

测控技术与仪器专业

本科系列教材

测控仪器设计

Cekong Yiqi Sheji

主 编 韩峻峰 副主编 王民慧 马兆敏

CEKONG JISHU YU YIQI



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

测控仪器设计

主 编 韩峻峰

副主编 王民慧 马兆敏

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是测控技术与仪器专业系列教材,从总体设计出发,以现代测控仪器的理念组织编写测控仪器设计的相关内容。

本书首先系统地论述测控仪器的设计思想和设计步骤,在此基础上给出测控仪器的设计原则,并简单介绍了仪器的可靠性设计;然后对仪器的精度设计的理论和方法进行介绍;之后分析了仪器的硬件设计和软件设计方法;最后结合前面章节介绍的理论和方法,给出了两个典型的测控仪器设计实例。

全书内容整合了现代测控仪器设计的相关资料和最新科研成果,具有应用性和实践性强的特点。适用于仪器仪表类专业师生和从事仪器仪表研究、设计、生产和开发的工程技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

测控仪器设计/韩峻峰主编. —重庆:重庆大学出版社,
2009.7

(测控技术与仪器本科系列教材)

ISBN 978-7-5624-4853-2

I. 测… II. 韩… III. 电子测量设备—高等学校—教材
IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 118534 号

测控仪器设计

主 编 韩峻峰

副主编 王民慧 马兆敏

责任编辑:周 立 版式设计:周 立

责任校对:任卓惠 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

四川省内江市兼升印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:8 字数:200千

2009年7月第1版 2009年7月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-4853-2 定价:15.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

在信息时代的今天,测控技术已经成为现代生产、生活和科学研究中一项必不可少的基础技术。为了适应仪器仪表学科发展的需要,培养面向 21 世纪具有创造性的高级技术人才,使其掌握本学科基本理论、专业知识与基本技能,具备从事测控方法研究、测控仪器和装置初步设计、试验与研制开发,以及解决相关工程实际问题的能力,我们特尝试编写此书。

全书共分 6 章,分别为概论、测控仪器总体设计、仪器误差分析、测控仪器硬件电路设计、测控仪器软件设计和测控仪器设计实例。本书从总体设计角度出发,对测控仪器的总体设计、精度设计和测控电路软硬件设计等进行分析与论述;介绍测控仪器设计中基本、主要的内容和方法;并给出了能突出测控仪器设计的应用性和实践性的综合设计实例。全书内容选择具有代表性和典型性,强调基本知识介绍和基本技能培训,力求使读者学会如何从设计任务出发进行测控仪器的设计分析、计算综合及独立进行硬件和软件设计。

本书是高等学校测控技术及仪器专业的一门主修课程教材之一,是一门综合性实践性很强的专业课教材,可作为高等学校测控技术与仪器、自动化、电子信息工程、机电一体化等专业教材,也可作为相关专业参考书,供从事仪器仪表研究、设计、制造、使用和开发生产单位的工程技术人员参考。

本书由广西工学院韩峻峰教授担任主编。其中,第 1 章由韩峻峰编写,第 2 章由石玉秋编写,第 3 章由马兆敏编写,第 4 章由刘胜永编写,第 5 章由郭毅锋编写,第 6 章由王民慧编写。李胡国参加了文字校对工作。全书由韩峻峰统稿。

本书作为测控仪器设计方面的教材,是在总结、参考了大量国内外研究成果和教学经验的基础上,结合作者教学、科研体会和成果编写的。本书注重应用设计的观点,从工程角度考虑测控仪器设计的整体思路。在撰写过程中参考了较多的著作和相关教材,在此对文献作者以及在本书编写中作出贡献的人士表示衷心的感谢。由于编者水平有限,同时考虑到测控仪器的学科发展特征,本书可能出现疏漏或不妥之处,敬请广大专家学者和读者批评指正。

编 者

2009 年 2 月

目录

第1章 概 论	1
1.1 概述	1
1.1.1 测控仪器的概念	1
1.1.2 测控仪器和系统的地位与作用	2
1.2 测控仪器的基本构成	3
1.2.1 测控仪器的基本构成	3
1.2.2 测控仪器的功能特点	4
1.3 测控仪器的发展状况与前景	5
1.3.1 测控仪器的发展状况	5
1.3.2 虚拟仪器	7
1.4 本课程的目的与要求	10
第2章 测控仪器总体设计	11
2.1 设计指导思想和设计步骤	11
2.1.1 测控仪器性能指标	11
2.1.2 设计指导思想	12
2.1.3 设计步骤	13
2.2 测控仪器的组成及设计任务分析	14
2.2.1 测控仪器的组成	14
2.2.2 设计任务分析	16
2.3 测控仪器设计原则	17
2.3.1 从原理出发提高精度的原则	17
2.3.2 变形最小原则	18
2.3.3 坐标系基准统一原则	18
2.3.4 最短测量链原则	18
2.3.5 精度匹配原则	18
2.3.6 运动学设计原则	19

