 电子测试技术及仪器概述	1
1.1 客观世界信息的获取	1
1.1.1 测量过程	1
1.1.2 测量过程中的误差	3
1.2 校准方法学	4
1.2.1 校准方法	4
1.2.2 测量标准	5
1.2.3 校准类型	7
1.2.4 校准的要求	7
1.2.5 互检和检验标准	8
1.2.6 仪器特性和校准测试	8
1.2.7 对校准标准的要求	9
1.3 基本的电子标准	10
1.3.1 国际测量单位制	11
1.3.2 标准的可溯源性	13
1.4 电子仪器平台	13
1.4.1 电子测试仪器的信息流程	13
1.4.2 电子测试仪器平台的结构	17
1.4.3 测试系统	18
第二章 测试信号的产生	23
2.1 射频合成信号源	23
2.1.1 基本概念	23
2.1.2 射频合成信号源的工作原理	23
2.1.3 射频合成信号源中采用的新技术	27
2.1.4 主要技术指标	33
2.1.5 应用实例	37
2.2 微波毫米波合成信号源	38
2.2.1 特性	38
2.2.2 基本工作原理	39
2.2.3 典型产品	48
2.3 合成扫频信号源	48
2.3.1 工作原理	49
2.3.2 典型产品介绍	52
2.4 函数/任意波形发生器	53
2.4.1 函数发生器	53

2.4.2 任意波形发生器	57
2.4.3 函数/任意波形发生器的应用	59
第三章 测试信号的分析	61
3.1 频谱分析	61
3.1.1 频谱分析仪的工作原理	61
3.1.2 频谱分析仪的功能和技术指标	69
3.1.3 频谱分析仪的应用	72
3.2 调制域分析	74
3.2.1 什么是调制域分析	74
3.2.2 调制域测量技术的基本原理	75
3.2.3 调制域分析仪的主要技术指标	78
3.2.4 调制域分析技术和仪器的应用	79
3.3 噪声系数测试	82
3.3.1 噪声系数测量原理与方法	82
3.3.2 噪声系数测量仪的工作原理	84
3.3.3 噪声系数测量仪的主要技术指标	88
3.3.4 噪声系数测量仪的运用	89
3.4 相位噪声测量与仪器	90
3.4.1 测量相位噪声的重要性	90
3.4.2 相位噪声的定义与表示	90
3.4.3 相位噪声的时域测量法	91
3.4.4 相位噪声的频域测量法	93
3.4.5 相位噪声的测量与分析	94
第四章 数字存储示波器	96
4.1 模拟示波器与数字存储示波器	96
4.2 数字存储示波器的工作原理	97
4.2.1 垂直分辨率	98
4.2.2 水平分辨率	98
4.2.3 取样率	99
4.2.4 实时取样	99
4.2.5 重复取样	101
4.2.6 数字获取和显示技术	102
4.2.7 示波器探头	103
4.3 典型产品	105
第五章 频率和时间测量	109
5.1 电子计数器	109
5.1.1 电子计数器测频原理	109
5.1.2 电子计数器测周期原理	109
5.1.3 电子计数器测时间间隔原理	111
5.1.4 电子计数器测频和测周期的误差分析	112
5.1.5 主要技术指标及典型产品	114
5.2 微波频率计数器	114

5.2.1 变频法	114
5.2.2 置换法	115
5.2.3 置换变频法	116
5.2.4 分频法	117
5.2.5 微波频率计数器的典型产品	117
5.3 脉冲调制信号载波频率的测量	118
5.3.1 基波滤出法	118
5.3.2 平均计数法	119
5.3.3 周期测量法	120
5.3.4 频率比较法	121
5.4 频率及时间标准	121
5.4.1 频率及时间标准的类型	121
5.4.2 高精度石英晶体振荡器	122
5.4.3 原子频率标准	123
5.4.4 石英晶体振荡器与原子频标的比较	125
第六章 功率测量	126
6.1 功率测量的基本定义	126
6.2 功率测量的基本方法	127
6.2.1 传送功率测量	127
6.2.2 接收功率测量	129
6.3 功率计的结构	129
6.3.1 热敏电阻传感器及其功率计	129
6.3.2 热偶式功率计	131
6.3.3 二极管功率传感器	133
6.3.4 峰值功率测量	134
6.4 多反射的影响	135
6.5 功率计的主要技术指标	136
6.6 校准	137
第七章 阻抗与网络分析	138
7.1 元器件特性的网络表征方法	138
7.1.1 单端口网络阻抗参数的表征方法	138
7.1.2 低频网络参数的表征方法	140
7.1.3 微波网络的表征方法	140
7.1.4 网络参数之间的关系	142
7.2 射频阻抗分析仪	143
7.2.1 射频阻抗测量基础	143
7.2.2 反射系数法测量阻抗	144
7.2.3 射频电流—电压直接测量法	145
7.2.4 射频阻抗分析仪的应用	149
7.3 标量网络分析仪	150
7.3.1 网络测量的基本原理	150

