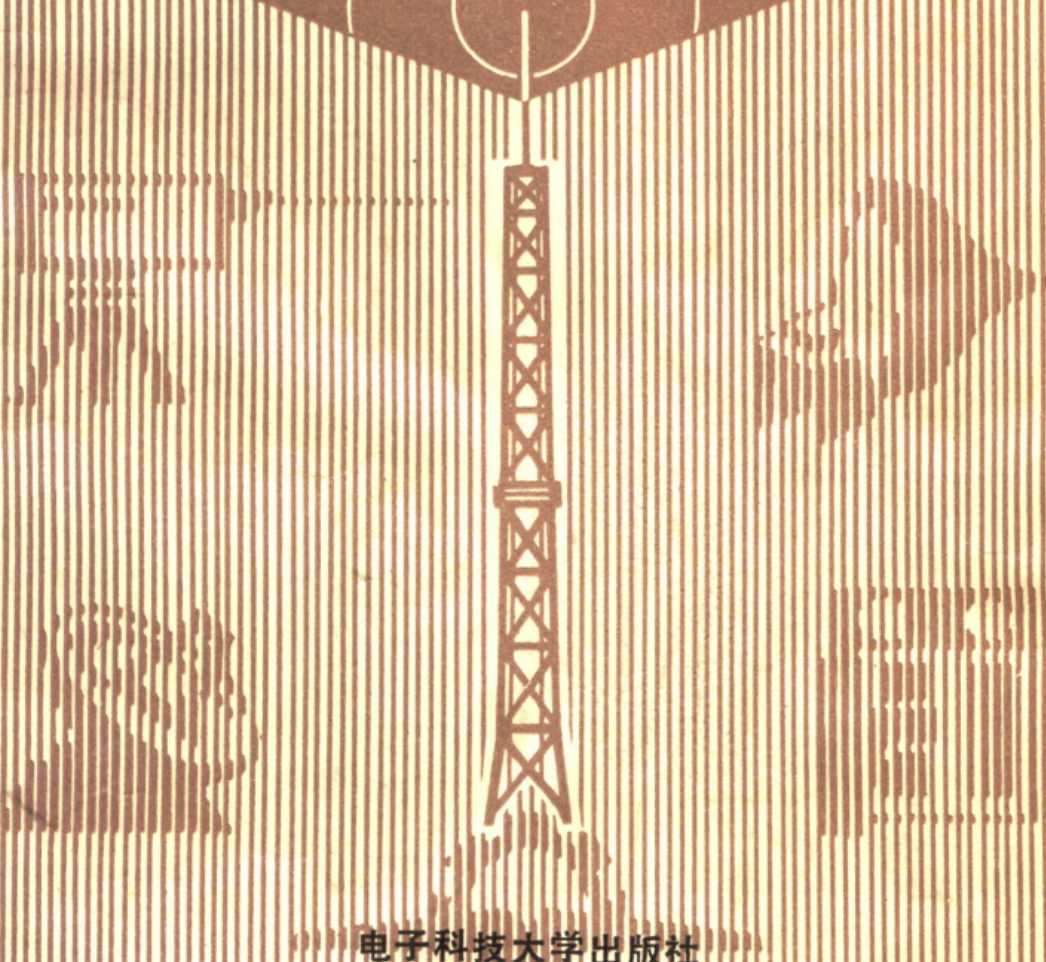


高等学校教材

微波自动测量技术

赵希尧 丁荣林 郭法楼



电子科技大学出版社

微波自动测量技术

赵希尧 丁荣林 郭法楼

598
4

高等学校教材

微波自动测量技术

赵希尧 丁荣林 郭法楼

电子科技大学出版社

• 1990 •

内 容 简 介

本书是高等院校工科电子类微波技术专业的教材,重点介绍当代微波自动测量技术。内容包括:标准通用接口系统,测试计算机和测试 BASIC 语言,微波功率、频率、频谱的自动测量技术,微波测量用信号源的自动控制技术,微波网络分析仪的自动化以及六端口技术等。

本书可作为微波及无线电类专业本科生和研究生教材,也可供工厂和研究部门的科学技术人员参考。

高等学校教材

微波自动测量技术

赵希尧 丁荣林 郭法楼

*

电子科技大学出版社出版
(中国成都市建设北路二段四号)

成都市盲哑学校印刷厂印刷

四川省新华书店发行

*

开本 787×1092 1/16 印张 9 字数 219千字
版次 1990年10月第一版 印次 1990年10月第一次印刷

印数 1—2800册

中国标准书号 ISBN7-81010-215-2/TN·54

(15452·93)