2.3.7	阿贝原则	19
2.3.8	硬件、软件协调优化设计原则	19
2.3.9	可靠性原则	19
2.3.10	经济性原则	19
2.4	测控仪器可靠性设计	20
2.4.1	可靠性设计意义	20
2.4.2	可靠性设计基本原则和任务	20
2.4.3	可靠性设计基本内容	21
2.4.4	可靠性设计步骤	23
第3章 仪器误差分析		24
3.1	仪器误差基本概念	24
3.1.1	误差定义及表示法	24
3.1.2	误差类型	25
3.1.3	精度	27
3.2	仪器误差来源与性质	28
3.2.1	原理误差	28
3.2.2	原始误差	29
3.3	仪器误差分析与计算	29
3.3.1	误差独立作用原理	29
3.3.2	微分法	30
3.3.3	几何法	30
3.3.4	逐步投影法	31
3.3.5	作用线与瞬时臂法	32
3.4	仪器误差合成	32
3.4.1	随机误差合成	32
3.4.2	系统误差合成	33
3.4.3	系统误差与随机误差合成	34
3.5	仪器误差分配	35
3.5.1	系统误差分配	35
3.5.2	随机误差和未定系统误差分配	36
3.5.3	按可能性调整公差	36
第4章 测控仪器硬件电路设计		38
4.1	电路系统的设计准则	38
4.1.1	测控电路的组成及作用	38
4.1.2	对测控电路的一般要求	39
4.1.3	电路系统的设计准则	40

4.2	典型传感器接口电路设计	41
4.2.1	热电阻接口电路	41
4.2.2	电容传感器接口电路	42
4.2.3	电位器式传感器接口电路	43
4.2.4	差分变压器式传感器接口电路	44
4.2.5	压阻式压力传感器接口电路	45
4.2.6	压电晶体传感器接口电路	46
4.2.7	光电二极管接口电路	46
4.3	中央处理模块设计	47
4.3.1	以计算机为核心的中央处理系统	47
4.3.2	基于单片机的主机电路	48
4.3.3	基于微型计算机的主机电路	56
4.4	输入输出通道及通信接口设计	57
4.4.1	模拟输入通道	57
4.4.2	模拟输出通道	64
4.4.3	开关量输入/输出通道	67
4.4.4	测控仪器通信接口	71
4.5	测控仪器的抗干扰技术及可靠性设计	73
4.5.1	测控仪器电路系统的抗干扰技术	73
4.5.2	电路系统的可靠性与故障诊断技术	75
第5章 测控仪器软件设计		77
5.1	接口程序设计	77
5.1.1	ADC0809 与 8031 接口程序	77
5.1.2	DAC0832 与 8031 接口程序	78
5.1.3	人-机接口程序	79
5.2	控制算法	84
5.2.1	测量数据处理有效性	85
5.2.2	克服随机误差的数字滤波法	85
5.3	数字 PID 控制算法	87
5.3.1	位置式和增量式 PID 控制算法	87
5.3.2	改进的 PID 控制算法	89
5.4	自动量程转换与标度变换	92
5.4.1	量程自动转换电路的控制	92
5.4.2	标度变换	92
5.5	校正算法	95
5.5.1	系统误差模型的建立	95
5.5.2	零位误差和增益误差的校正	98

5.6 硬件故障的自诊断	99
第6章 测控仪器设计实例	101
6.1 数字温控器的设计	101
6.1.1 数字温控器的设计要求	101
6.1.2 数字温控器设计任务分析	101
6.1.3 数字温控器硬件设计	102
6.1.4 数字温控器软件设计	107
6.2 光栅位移显示仪的设计	111
6.2.1 光栅位移显示仪设计要求	111
6.2.2 光栅位移检测原理	111
6.2.3 光栅位移显示仪总体方案设计	111
6.2.4 光栅位移显示仪硬件设计	112
6.2.5 光栅位移显示仪软件设计	115
参考文献	118

第 1 章 概 论

本章概述测控仪器概念及其地位与作用,介绍了测控仪器的基本构成、功能特点、发展现状和趋势,并简要介绍了学习本书的目的和要求。

1.1 概 述

1.1.1 测控仪器的概念

仪器是人们认识世界、改造世界的手段和工具,是用来对客观物质实体及其本质属性进行观察、监视、测量、记录、传输、转换、显示、分析、处理以及控制的各种器具、设备与系统的总称,是信息技术的源头。