7.3.2	微波标量网络分析系统	151
7.3.3	分体式标量网络分析仪	153
7.3.4	一体化标量网络分析仪	155
7.3.5	标量检波器	157
7.3.6	网络分析仪的应用领域	158
7.4	矢量网络分析仪	159
7.4.1	连续波矢量网络分析仪	160
7.4.2	矢量网络分析仪的误差修正	165
7.4.3	毫米波矢量网络分析仪	168
7.4.4	脉冲矢量网络分析仪	170
7.4.5	矢量网络分析仪的应用	173
第八章	光电测试	180
8.1	光源	180
8.1.1	光源的基本原理和结构	180
8.1.2	光源的技术指标及应用	182
8.2	光功率计	183
8.2.1	光功率的表示方法	183
8.2.2	光功率计的工作原理	184
8.2.3	主要技术指标及应用	186
8.3	光时域反射计	187
8.3.1	光时域反射计的工作原理	187
8.3.2	光时域反射计的组成	189
8.3.3	光时域反射计的特点及应用	190
8.4	光谱分析仪	191
8.4.1	光谱分析仪的工作原理	191
8.4.2	光谱分析仪的技术指标	194
8.4.3	光谱分析仪在军事光电电子技术中的应用	194
8.5	光信号分析仪	195
8.5.1	光信号分析仪的组成及工作原理	195
8.5.2	典型产品性能简介	197
8.5.3	光信号分析仪的应用	198
8.6	光元器件分析仪	199
8.6.1	光元器件分析仪的工作原理	199
8.6.2	调制方式	201
8.6.3	主要技术指标和应用	201
第九章	数据域测试	203
9.1	数据域测试的概念	203
9.2	数字信号发生器	203
9.2.1	数字信号发生器的作用	203
9.2.2	数字信号发生器的结构	204
9.2.3	数据的产生	205
9.2.4	数据流的特征	205

9.2.5 主要技术指标	209
9.3 逻辑分析仪	213
9.3.1 逻辑分析仪的基本组成	213
9.3.2 数据的捕获与触发跟踪	213
9.3.3 数据流的高速存储	217
9.3.4 数据的建立时间和保持时间	220
9.3.5 数据的显示	220
9.3.6 主要特点及技术指标	221
9.4 数字测试系统	222
9.5 可测性设计技术	223
9.5.1 可测性设计的概念	223
9.5.2 可测性设计的基本方法	224
第十章 通信测试	226
10.1 规约分析仪	226
10.1.1 基本概念	226
10.1.2 规约与规约分析仪的原理	226
10.1.3 规约分析仪的指标	229
10.1.4 规约分析仪的应用与分类	230
10.2 数字传输测试	231
10.2.1 基本概念	231
10.2.2 数字通信传输测试	236
10.2.3 PDH 传输测试及仪器	238
10.2.4 SDH 传输测试	240
10.2.5 应用	244
10.3 数字通信测试	245
10.3.1 数字通信的基本概念	245
10.3.2 矢量信号发生器	247
10.3.3 矢量信号分析仪	252
第十一章 自动测试系统	256
11.1 自动测试系统的基本结构	256
11.1.1 第一代自动测试系统	256
11.1.2 第二代自动测试系统	256
11.1.3 第三代自动测试系统	259
11.1.4 VXI 总线模块化自动测试系统	260
11.2 接口总线	261
11.2.1 IEEE488 接口总线	261
11.2.2 VXI 总线	266
11.3 仪器的程控, 仪器驱动器及虚拟仪器	270
11.3.1 仪器的程序控制	270
11.3.2 仪器驱动器	274
11.3.3 虚拟仪器	278
11.4 测试软件的自动生成	281