定价: 1.85元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

机械电子工业部
电子类教材办公室

前 言

本教材系接电子工业部的工科电子类专业教材 1986~1990 年编审出版规划,由电磁场与微波技术教材编审委员会微波技术教材编审小组征稿、推荐出版,责任编委言华教授。

本课程的参考学时数为 30~40 学时,其主要内容为:重点介绍微波自动测试系统的组成和工作原理。第一章简单介绍微波自动测量技术发展史,对智能仪器和微波自动测试系统作了概括性介绍。第二章从微波自动测试系统组建者的角度出发,简介标准接口系统,编码格式,测试计算机和测试 BASIC 语言。第三章结合典型程控自动化微波测量仪器,介绍微波信号特性的自动测量技术,包括微波功率、频率以及频谱的自动测量与分析技术。同时以扫频信号源为例,介绍了微波测量用信号源的自动控制技术。最后两章介绍微波网络特性的自动测量技术。结合我国情况,第四章以手动网络分析仪 HP8410S 改造成自动网络分析仪 HP8409C 为线索,介绍了自动微波网络分析仪的组建、程控、数据采集以及精度增强技术。第五章结合单六端口式方案,重点介绍六端口自动网络分析仪的校准、数据采集和数据处理技术。

本书由北京理工大学汤世贤教授主审。他详细审阅了本书全部书稿,为本书提出了极宝贵的指导性改进意见,并提供了重要的参考资料。本书在编写过程中得到了天津大学电子工程系言华教授的热情指导和帮助,编者在此一并表示衷心感谢。

本教材由赵希尧编写第一、四章及第三章的第 3、5、6 节,丁荣林编写第五章及第三章的第 4 节,郭法楼编写第二章及第三章的第 1、2 节,由赵希尧统编全稿。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

一九八九年十月

目 录

前 言

第一章 绪论

- § 1.1 微波自动测量技术发展简史····· (1)
- § 1.2 微波智能仪器与自动测试系统····· (2)
- § 1.3 微波自动测量技术的特点····· (4)
- § 1.4 微波自动测量技术的发展动态和趋势····· (5)

第二章 自动测试基础知识引论

- § 2.1 标准通用接口系统····· (7)
 - 一、自动测试系统的结构····· (7)
 - 二、自动测试系统的工作原理····· (9)
 - 三、接口功能设置····· (12)
 - 四、接口母线结构····· (16)
 - 五、接口母线的机械规范····· (19)
- § 2.2 通用接口系统的消息编码····· (19)
 - 一、通用接口系统的消息分类····· (19)
 - 二、远地多线接口消息····· (20)
 - 三、远地多线装置消息····· (23)
- § 2.3 测试计算机····· (25)
 - 一、测试计算机的基本结构····· (26)
 - 二、测试计算机 HP9845C····· (27)
 - 三、IBM/PC 个人计算机····· (30)
- 习 题····· (35)

第三章 典型程控自动化微波测量仪器简介

- § 3.1 概述····· (36)
- § 3.2 微波程控功率计····· (37)
 - 一、微波程控功率计····· (37)
 - 二、HP436A 程控功率计····· (38)
 - 三、HP436A 程控功率计远控工作方式····· (39)
 - 四、智能功率计 ML83A ····· (43)
 - 五、HP438A 程控功率计····· (45)
- § 3.3 微波频率计····· (45)
 - 一、微波数字频率计的基本工作原理····· (45)
 - 二、HP5343A 微波数字频率计····· (47)
 - 三、HP5343A 的程控性能····· (48)

§ 3.4 微波自动频谱分析仪	(52)
一、HP8566A 微波自动频谱分析仪的基本工作原理	(52)
二、HP8566A 微波自动频谱分析仪的主要功能和特点	(54)
三、HP8566A 的程控性能	(57)
§ 3.5 程控微波扫频信号源	(60)
一、HP8350B 工作原理简介	(61)
二、HP8350B 的主要性能	(61)
三、HP8350B 的程控技术性能	(62)
§ 3.6 本章小结	(67)
习 题	(68)
第四章 自动微波网络分析仪	
§ 4.1 引言	(69)
§ 4.2 矢量微波网络分析仪的组成	(69)
一、网络分析仪测试系统	(69)
二、各组成单元简介	(70)
三、反射测量	(72)
四、传输测量	(74)
§ 4.3 自动微波网络分析仪系统	(74)
一、系统组成	(74)
二、系统的控制	(77)
三、信号源的程控	(78)
四、 S 参数测试装置的程控	(80)
五、数据采集	(82)
六、测量精度的提高	(85)
七、系统软件	(91)
§ 4.4 自动微波网络分析仪的新进展	(93)
一、工作频段宽	(93)
二、“实时”误差校正测量能力	(93)
三、频域、时域双域显示功能	(94)
习 题	(97)
第五章 六端口自动测试技术	
§ 5.1 概述	(98)
§ 5.2 单六端口网络的微波测量功能	(99)
一、测量复反射系数	(100)
二、测量负载吸收的净功率	(101)
三、测量复数比 (矢量电压表)	(101)
四、测量二端口网络 S 参数	(102)
§ 5.3 单六端口矢量反射计系统	(103)
一、各部件主要特点及作用	(104)