测控是测量和控制的简称。测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程,也是通过实验(试验)对客观事物取得定量意义(或叫信息)的过程。在这个过程中常借助专门的设备,把被测对象直接或间接地与另一同类已知单位进行比较,用已知量作为计量单位,用数值和单位共同表示被测对象的量值;控制是根据科学实验或生产生活的需要,让被控对象按预定的要求运行的过程。测控仪器则是实现上述功能的具体系统或装置,从功能上说,测控仪器包括了测量仪器、控制仪器、计算仪器、分析仪器、显示仪器等。

目前,测控仪器广泛应用于石油、化工、冶金、电子、电力、机械、轻纺、航空、航天、航海、兵器以及天文、气象、地质勘探、医疗等领域,遍及国民经济和生产、生活各领域。在自动化生产程度较高的工业企业中,测控仪器已成为检测、计量、记录、计算和控制生产过程中不可缺少的基本设备。如机械制造和仪器制造工业中产品的静、动态性能测试;加工过程的控制与监测,故障的诊断等。在电力、化工、石油工业中,为保证生产过程能正常、高效运行,要对工艺参数,如压力、流量、温度、尺寸等进行检测和控制;在航空、航天产品中对质量要求更为严格,如对发动机进行转速、转矩、振动、噪声、动力特性等进行测量;在农业、医疗卫生、金融、环境保护等各个领域,测控仪器也得到日益广泛的应用与发展。

测控仪器的功能在于借助物理、化学或生物等方法,获取被检测对象的状态或者状态的变化信息,并通过信息的变换及其相关处理,使其成为人们易于理解,能够识别和便于表达的量

化形式,进而可以显示、观测、存档或直接进入自动控制系统,实现系统的决策控制。可见,测控仪器能延伸、扩展、补充或代替人的感觉器官以及相关的决策功能,其主要研究内容包括了信息的获取、处理以及信息的利用等方面。

仪器新产品不断产生,其种类十分繁多。因此要对仪器进行细致的分类是相当复杂的,目前尚无统一的分类方法。从仪器在系统中所起的作用角度可将仪器分为测量仪器,计算仪器和控制仪器,把测量仪器与控制仪器及装置统称为测控仪器。

测量仪器:将被测量取出并与测量标准进行比较,准确地表示被测量的真实数值,其主要测量对象是各种物理量。

测量仪器可分为:

(1)几何量测量仪器 这类仪器包括各种尺寸检测仪器,如长度、角度、形貌、相互位置、位移、距离测量仪器等,如各种尺寸的量具、工具显微镜、测量仪以及表面粗糙度和工件几何形状测量仪器、光电光波比较仪等。

(2)热工量测量仪器 这类仪器包括温度、湿度、压力、流量测量仪器,如各种温度计、气压计、真空计、多波长测温仪器、水、气、油的流量计等。

(3)机械量测量仪器 如各种测力仪、硬度仪、压力计、加速度与速度测量仪、力矩测量仪、振动测量仪以及材料试验机等。

(4)时间频率测量仪器 如各种计时仪器与钟表、铯原子钟、铂原子时间频率基准器、时间频率测量仪等。

(5)电磁测量仪器 用于测量各种电量及磁量的仪器,如各种交、直流电流表、电压表、功率表、电阻测量仪、电容测量仪、静电仪、磁性材料测量仪和磁参量测试仪器等。

(6)无线电参数测量仪器 如示波器、信号发生器、相位测量仪、频率发生器、动态信号分析仪等。

(7)光学与声学参数测量仪器 如光度计、色度计、光谱辐射计、激光参数测量仪、光学传递函数测量仪等。

(8)电离辐射测量仪器 如各种放射性、核素计量、 α 射线、 γ 射线及中子测量仪器等。

以上8大类测量仪器在基本技术上是融会贯通的,其研究、设计和使用存在许多共性的东西,这就是计量测试仪器的设计理论和测试理论。

测量仪器还经常和观察仪器(显微镜、夜视仪、工业电视……)、显示仪器(记录仪、打印机等)一起配套使用。

计算仪器是以信息数据处理和运算为主的仪器,如各种专用计算器、通用计算机等。

控制仪器与控制装置是针对控制对象按照生产要求设计制作的控制装置和自动调整与校正装置。在现代测控仪器中,测量与控制已经密不可分。如在纳米测量技术中,精密工作台的纳米级精密定位则必须采用带有检测装置的闭环控制系统,否则很难达到预定的高精度、高效率和高可靠性。

因此,测控仪器是利用测量与控制的理论,采用机、电、光各种测量原理及控制系统与计算机相结合的一种范围广泛的测量、控制系统。

1.1.2 测控仪器和系统的地位与作用

仪器是一个国家高科技发展水平的重要标志之一,是信息时代的源头技术,发展至今已经

成为一门独立的学科,具有多学科交叉融合的特点。

测控仪器是仪器仪表学科的重要组成部分。它研究的对象是各种物理量的测量及其相关控制所应用的仪器。这些物理量主要包括长度、力学、热工、电磁、光学、无线电、时间、频率和电离辐射等。当前,测控仪器及其测控技术已经渗透到人类的科学研究、工程实践和日常生活的方方面面,对促进生产发展和社会进步发挥着重要作用。例如,生产过程中产品质量的控制和生产过程的自动化、节能等,这些都要测量生产过程中的有关参数并进行反馈控制,以保证生产过程中的这些参数随时处于最佳最优状态,确保生产质量和安全。

