

智能控制系列丛书

电子测量

刘国林 殷贯西 等编著

ELECTRONIC MEASUREMENT

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



智能控制系列丛书

电 子 测 量

刘国林 殷贯西 等编著



机 械 工 业 出 版 社

本书系统阐述了电子测量的基本原理、方法,电子测量仪器的原理及其应用;介绍测量误差理论和数据处理的基础知识。全书共分13章。第1章电子测量概论,第2章测量误差理论与数据处理,第3章示波测试技术,第4章信号源,第5章电基本参数测量,第6章频域测量,第7章数据域测试,第8章电磁兼容测试,第9章无线通信测试,第10章蓝牙测试,第11章光通信测试,第12章自动测试系统,第13章测量仪器的维护。

全书深入浅出、图文并茂、内容丰富。既注重基本原理和必要的理论分析,又力求反映最新的科技成果,同时也突出工程上的实用性。本书可供从事通信和电子类工程技术人员、计量测试人员和科研人员使用,也可作为高等学校电子测量的基础教材,亦可作为电子测量培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量/刘国林,殷贯西等编著. —北京:机械工业出版社,2003.1
(智能控制系列丛书)
ISBN 7-111-11109-5

I. 电… II. ①刘…②殷… III. 电子测量 IV. TM93

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第084382号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:王琼先 孙业 版式设计:霍永明 责任校对:刘志文
封面设计:饶薇 责任印制:路琳
北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行
2003年1月第1版第1次印刷
787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·31印张·766千字
0001—5000册
定价:46.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527
封面无防伪标均为盗版

前言

没有测量就没有鉴别，科学技术就不能前进。要测量就必须有正确的测量方法和先进的仪器仪表。随着信息技术的发展，测量仪器和计算机之间的界线逐步在消失，电子测量进入了新世代。为使广大科技工作者掌握先进的测量仪器仪表和电子测量的基础知识，我们撰写了这本《电子测量》。本书对测量原理的讲解力求深入浅出、突出基本概念、通俗易懂、便于自学；对测量方法的讨论侧重归纳、比较、总结，突出简明实用；对测量仪器仪表重点讲清工作原理、组成框图、工作特性；对仪器电路侧重介绍一些与测量原理和正确使用密切相关的部分，不过多涉及单元内部具体电路，突出操作应用；对误差分析在保证内容科学性和严密性的前提下，避免繁琐的数学推导，而把重点放在对常用公式的物理解释和具体应用上。

在编写和出版本书过程中，美国安捷伦科技有限公司（中国）电子仪器与系统事业部饶骞经理提供了很有参考价值的资料，博士生导师费业泰教授修改了第2章。在此一并致以衷心的感谢。

本书引用了《国外电子测量技术》等期刊和同行们的部分科研成果，除在参考文献列出外，在此仅向这些书刊资料的作者和科研成果的同行们顺致深深的谢意！

参加本书编写工作的还有钟伯成、李翼（第8章）、吴沛然、孙耀晖（第12章5、6节）、安福全、汪瑞玲、刘祥宇、刘天棋、郭林、程猛、赖淑华、王正东、刘拯、金辉、吴建华、刘伯辉、刘伯川、葛建中等。