二、单六端口反射计的校准.....	(116)
§ 5.4 双六端口自动网络分析仪.....	(127)
一、双六端口反射计测量 S 参数基本原理.....	(127)
二、双六端口自动网络分析仪的组成.....	(128)
三、双六端口反射计的校准.....	(129)
四、双六端口反射计测量 S 参数.....	(131)
习 题.....	(132)
参考文献	(135)

第一章 绪 论

近年来,微波测试设备竞相采用各种性能优良的新器件,如GaAs FET晶片、SAW器件, YIG电调振荡器、滤波器等,并采用采样变频锁相环路等新技术,再与价格低廉的微处理器相结合,使仪器设备的性能有了明显的提高。微计算机的普遍应用,极大地促进了微波自动测试系统的发展。

§ 1.1 微波自动测量技术发展简史

早在三十年代就有人研究复数网络参量的测量问题。1934年贝尔实验室的科学家发明了一种复传递函数的测量方法,能够在示波器的荧光屏上直接显示出传递函数的极坐标图形。同时,另有不少人提出微波阻抗图示意方案。

随着各种新式微波系统的不断出现,对测试技术提出了越来越高的要求。例如近代相控阵雷达有上万个天线振子,需要测量每个天线的输入端复反射系数,用人工方法是无法完成的,必须采用自动测量技术。

1968年HP公司研制成第一台全自动化宽频段微波网络分析仪HP8540,工作频段0.11~12.4GHz。1969年贝尔实验室制成计算机控制的传输参数测量装置。1972年制成能完整测量传输和反射的全自动化装置。工作频段为0.9~12.4GHz。与此同时,许多厂家都开展了自动网络分析仪的研制工作,可以说,到了七十年代,微波自动测试技术便进入了一个快速发展的阶段。

微计算机的普及,它与电子测量技术相结合,给电子测量和仪器带来了革命性的影响。使电子测量在测量原理与方法、仪器设计、仪器性能和功能、仪器使用和故障检修方面都产生了巨大的变化。1971年微处理器问世后,不久就被用到仪器上,出现了带微处理器的自动测试仪器。

电子测量仪器与微计算机相结合,形成了所谓微计算机化仪器。目前,这类仪器主要有两种类型,即智能仪器和个人仪器。

智能仪器中包含一至数个微处理器或微计算机,利用微处理器的数据处理、存储等能力,可实现自动校正、多次测量求平均等技术,从而提高了测量精度。智能仪器多半具有自动量程转换、自动校准、自动检测等功能,并且大多配有GP IB接口,能方便地接入自动测试系统,接受遥控,实现自动测试。

1982年以后出现了另一种与微计算机紧密结合的仪器,即个人仪器。在个人仪器或仪器系统中,诸如显示器、键盘和内装微计算机等都可以从每台仪器中抽出来,并集中到个人计算机中,故每个仪器的硬件可减到最少的程度。

微计算机的普及,也促进了自动测试系统的发展和普遍应用。回顾它的发展历史,大体可分为三个阶段:

一、第一代自动测试系统

常见的第一代自动测试系统主要有自动数据采集系统,自动数据分析系统等。它们能完

成繁重的测试任务，快速、准确地给出测试结果。但这类自动测试系统的设计和组建极不方便，它需要系统组建者自行解决仪器间以及仪器与计算机之间的接口问题。而且这种系统的适应性不强，当改变测试内容时，一般需要重新设计电路。

二、第二代自动测试系统

第二代自动测试系统是以采用标准化通用可控测量仪器的接口系统为特征的。系统中的各组成部分，包括计算机、程控仪器、程控开关等均配以标准化的接口功能电路。组建者可根据测试任务，以积木化的方式将有关设备用统一的无源母线电缆联接起来。这种系统组建方便，不需要组建者自己设计接口电路，而且更改、增加测试内容也很灵活，显示了很大的优越性，得到了广泛的应用。目前应用最广的一种标准化接口系统，叫做通用接口母线系统，即 GP IB (General Purpose Interface Bus)。世界上很多厂家生产的仪器都带有这种接口，我国配备这种接口的仪器和微计算机也发展很快。当前，关于通用接口母线系统的有关原理和使用方法，不仅是电子测量仪器专业的基本知识，而且也是整个电子科技领域里科技人员的必备知识。