测量是揭示客观世界规律的手段,是人类认识客观世界最基本的方法。广义地说,任何(实验科学)的结论,都是对实验数据统计推断的结果,而数据的取得,只有靠测量来完成。人们通过测量可以建立对客观事物属性量度的认识,并可通过对测量结果数据进行必要的归纳和演绎,从中找到客观事物的演变规律,提出科学的理论。因此,有名言道:“测量是科学进步的阶梯”,“没有测量,就没有科学”。测量技术是人类科学技术和改造客观世界能力的重要标志之一。

在生产的进行过程中,人们可以利用测试技术来及时把握产品加工过程中和最终的质量以及表征生产过程品质的各种参数。如果再利用这些参数来实现对生产过程的调节和控制,以提高产品的质量和经济效益,降低能耗和实现自动化,这就由测试技术发展成了测控技术。

在人类社会已进入信息时代的今天,测控仪器作为获取、测量、传递、变换、处理、监视、显示以及控制信息的重要工具,无疑已经并越来越得到广泛的重视,它已成为现代科学和生产技术发展必不可少的基本设备。科学仪器是从事科学研究的物质手段,其研究进展代表着科技发展的前沿,是一个民族、一个国家创新能力的重要体现。在诺贝尔物理和化学奖中,大约有四分之一的获奖者是因为在测试方法和仪器创新中的贡献而获奖。钱学森院士指出“新技术革命的关键技术是信息技术。信息技术由测量技术、计算机技术、通信技术三部分组成。测量技术则是关键和基础”。

同时,测控仪器也是现代生产及改造传统工业,提高产品竞争能力的必备手段。因此在一定意义上讲,测控仪器技术和生产的发展标志着一个国家的技术与经济水平,测控仪器对国民经济发展有巨大的拉动作用。近几十年,世界上工业发达的国家十分重视仪器仪表的发展,早已很明智地优先发展仪器工业,其速度远远超过国民经济其他部门的发展。美国商务部国家标准局 20 世纪 90 年代评估仪器仪表工业对美国国民经济总产值的影响时发布的调查报告称,美国仪器仪表产业占社会总产值的 4%,而它拉动的相关经济的产值达到社会总产值的 66%,而且还明显有继续上升的趋势。仪器仪表行业对国民经济发展的巨大促进作用由此可见一斑。

1.2 测控仪器的基本构成

1.2.1 测控仪器的基本构成

一个典型的测控仪器主要由实验装置、测量部件、数据处理、分析和输出设备以及针对具体对象的控制设备等几部分构成。

实验装置是一种能使被测对象处于预期待测状态的专门设备,它的作用在于充分暴露被测对象的内在特性以便进行有效的测量。

测量部件由传感器、信号测量电路或测量仪器(部件)组成。传感器是测量系统中的第一个环节,用于从被测对象获取信息或能量,并将其转换为适合测量的变量或信号。被测对象在一定的激励下,它的各种物理性能的变化经传感器完成由非电量到电量的转换,由此可见,对于不同的被测物理量要采用不同的传感器,由此所依据的构成传感器作用原理的物理效应也是千差万别的。对于一个测量任务来说,第一步便是要能有效地从被测对象来取得能用于测量的信息,因此传感器在整个测量系统中的作用是十分重要的。

数据处理(也称为信号调理)部分是对从传感器所输出的信号做进一步的加工和处理,包括对信号的转换、放大、滤波、存储、重放和一些专门的信号处理及标定等,完成对被测信号的测量。这是因为从传感器输出的信号往往除了有用信号外还夹杂各种有害的干扰和噪声,因此在进一步处理之前必须先将干扰和噪声对有用信号的影响减小到能正常测量有用信号的范围内。另外,传感器的输出信号往往具有光、机、电等多种形式,而对信号的后续处理往往都采取电的方式和手段,因而有时必须对传感器的输出信号进行进一步的转换,转换为适合电路处理的电信号,其中也包括信号的放大。通过信号调理部分的处理,最终希望获得能便于传输、显示和记录以及可进行进一步后续处理的信号。

输出设备部分是将经信号调理部分处理过的信号用便于人们观察和分析的对象和手段进行记录或显示,测量结果或用指示仪表指示出来,或用记录仪记录,还可传送给数据处理器作进一步处理运算或求谱分析,使之变成后续设备所需要的输入信号。一方面被显示、打印、记录、存储、绘图,另一方面根据需要提供给控制仪器,作为控制的依据。