由于作者才疏学浅，错漏之处，恳请同行和读者提出宝贵意见，以便我们在网站 IB-Window.com 上不断发表修改和扩充的内容。

联系地址：合肥市阜南西路238号404室 邮编：230061 刘国林收

电话：(0551) 5100340, 13505602118

电子信箱：liu@mail.hf.ah.cn 网址：IB-Window.com

作者

目 录

前言	
第1章 绪论	1
1.1 电子测量的基础知识	1
1.1.1 电子测量	1
1.1.2 电子测量仪器	2
1.1.3 电子测量的方法	3
1.2 电子测量系统	4
1.2.1 电子测量系统的组成	5
1.2.2 测量信号处理	6
1.3 测量技术与仪器的发展趋势	8
第2章 测量误差理论与数据处理	9
2.1 测量误差的基本概念	9
2.1.1 测量标准	9
2.1.2 测量准确度	10
2.1.3 测量误差的基本概念	11
2.2 随机误差分析	25
2.2.1 测量值的数学期望和标准差	26
2.2.2 随机误差的正态分布	27
2.2.3 有限次测量下测量结果的表达	31
2.3 系统误差分析	32
2.3.1 系统误差的特性	32
2.3.2 系统误差的判断	32
2.3.3 消除系统误差产生的根源	33
2.3.4 削弱系统误差的典型测量技术	34
2.3.5 消除或削弱系统误差的其他方法	37
2.4 测量误差的合成与分配	39
2.4.1 测量误差的合成	39
2.4.2 测量误差的分配	44
2.4.3 最佳测量方案的选择	47
2.5 测量数据的处理	47
2.5.1 有效数字及数字的舍入规则	47
2.5.2 等精度测量结果的处理	49
2.5.3 最小二乘原理	51
2.5.4 曲线的拟合	52
第3章 示波测试	56
3.1 示波测试的基本原理	56
3.1.1 阴极射线示波管	56
3.1.2 图像显示的基本原理	60
3.2 模拟示波技术	65
3.2.1 示波器的分类	65
3.2.2 模拟示波器的组成	65
3.2.3 模拟示波器的垂直通道	66
3.2.4 模拟示波器的水平通道	68
3.3 示波器的多波形显示	73
3.3.1 多线显示和多踪显示	73
3.3.2 双扫描示波显示	75
3.4 数字存储示波技术	76
3.4.1 数字存储示波技术基础	76
3.4.2 信号采样	76
3.4.3 波形显示技术	78
3.4.4 技术性能指标	79
3.4.5 基本功能	81
3.4.6 实际的模拟/数字示波器	82
3.5 示波器的应用	83
3.5.1 示波器的基本测量方法	83
3.5.2 用数字存储示波器测量和处理暂态信号	87
3.5.3 示波器的正确使用	90
第4章 测量用信号器	95
4.1 信号发生器概述	95
4.1.1 信号发生器的基本概念	95
4.1.2 正弦信号发生器的性能指标	97
4.2 频率合成	99
4.2.1 基本锁相环	99
4.2.2 频率合成技术	102
4.3 信号发生器	105
4.3.1 任意函数发生器	105
4.3.2 任意多路信号的产生	107
第5章 电基本参数测量	112
5.1 频率测量	112
5.1.1 频率(周期)的数字测量	112

5.1.2 频率的模拟测量	119	7.4 逻辑分析仪的应用	231
5.1.3 时间间隔的数字测量	121	7.4.1 数字系统测试	231
5.2 相位差的数字测量	123	7.4.2 数字系统的故障诊断	235
5.2.1 相位-电压转换法	123	7.4.3 眼图分析	237
5.2.2 相位-时间转换法	124	第8章 电磁兼容测试	242
5.3 电压的测量	125	8.1 电磁兼容测试概述	242
5.3.1 直流电压的测量	125	8.1.1 电磁兼容基本概念	242
5.3.2 交流电压的测量	127	8.1.2 电磁兼容标准	243
5.3.3 分贝的测量	131	8.2 信息技术设备的无线电骚扰限值和 测量方法	244
5.3.4 数字式万用表	133	8.2.1 无线电骚扰限值	244
第6章 频域测量	140	8.2.2 辐射骚扰限值	245
6.1 用傅立叶变换分析信号	140	8.2.3 传导骚扰限值	245
6.1.1 用傅立叶级数描述信号	140	8.2.4 受测设备的工作条件	246
6.1.2 快速傅立叶变换	141	8.2.5 辐射骚扰测量方法	259
6.2 频谱分析仪	142	8.2.6 传导骚扰测量方法	262
6.2.1 概述	142	8.2.7 替换测试场地的衰减测量 方法	267
6.2.2 频谱分析仪的组成	142	8.2.8 共模测量方法	271
6.2.3 调谐方程	144	8.2.9 峰值检波测量逻辑图	274
6.2.4 分辨率	146	8.3 信息技术设备的抗扰限值和测量 方法	274
6.2.5 扫描时间	148	8.3.1 抗扰度测试要求	275
6.2.6 显示技术	150	8.3.2 受测设备的状态	279
6.2.7 幅度、频率和相位噪声测量	153	8.3.3 受测设备的性能准则	280
6.2.8 频谱分析仪动态范围	158	8.4 电磁兼容预相容测量	281
6.2.9 频率扩展	164	8.4.1 干扰测试	281
6.2.10 频谱分析仪的正确使用	173	8.4.2 问题的解决和故障查寻	292
6.3 网络分析仪	175	8.4.3 测量部件	294
6.3.1 网络分析基本概念	175	第9章 无线通信测试	298
6.3.2 网络分析仪	185	9.1 甚高频/超高频通信系统测试	298
6.3.3 网络分析误差修正	193	9.1.1 发信机测试	298
第7章 数据域测试	205	9.1.2 接收机测试	303
7.1 数据域分析	205	9.2 无线寻呼通信系统测试	308
7.2 数字信号发生器	206	9.2.1 发射机测试	308
7.2.1 数字信号发生器的结构	206	9.2.2 接收机测试	312
7.2.2 数据的产生	207	9.3 公众数字移动通信系统 (GSM) 测试	320
7.2.3 数据流的特征	208	9.3.1 GSM 基站测试	320
7.2.4 数字信号发生器的主要技术 指标	211	9.3.2 GSM 移动台测试	327
7.3 逻辑分析仪	214	9.3.3 GSM 系统测试仪器	331
7.3.1 逻辑分析仪的基本结构	215		
7.3.2 数据捕获	216		
7.3.3 数据显示	226		