三、第三代自动测试系统

第三代自动测试系统的基本思想是：在计算机控制下对基本被测量进行采样，然后由采样值计算出一切所需的测量参数。在第三代自动测试系统中，计算机不仅当作系统控制器，而且是重要的硬件测量装置，包括用来产生各式各样的测试激励信号。但目前这种测试系统还处在开始发展的阶段，尚未普及。本书主要介绍第二代微波自动测试系统的设计和组建问题。

§ 1.2 微波智能仪器与自动测试系统

近代微波自动测量技术的发展，主要表现在大量带有内部微处理器的自动化、智能化仪器的出现，以及可由用户根据自己的测试要求组建的积木化自动测试系统。

一、智能仪器

1. 智能仪器的组成

智能仪器的基本组成如图 1.2.1 所示。微处理器或微计算机是整个智能仪器的核心。各种信息的传递和很多功能电路的控制，大多通过微机总线进行。对键盘和显示部分的管理，

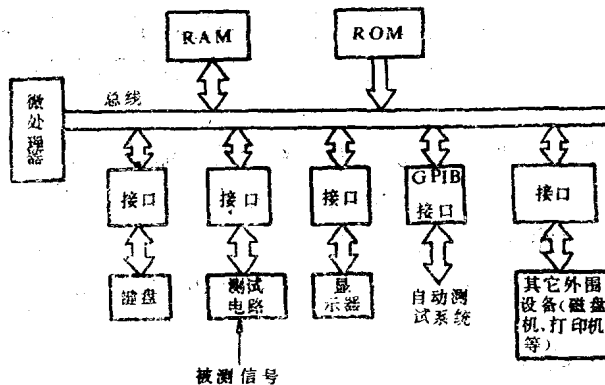


图 1.2.1 智能仪器的组成

也与微计算机中类似。智能仪器在设计上的考虑，已从传统的以仪器硬件为中心，转变为以微计算机为中心。而计算机以外的硬件部分，大多可以看成是计算机的外围设备，它们通过计算机总线和输入、输出 (I/O) 接口与计算机联接。因此，虽然智能仪器在形式上是一台仪器，但它的工作方式却和计算机一样，而与传统的仪器差别较大。

2. 智能仪器的性能特点

由于在智能仪器中引入了微处理器和存储器，因而智能仪器在性能上有两个突出的特点：记忆功能和计算功能。

二、积木化通用自动测试系统

1. 概述

六十年代末期，美国 HP (HEWLETT PACKARD) 公司开始提出积木化通用自动测试系统的概念。为解决某种特定的测试课题，选用一定的具有专门功能的通用测量设备，和一台计算机互联起来，就组成一个自动测试系统。一般来说，这种自动测试系统中的各个设备既可以程控，也可以手动。如果将系统拆散开，又是各具专门功能的通用测试设备。用户可以根据需要选用所需的测量设备。组建起具有某种性能的自动测试系统，这就是积木化自动测试系统的概念。图 1.2.2 以自动网络分析仪 (ANA) 为例，表示出积木化自动测试系统的构成及其主要设备。

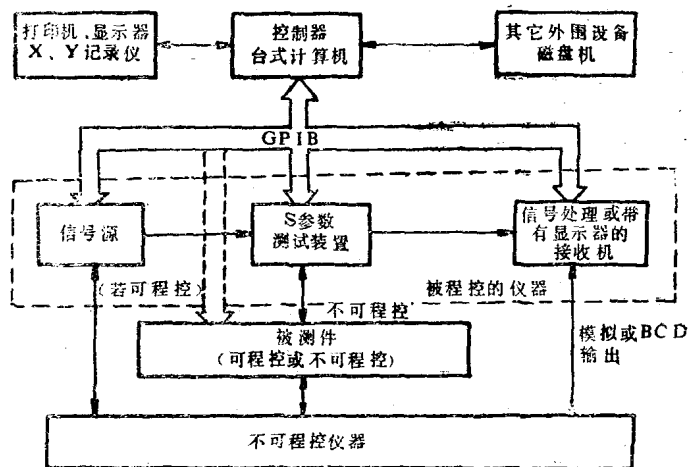


图 1.2.2 积木化自动测试系统

自动测试系统是计算机技术与自动测试技术相结合的产物。自动测试系统由测量仪器、计算机及相应的接口系统组成。在预先编制好的测试程序管理下，计算机执行数据采集、数据分析和处理、误差校正，并完成测量结果的显示、存储、传输以及处理自动测试系统自身故障等操作。具有速度快、精度高、重复性好等优点。