控制设备主要是根据数据处理单元按某种控制规律给出的控制信号对执行元件进行控制,从而使被控对象按照预定的指标或者规律运行,保证系统的正常工作和工业生产的正常进行。

以上功能都是通过传感器和不同的测量仪器、装置和控制设备来实现的,它们构成了一个测控仪器系统的核心部分。但是,被测(控)对象和观察者也是测控仪器系统的组成部分,它们同传感器、信号调理部分、控制器以及数据显示和记录部分一起构成了一个完整的测控系统。这是因为在用传感器从被测对象获取信号时,被测对象通过不同的连接或耦合方式也对传感器产生了影响和作用。同样地,观察者通过自身的行为和方式也直接或间接地影响着系统的传递特性。因此在评估一个测控系统的性能时也必须考虑这两个因素的影响。

随着生产实践和科学研究发展的需要,大量精度高、功能强、使用方便灵活、完全突破传统概念、全新一代的仪器不断涌现,已经得到了仪器界的广泛重视。这种仪器内部以微处理器为核心、具有信号采集、数据处理、显示记录、传输和测试过程自动控制等一系列功能,甚至还能辅助专家推断分析和进行决策,有自动补偿、自动校准、自动检测等较高的自动化水平和一定的分析判断能力,称之为智能仪器。本书重点针对这类仪器介绍测控仪器的设计。

1.2.2 测控仪器的功能特点

人类社会进入了信息时代,作为信息获取、测量、控制、监视与显示的测控仪器,无疑是一种极其重要的信息测量工具,是保证连续化生产设备安全、经济及自动化运行,为运行人员提供操作依据,为自动调节和控制过程参数乃至整个生产过程提供精确可靠信息的重要装备。

近20年来,世界上工业发达国家都十分重视仪器的发展,我国也已将信息产业作为优先发展的产业。因此,作为信息产业重要组成部分的测控仪器必将得到加速发展。近年来由于半导体技术和微型计算机的飞速发展,微计算机与测控仪器相结合,使测控仪器精度提高、功能扩展、可靠性增加,这是本门学科发展的一个显著特点,测控仪器的功能特点主要有以下几个方面:

(1)由于现代电子技术的应用,测控仪器能进行连续测量、记录和实时控制,并能根据测量的结果自行判断、运算与分析。反应速度快,不但适用于传统的静态测量,亦适应飞速发展的动态测量的要求。

(2)微处理器的引入使现代测控仪器的功能较传统仪器有了极大的提高。仪器利用微处理器的数据处理能力,可以将几个不同参数的测量结果综合起来,从而间接地获得需要知道的测量参数。许多原来用硬件电路难以解决或根本无法解决的问题,由于利用软件而得到较好的解决。

(3)有较强的数据处理能力,即运算和判断的能力。如求平均值、方差、百分误差和统计分析等,测控仪器可以通过数据处理进行自动校正、非线性补偿、数字滤波等处理来修正、克服由各种传感器、变换器、放大器等引进的误差和干扰,从而能大大提高仪器的精度和其他性能指标。

(4)具有很高的自动化水平和自动测量的能力。如自动选择量程,自动调节零点、测试点和触发电平,自动校准、自动故障诊断和自动扫描键盘等,实现了测量过程的自动化,提高了测量的精确度、灵敏度和仪器的可靠性。

(5)具有可编程操作能力和人-机对话的能力。现代测控仪器面板通常采用键盘操作和字符显示,通常都具备 GPIB 接口,配有 IEC-625 和 RS-232 等通用接口总线,能很方便地通过接口组成多功能自动测试系统,进行多点扫描检测。

(6)由于采用了微处理器,越来越多的硬件被软件所代替,重量、体积和功耗减小,结构简化,成本降低,仪器的可靠性和可维修性得以提高。

(7)具有存贮大量测量信息、标准量值和各种历史数据以及备用参数的功能。

(8)各种控制算法在测控仪器中得到广泛应用,仪器性能得到很好完善和提高。

1.3 测控仪器的发展状况与前景

1.3.1 测控仪器的发展状况

测控仪器发展至今,大体经历了4代:模拟仪器、分立元件仪器、数字化仪器、智能仪器和虚拟仪器。

第一代模拟指针式仪器是以电磁感应定律为基础的,起源于20世纪40年代,主要是针对某种测试目的而专门设计制造的专用仪器。

第二代分立元件仪器。当20世纪50年代出现电子管,60年代出现晶体管时便产生了以电子管或晶体管为基础的第二代测控仪器,即分立元件仪器,如指针式万用表,晶体管电压表和一些通用测试仪器,它们功能简单,精度低,响应速度慢。

第三代数字化仪器。20世纪70年代集成电路出现,随之诞生了以集成电路芯片为基础的第三代测控仪器——数字化仪器,其基本结构离不开A/D转换器,这类仪器将模拟信号的测量转换为数字信号的测量,并以数字方式输出最终结果。这类仪器目前相当普及,如数字电压表、数字频率计等。它们精度高,速度快,读数清晰直观,易于和计算机结合,便于远距离传输。

第四代智能仪器。随着微电子技术和微处理器的普及,20世纪80年代出现了在数字化的基础上,以微处理器为核心的第四代测控仪器。这类仪器内置微处理器,既能进行自动测试、自动控制,又具有一定的数据存储、运算、逻辑判断能力,能根据被测参数的变化自动选择量程,自动校正,自动补偿,自动诊断等,具备了一定的智能,习惯称为智能仪器。

目前微电子技术和计算机技术飞速发展,在智能仪器领域,随着测控技术和计算机技术的融合出现了一种全新的仪器结构概念——虚拟仪器,使数据采集和工业控制自动化技术发生了重大变革。

通过对国内外测控仪器发展的历史和现状的分析,可以看出,现代测控仪器的发展特点和趋势有以下几个方面:

1) 高精度、高可靠性

随着现代科技的迅猛发展和测控领域的不断扩大,对测控仪器的精度也提出了更高的要求。例如在微观方面,国际上已经提出了机械工程的纳米规划。而作为其检测手段的几何量测量仪器显然必须达到纳米级的精度才能满足测量要求,从而产生了如光学外差式干涉仪器、隧道显微镜、原子力显微镜、微纳米检测仪器等许多高精度仪器,尺度深入到纳米和微观领域。与此同时,对仪器的可靠性要求也日益增高,尤其是航空、航天用的测控仪器,其可靠性尤为重要。

2) 通用化、标准化与高效率

产品生产的快节奏必然要求测控仪器具有高效率,因此非接触测量、在线检测、自适应控制、模糊控制、操作与控制的自动化、多点检测、机、光、电一体化是必然的趋势。仪器产品结构正在加速电子化:转换技术广泛采用光电技术,分析处理及控制大量采用微机及微处理器,向机电一体化方向发展。

为便于获取及传输信息,实现系统更改与升级,现代测控仪器的通用化、标准化设计也是一个十分重要的发展趋势。通过采用通用化、标准化设计,现代测控仪器将更易于实现大范围联网使用,将众多的测控仪器连接成大型智能测控系统(网络),提高测控仪器(系统)的效率。

3) 应用新原理、新技术

随着科学技术的发展,一方面需要测量的极端参数(如超高电压、超高温、超低温、超大尺寸、原子空间等)不断增加,另一方面需要测量的信息种类不断延伸,被测量从数值型转向用自然语言描述的符号测量(如颜色、气味等)的需求也在增加。生命科学等复杂体系研究的瓶颈是缺乏灵敏、有效和快速的现场或实时的研究手段,解决这一问题的突破口在于发展新的检测原理和研究新的检测仪器。仿生仪器就是仿照生物的功能、特点来开发的未来的新型仪器。例如研究狗鼻的结构来研究探索味觉测量仪,研究人体功能制成相应的医疗仪器等。近年来,新型信息处理技术,如数据融合技术、模糊信息处理技术和神经网络技术等在现代测控系统中得到了有效和广泛的应用,随着新原理的研究和新技术的发展,现代测控仪器也将得到突破性的发展。

4) 多维化、多功能化

随着测量空间维数的拓展,多维的测量仪器成为测控仪器发展的又一个方向。测控仪器的显示和控制系统的构成正在加速数字化并向三维形象化方向发展。三坐标测量机就是一个典型的例子。由于多维空间的多样性以及测量内容的多变性,很多新型的多维测量仪器,如原子空间的三维测量、军事侦察的空间搜索测量与空间扫描对准等方面的多维测量仪器都有待人们进行更深入地系统研究。在许多场合,希望通过测量反映被测量全貌,除三维测量外还需要进行多参数的同时测量,如同时测出某点温度、湿度和应变,甚至温度、湿度和应变的三维空间分布等。仪器整机所具备的能力正实现多参数测量和多功能化,智能仪器的测量过程、软件控制及数据处理功能使一机多用或仪器的多功能化易于实现,并且成为这类仪器的又一特点。这种多参数融合、多功能集成的测量仪器也是测控仪器发展的重要方向。

5) 高智能化

20世纪80年代以来,对仪器变革最有影响的技术之一是微电子技术,特别是微处理器。新一代测控仪器在信息拾取与转换、信息测量、判断和处理及控制方面大量采用微处理器和微计算机,它使产品功能延伸、精度提高、体积缩小、性能稳定,极大地增强了数据处理能力和在线检测、实时控制生产过程的能力。显示出操作向自动化方向发展,并且具有多种人工智能,从学习机向人工智能机发展。