如果将图 1.2.2 与图 1.2.1 作比较，会发现极为相似之处。在图 1.2.1 所示的智能仪器中，计算机通过机内的总线与各外围设备进行信息传递，而在图 1.2.2 所示的积木化测试系统中，计算机是通过外部的 GP I B 接口母线与各设备进行信息传递的。若将计算机和系统中各设备一起组装成一台仪器，通过内部总线计算机与各设备传递信息，则又构成一台高性能的智能仪器。微波网络分析仪的发展过程，充分反映了微波测量技术由手动到积木式自动测

试系统,再由自动测试系统到智能化仪器的演变过程。手动微波网络分析仪HP8410,它的主机、S参数测试装置,以及信号源等都是各个独立的,由人工手动操作测量。自动微波网络分析仪HP8409,是由计算机通过GP IB接口程控上述各设备而构成的积木式自动测试系统。而HP8510则是在此基础上,进一步将计算机装在仪器内部,使其具有很强的数据处理能力,并可进行频域、时域转换等,是一台具有高度智能的仪器。近年来又出现一些“一体化”的智能仪器,其本身即相当于一个自动测试系统。例如HP8753A网络分析仪,就已把频率合成扫频信号源和主控机都集合为一体。最近的HP8720A/B就更为一体,将偏置源、步进衰减器,甚至绘图/打印缓存区等都包括在内了。这些智能化、一体化仪器本身仍带有GP IB接口,是为进一步扩大系统或增加外设之用。

2. 标准通用接口

实现积木化自动测试系统的关键,是解决作为积木块的各部件之间的联系问题。如果各部件能做到标准化和规格化,则组建自动测试系统将会极其方便。

1965年美国HP公司就开始了标准通用接口母线的研究。1972年发表了HP IB (HP Interface Bus)标准接口系统。1975年美国电机与电子工程师学会(IEEE)公布了IEEE-488-1975标准接口系统。1978年又对上述文本作了扩充,公布了IEEE-488-1978标准。1979年国际电工委员会(IEC)公布了IEC625-1-79文本,这是对可编程测量仪器接口系统提出机械的、电气的和功能上的规范要求。1980年又公布了IEC625-2-80文本,这是对可编程测量仪器消息编码格式惯例的规定。

1984年2月我国颁布了ZBY207.1-84(与IEC625-1-79等效)和ZBY207.2-84(与IEC625-2-80等效)文本作为中华人民共和国专业标准,以后又升级作为国家准标(GBn249.1~249.2),于1986年1月1日正式实施。我国电子测量仪器的生产已走向智能化、标准化和国际化。

3. 系统的控制

在自动测试系统发展的同时,人们就对控制器面向用户的测试语言进行了研究。人们注意到,当控制器在向不同的仪器发各种程控指令时,其过程虽复杂,但除了地址码和程控代码不同,基本上是相同的。这就给人们提供了使用高级语言进行编程的可能。正如在编制任何程序时使用子程序一样,可以将完成某一类测试操作(如发程控指令、获取数据、对接口系统的控制等)的一组计算机操作,编成一组放在计算机的编译系统中。当用户让计算机执行一个带有不同地址码和程控指令的语句时。操作系统就会自动地完成这些复杂的操作过程。这就是在自动测试系统中使用高级语言编程的基本设想。由于BASIC语言是一种解释性语言,操作系统对这种语言是解释一句,执行一句,而且BASIC语言语法简单,调试容易,很适于自动测试系统中使用。因此,BASIC语言成了目前在自动测试系统中广泛采用的一种高级编程语言。除此之外,尚有ATLAS语言、HPL语言等面向测试的编程语言。

§ 1.3 微波自动测量技术的特点

1. 高速度:由于整个测量过程是在预先编制的程序管理下自动完成的,测量速度一般比人工快50~100倍;

2. 高精度:采用精度增强技术,可对测量结果进行系统误差修正。由于测量速度快,

可进行多次重复测试，用统计平均法提高测量的置信度。同样由于测量速度快，使环境变化、温度漂移等影响也降到很低的程度；

3. 多功能和多参数测量：利用计算机的快速计算能力，从一种参数可以转换出多种参数。如自动微波网络分析仪，通过 S 参数的测量，可算出网络的 A, Z, Y 等参数。还可将宽频段内网络的频域参量，经反富氏变换，得到网络的时域特性；

4. 高重复性：由于每次测量都是按同一程序控制进行，避免了人为操作误差，重复性一致性高；

5. 自诊断：程序在执行过程中，如果哪一个部件发生了故障，则该部件就会向控者发出“请求服务”消息，控者就会自动中断现行程序的执行，转而去查找请求服务的原因，然后采取相应的处理措施；