智能仪器是计算机技术向测控仪器移植的产物,是含有微计算机或微处理器的测控仪器,由于它拥有对数据的存储、运算、逻辑判断及自动化操作等功能,有着智能的作用(表现为人类智能的延伸或加强等),因而被称之为智能仪器。微机应用已成为测控仪器先进的一项重要标志,这一观点已逐渐被国内外学术界所接受。近年来,智能仪器已开始从较为成熟的数据处理向知识处理方向发展。它体现为模糊判断、容错技术、传感器融合、机件寿命预测、故障诊断等,使智能仪器的功能向更高的层次发展。

6) 网络化

早期的智能仪器是把微处理器嵌入仪器内部,通过内部接口和总线将测试部件与计算机连接;此外,又通过 GPIB 接口总线将测试部件与外部计算机或其他的智能仪器相连接组成自动测试系统,对研究对象的整个测试过程包括数据采集、数据分析处理以及测试结果的显示输出乃至控制等都是在计算机统一控制下自动完成。

随着仪器的自动化智能化水平不断提高,多台仪器联网已经开始推广应用,虚拟仪器、三维多媒体等新技术开始实用化。网络技术的发展应用以及压缩技术的普及与发展,为测试技术带来了前所未有的发展空间和机遇。因此,将现代测控仪器与网络相连接,通过 Internet,仪器用户之间可异地交换信息和浏览,厂商能直接与异地用户交流,及时完成如仪器故障诊断、指导用户维修或交换新仪器改进的数据、软件升级等工作。仪器操作过程更加简化,功能更换和扩张更加方便,不仅能实现对测控仪器的远程操作与控制,而且可以把测试结果通过网络显示,以实现测试系统资源和数据的共享。网络化测控仪器(网络仪器)是今后测试仪器发展的重要趋势。

1.3.2 虚拟仪器

1) 概念

随着微电子技术、计算机软、硬件技术和网络技术的迅速发展及其在现代仪器中的广泛应

用,新的测试领域和需求不断产生,新的测试理论、测试方法、测试技术以及仪器结构也不断涌现,这在许多方面已经并将继续改变传统仪器的概念。现代测控仪器的功能及作用也发生了质的变化。在这种背景下,美国国家仪器公司(NI)于20世纪80年代最早提出了虚拟仪器(visual instrumentation)的概念,通过控制程序将通用计算机与功能化硬件结合起来,使计算机不但能像传统测控仪器那样完成过程控制、数据运算和信息处理工作,而且可以用图形软件去代替传统仪器的部分硬件功能。用户可通过友好的界面来操作这台计算机,产生激励控制信号或实现所需要的各种测试功能,就如同在操作一台自己定义、自己设计的传统电子仪器一样。

所谓虚拟仪器,即以计算机为核心,充分利用计算机的软件和硬件资源,将各种仪器功能卡应用于微型计算机,使之成为计算机及仪器兼容的微型计算机仪器。这样,只要更换不同功能的仪器卡和测量控制软件,就可以在同一台电脑上实现不同的仪器功能,也称为“个人仪器”或者“PC仪器”。

在虚拟仪器中,许多复杂的仪器功能及仪器操作“面板”都是用软件实现的,从被测量的信号采集、分析、判断、显示、数据存储等,都由软件控制完成。显然虚拟仪器突破了传统测控仪器以硬件为主体的模式,强调用软件来开发仪器功能。使用虚拟面板操作具有测试软件的计算机进行测量时,用户可通过图形控制界面以鼠标操作方式来调控虚拟仪器,犹如操作一台虚拟的电子仪器,虚拟仪器也以此而得名。

一台以PC机为基础的仪器,不同功能的仪器仅体现于测量模块及其软件的不同,由于不同的软件可以作成不同功能的测量仪器,因而其控制面板已不可能像传统仪器那样仅采用一种固定的硬件模式,而只能用软面板去适应不同仪器的要求。软面板是仪器的控制及运算、处理结果的显示器。这样,仪器不再以传统的独立形态出现了,这种灵活多样的虚拟仪器技术可以使用户突破传统仪器由厂家制造而用户自己无法改变仪器既定功能的约束。用户可以根据自己的需要去设计或组合自己的专用仪器(或系统),以得到从传统仪器中无法比拟的效果,仪器效益得到极大的提高。一台计算机只要配备相应的测量模板或扩展机箱,就可立即成为存贮示波器、频谱分析仪、逻辑分析仪、数字多用表、通用计数器、函数发生器或 GPIB 仪器控制器等,因此虚拟仪器的开发是当代仪器技术的又一重大进步。