6. 操作简便：由于测量过程是按程序操作，测试人员无须具备高深的理论和熟练的技巧，只须按显示器上提出的问题和提示，做出相应的回答和操作即可。测试设计主要是编制测试程序。要求编制测试程序的技术人员，须具备较全面的有关微波测量、自动测试技术以及计算机的知识。而程序一旦编好，就可由只具初级水平的一般技术人员进行测量操作。

§ 1.4 微波自动测量技术的发展动态和趋势

目前微波自动测量技术的发展十分活跃。随着计算机技术和大规模集成电路工艺的发展，微型计算机不但继续在积木式自动测试系统中起控制器的作用，而且还进一步和测量仪器结合为一个整体，如 HP8510 系列微波网络分析仪。根据目前国内外微波自动测量技术的发展动态，归纳起来，其发展主流如下：

一、扩展现有自动微波网络分析仪的功能

这主要表现在三个方面。

1. 扩展频段：1984 年第 23 届 ARFIG (自动 RF 小组) 在美国召开了专门会议，讨论将自动微波网络分析仪系统扩展到毫米波段的问题，会上 Rockwell 公司介绍了他们将 HP8409C 从 18GHz 扩展到 50GHz，而测量精度不变。Hughes 公司介绍了将 HP8410 或 8409 扩展到 95GHz，在 90GHz 时动态范围可达 50dB。目前的趋势是，利用变频技术将现有 ANA 系统的工作频段扩展至毫米波，实现毫米波段的自动测量。

2. 去嵌入技术的发展：目前 ANA 系统使用的微带型晶体管测试盒，两端都是 APC-7 型接头。以这两个端口为参考面，ANA 系统可精确测定其 S 参数。但是，在测试盒内部有同轴-微带转换接头，因而在所测出的 S 参数中，不可避免地嵌入了该转换接头所引入的系统误差。为提高晶体管 S 参数的测量精度，近年来，国内外的研究机构相继开展了各种去嵌入技术的研究。所谓去嵌入技术，就是设法从 ANA 测出的，包括晶体管测试盒的系统误差在内的 S 参数中，去掉测试盒的影响，从而得到精确的晶体管本身的 S 参数。尽管各种去嵌入技术的原理不同，方法各异，但是有个共同点，就是充分发挥 ANA 系统中计算机的潜力，利用计算机的存储能力和快速计算的能力，自动从测得的数据中扣除测试盒的影响，给出高精度的结果。

3. 频域-时域转换技术的发展：ANA 的测量是在频域中进行的，利用 ANA 系统中的计算机将被测网络的频域响应进行反富氏变换，就可得到它的时域响应。在时域中，轴横为

时间，也可以表示距离。网络分析仪具备了时域分析功能，使操作者能观察到被测元件的内部，这有利于微波元件的设计和**调整**。另外，在开放场地测量中，为天线性能的测试提供了极大的**方便**，使得在许多场合，可以**不需要**微波暗室。

二、六端口技术蓬勃发展

实现新一代自动网络分析仪的途径，目前最有希望的首推六端口技术。根据六端口原理可以构成多种形式的复数反射计或比值计电路。在此基础上又可按不同**方式**组成六端口自动网络分析仪（SPANNA）。目前，SPANNA正朝着作为多功能精密计量设备和商品化普及型多用测量仪器这两个**方向**发展。

三、其它

近来正在发展中的还有时域自动网络分析仪（TDANA）。一种较为成熟的**方案**是：以高速脉冲信号源，对网络的入射波形及反射或**传输**波形进行程控**采样**和数化后，分别进行快速富氏变换，然后求其比值，便能得出网络的**频域**反射系数或**传输**系数。

另外，在微波信号特性参量的测量技术中，微波频谱分析仪的高度发展和应用之普遍，也是当前微波自动测量技术的重大进展。

第二章 自动测试基础知识引论

自动测试系统 (AUTOMATIC TEST SYSTEM) 是计算机技术和测试技术相结合的产物。通常是由程控测试仪器, 自动测试用的计算机 (或带有 GPIB 接口卡的通用个人计算机), 被测试物理对象以及相应的接口系统组成。在预先编制好的测试程序管理下, 测试计算机执行相应的测试程序, 控制程控测试仪器进行数据采集或数据分析, 或者对测试的原始数据进行误差分析或校正, 完成测试结果的显示, 打印、传输、存储等操作。目前人们所选用的自动测试系统是指用通用标准接口母线 GPIB (GENERAL PURPOSE INTERFACE BUS) 组建的积木式自动测试系统。本章主要讨论 GPIB 接口的基本原理。

§ 2.1 标准通用接口系统

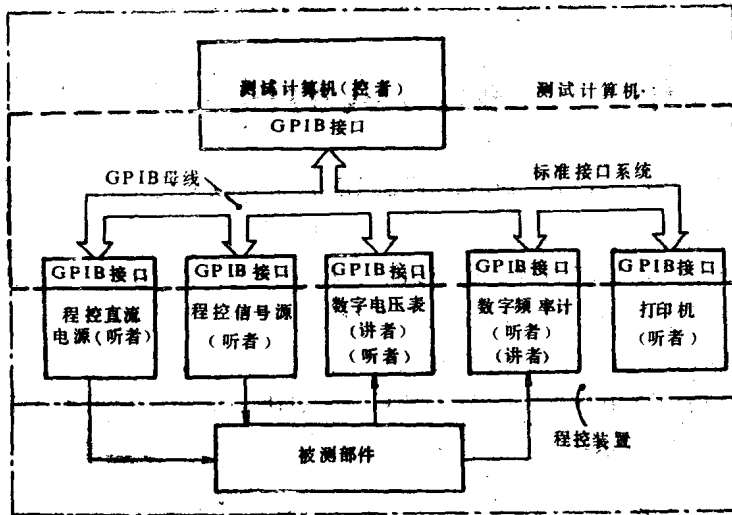
一、自动测试系统的结构

自动测试系统主要包括测试计算机、程控装置 (程控仪器和智能仪器)、被测部件和标准接口系统四大部分。图 2.1.1 (a) 是对被测部件进行电压和频率测试而组建的自动测试系统方框图。图中粗虚线框内为标准通用接口系统, 由各个装置中的接口电路和无源接口母线电缆组成。组建自动测试系统的关键问题有两个: 其一是标准通用接口系统是如何实现系统中各个装置之间电气的和机械的相互连接, 实现信息的相互传输和测试过程的自动控制, 即信息在装置间的相互传输; 其二是如何建立测试过程的数学模型, 选择程序设计语言和程序设计方法, 编写测试程序, 实现测试过程的自动化, 即控制信息在装置间的传输过程。前者是自动测试系统的硬件设计问题, 后者是自动测试系统的软件设计问题。图 2.1.1 (b) 表示了自动测试系统连接方式一例。

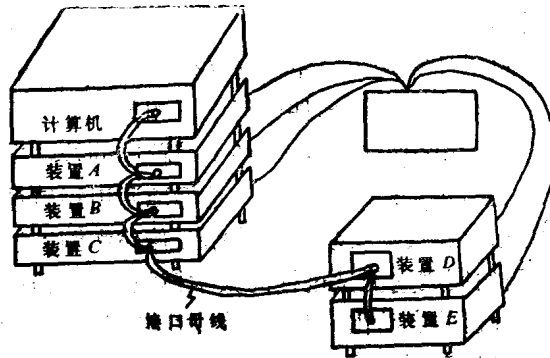
自动测试系统工作时, 接口母线上不断有信息持续地来回传输, 据信息传输时参与系统工作的各装置所起的作用, 通常把参与信息交换的系统装置分为讲者、听者和控者三大类。

1. 讲者 (TALKER): 数据 (也称为消息和消息数据。主要包括测试数据、程控命令、状态消息和地址消息等) 传输过程中, 产生和发出多种消息数据到系统母线的装置。任何时候系统中无讲者就无数据传输。一个系统中允许多个装置作为讲者。但系统工作时, 在某一时刻只允许一个装置作为讲者。这是因为一条母线上不能同时传输多于一个装置发送的数据, 母线只能被一个讲装置使用。如果有两个装置同时作为讲者把数据送到接口母线上, 势必引起数据传输的混乱。图 2.1.1 中, 数字电压表在测试电压时作为一个讲装置, 它能将测得的电压值以数字代码形式送到接口母线, 传输到测试计算机进行数据处理, 或送到打印机打印测试结果。

2. 听者 (LISTENER): 数据传输过程中, 接受由讲者发出经母线传输的多种消息数据的装置。一个系统内可以同时存在着若干个听者装置, 它们均可以同时从母线上接受相同的消息数据。图 2.1.1 所示系统工作时, 数字电压表被寻址为讲者, 测试计算机、打印机等可同时被寻址为听者, 作为讲者的数字电压表经母线发出的测试数据, 同时被母线上的听者接