从内部特征看,测控仪器中较为复杂的微处理器及其固件均可共享计算机内部的软硬件资源,并借助计算机高效的数据分析、处理能力,实现测控仪器的全部功能。

与传统测控仪器一样,虚拟仪器同样划分为数据采集、数据分析处理、数据输出三大功能模块。数据采集模块主要由信号输入处理单元与模数转换单元组成,其主要作用是对输入模拟信号进行调理后,转换成数字信号,以便于计算机分析处理;数据分析处理模块主要由计算机中的微处理器为核心构成,用来完成测量数据的运算、分析与处理;数据输出模块主要由显示器等各种输出设备、数模转换器和信号驱动器等构成,其作用是将输出数据以数据、曲线、图形甚至多维测试结果模型来显示、打印、存储或再转换成模拟信号输出。虚拟仪器以透明方式把上述计算机资源和仪器硬件的测控能力组合,构成灵活方便,适应不同需要的虚拟仪器。

与传统测控仪器被设计成能独立的单机结构形式不同,虚拟仪器设计通常采用将仪器功能划分为一些通用模块的方法,通过在标准计算机平台上将具有一种或多种功能的若干个通用模块组建起来,就能构造几乎任意功能的仪器。

虚拟仪器是把具有测量功能的模块或仪器卡直接与个人计算机的系统总线联接而成的,

按照测控功能硬件的不同,可分为基于计算机插卡式 DAQ、GPIB、VXI、PXI、串口、现场总线等六种标准体系结构。联接时既可以插在计算机内的接口槽上,也可插在计算机外部专用的仪器板卡架上或专用机箱内。虚拟仪器的各种测量功能由磁盘中的常驻测量程序来实现。

联网是虚拟仪器通信接口中重要的选件,经过它可以使本仪器与其他计算机系统或仪器相联,进行广泛的信息交换。所以,就总体而言未来测控仪器的硬件平台可能主要由开关阵列、数据采集系统、激励器、计算机及软面板所组成。随着硬件技术的发展,这几部分将日趋完善,将逐渐模块化、标准化,并在形式上趋于一致。同时所使用的软件却会日新月异,使仪器的功能更加多样化,水平更高,人机界面更加友好及完善。软件将逐渐成为仪器的灵魂,“软件就是仪器”的虚拟仪器的理念将逐渐为人们所接受。

为了节省仪器的开发时间及提高效率,不少公司为本公司的虚拟仪器提供了图形编程语言,如 HP 的 VEE,NI 的 Labview/Labwindows 以及基于 Visual Basic 的 component works 等。这些软件开发工具可以把复杂、烦琐、费时的编程简化为直观、易学的图形编程方式,并提供自动纠错及方便的调试功能。同时,专门针对一些通用仪器(如 VXI 仪器、GPIB 仪器等)及其模块,预先开发出相应的图形驱动软件,并将它们组成虚拟仪器驱动程序库供用户在使用时直接调用。与传统的编程语言相比,使用它们可以大大缩短程序开发的时间。因此,虚拟仪器在结构、设计、使用等方面都可以尽量使用软件工具,为测控技术开辟了一个崭新的局面。

2) 特点

基于上述情况,可以看出,虚拟仪器具有下列特点:

(1) 增强和延伸了传统测控仪器的功能

在虚拟仪器中,计算机处于核心地位,计算机和测控系统紧密地结合成为一个有机整体。虚拟仪器将信号分析、显示、存储和打印交由计算机来处理,突破了传统测控仪器在数据处理、存储、分析和显示等方面的限制;虚拟仪器不仅具有良好的人机界面,而且具有生动的人机交互功能。操作人员可以随时获得相关的操作帮助,系统提示信息等,大大增强和延伸了传统测控仪器的功能。

(2) 性价比高

只需将各种测量功能卡插入个人计算机机箱内或外接扩充箱中即可构成虚拟仪器。由于信号的传送和数据处理几乎都是靠数字信号或软件实现,大大降低了环境干扰和系统误差的影响,减少硬件环节,降低系统开发维护成本。同时,由于 PC 的应用已十分普遍,其价格不断下降,和具有 GPIB 接口总线组成的同等测试功能的智能仪器相比,虚拟仪器价格可降低 $1/3 \sim 1/10$ 。

(3) 使用灵活,应用范围广泛

在虚拟仪器中,标准的仪器功能写入操作软件中,用户根据清单进行选择,无需编制程序就能完成各种测试任务,操作十分方便。如可以用 CRT 显示测量结果及绘图,十分方便地利用 PC 已有的磁盘、打印机及绘图仪等获取硬拷贝。更重要的是 PC 的数据处理功能强,内存容量远大于内藏式微机,因而 PC 可以用于复杂的、高性能的信息处理。此外,还可以利用 PC 本身已有的各种软件。当仪器需要升级或系统功能需要扩充时,不必购买新的仪器,只需增加或更换部分软件和硬件功能模块,大大扩展了虚拟仪器的应用范围。

(4) 模块化设计,互换性强,制造方便

虚拟仪器硬件和软件都制定了开放的工业标准,可以灵活、方便、经济地组建各种虚拟仪