(a) 自动测试系统组成方框图举例



(b) 自动测试系统装置的连接方式举例

图 2.1.1 自动测试系统的组成举例

受。此时数字电压表是系统中的唯一讲者（不允许其它装置为讲者），而测试计算机、打印机等同时为听者。

3. 控者(CONTROLLER)：数据传输过程的组织者和控制者（或管理者，维持系统正常工作）。它负责指定每次数据传输过程的讲者、听者，负责处理数据传输过程或其它工作过程中（如测试进行过程），各系统装置可能提出的服务请求以及对母线进行管理等操作。系统控制器通常由测试计算机担当，起控者的作用。当然一个系统中也允许若干个装置充当系统控者的角色，但是任何时刻只能有一台装置起控者的作用。自动测试系统中的控者有系统控者和责任控者之分。对系统工作起组态作用的控者称为系统控者，对系统当前工作起控制作用的控者是责任控者。两者之间的控制权可以相互转移，通过管理程序来实现。测试计算机既可充当系统控者又可充当责任控者。

讲者、听者、控者和被测部件（被测物理对象）是任何测试系统不可缺少的组成部分。所谓的被测物理对象可以是电量的电压、电流、频率、功率等，也可以是能转换为电量的非电量如温度、压力、速度、流量、机械位移等。它是由系统的组建者依据测试要求选择决

定。讲者、听者和控者是一切数据传输过程都要起作用的。缺少任何一个数据传输就无法进行。应当指出：系统内各装置所起的作用并不是固定不变的，这次数据传输过程中的讲者，在下次数据传输过程中就可能变成一个听者。如数字电压表，当系统控者发出程控命令，要求改变其工作模式（如将交流电压测量改变为直流电压测量）时，系统控制器就是讲者，而数字电压表就是听者。若数字电压表要把测试结果经测试计算机处理送打印机打印时，数字电压表就是讲者，测试计算机就是听者。测试计算机接收到电压表的测试结果后就送打印机。一个系统中，哪些装置是讲者，哪些装置是听者，在什么情况下，什么时刻由讲者变为听者，或由听者变为讲者，完全根据测试系统要完成的测试任务，由系统控制器通过寻址（发送某装置的讲地址，或某装置的听地址）来指定。一个装置一旦被系统控者寻址，系统控者就能通过相应的程控命令控制该装置的操作。

二、自动测试系统的工作原理

图 2.1.2 是图 2.1.1(a) 所示自动测试系统的信息流动示意图。图中每台装置的编号是系统操作者依照系统装置的数目事先分配给每个装置的地址，然后由各装置后面板上的地址开关来设定。每台装置应配置有相应的 GPIB 接口板，通过无源的 GPIB 接口母线电缆连接组成 GPIB 接口系统。GPIB 接口板使每台装置具备和 GPIB 接口电缆线实现电气和机械连接的能力。GPIB 接口电缆线为各个装置之间的信息传输提供通路，由 8 条接口数据线、8 条接口管理线和 8 条逻辑地线组成。实际上信息的传输如程控命令、装置地址、测试数据、状态信息以及接口命令等通常在数据线上传送。接口系统的管理工作，如远地方式控制、服务请求、接口总清等操作，由接口管理线控制。

自动测试系统工作时，依据系统的工作要求分为命令方式 (COMMAND MODE) 和数据方式 (DATA MODE)。在命令方式时，自动测试系统控者对系统工作进行组态，指定每次数据传输的讲者和听者，对系统装置进行寻址。在数据方式时，在由命令方式时指定的讲者和听者之间，传送程控命令，预置听者的工作参数，或者传送测试结果等。自动测试过程中，系统控者不断地控制系统在命令方式和数据方式之间交替转换，使系统按照命令方式—数据方式—命令方式—数据方式……交替工作，实现不同的组态，完成不同装置之间的信息传送。所以 GPIB 接口系统是一种装置间信息交换的管理系统。系统的管理和数据的处理由测试计算机完成，测试数据的采集获取由测试装置完成。

自动测试过程由测试计算机执行相应的测试程序加以控制。下面以测试某放大器的幅频特性为例说明自动测试的工作过程（该程序采用 HP9845 的扩展 BASIC 语言编写）。

```
10 REMOTE 7;启动系统远地方式
20 CLEAR 7;清除接口系统,各装置复位。
30 OUTPUT 702;"1500";预置程控电源,1表示量程为10V,500表示5.00V。
40 OUTPUT 704;"ACR5";AC设置电压表为交流测量,R5自动选择量程。
50 OUTPUT 703;"F2I1FRQ100HZAMP10MV";设置程控信号源为正弦波输出100HZ10mV信号
60 FOR I=1 TO 20
70 ENTER 704;A(I);从电压表读数
80 OUTPUT 703;"FRQ",100+I*100,"HZ";令程控信号源频率增量100HZ
90 NEXT
100 FOR I=1 TO 20
110 PRINT "FRQ";100+I*100;"HZ",A(I)
```