9.4 CDMA 移动通信系统测试	333	11.3.8 光损耗测量	417
9.4.1 CDMA 的工作原理	334	第 12 章 自动测试系统	425
9.4.2 几种典型的 CDMA 移动通信系统	334	12.1 自动测试系统概述	425
9.4.3 CDMA 系统基站测试	338	12.1.1 自动测试系统的基本概念	425
9.4.4 CDMA 移动台测试	345	12.1.2 自动测试系统的发展趋势	425
9.5 主要无线通信系统的测试标准	351	12.2 通用接口总线	427
第 10 章 蓝牙测试	353	12.2.1 IEEE-488.1	428
10.1 蓝牙测量概述	353	12.2.2 IEEE-488.2	432
10.2 蓝牙收发器和基带规范测试	353	12.2.3 可编程仪器标准命令	434
10.2.1 一般描述	353	12.2.4 GPIB 的软件支持	435
10.2.2 测试环境	355	12.2.5 GPIB 的应用	435
10.2.3 LMP 消息概览	360	12.3 VXI 总线	437
10.3 蓝牙控制接口测试	361	12.3.1 VXI 总线的构成、环境和电气性能	437
10.3.1 一般描述	362	12.3.2 VXI 总线的通信	440
10.3.2 测试配置	364	12.3.3 VXI 总线的寻址	441
10.3.3 TCI-L2CAP 规范	365	12.3.4 VXI 即插即用	442
10.4 测试系统的确认	368	12.4 PXI 总线	443
10.4.1 确认的基本过程	369	12.4.1 PXI 模块机械尺寸	443
10.4.2 RF 测试系统的确认	371	12.4.2 PXI 总线电气结构	443
第 11 章 光通信测试	373	12.4.3 PXI 总线特点	444
11.1 光通信测试概述	373	12.4.4 PXI 软件特性	444
11.1.1 光通信基本概念	373	12.4.5 VXI 与 PXI 性能比较	445
11.1.2 光通信领域测试内容	374	12.5 VVP 规范	445
11.1.3 光通信测试应引起重视的问题	375	12.5.1 系统框架	446
11.2 光通信测量仪器	376	12.5.2 仪器驱动程序	447
11.2.1 光谱分析仪	376	12.5.3 虚拟软件体系结构及应用	449
11.2.2 多波长计	384	12.6 自动测试系统软件设计	452
11.2.3 光时域反射计	394	12.6.1 程序设计要求	452
11.2.4 光波多用表	397	12.6.2 软件开发环境	453
11.2.5 光测量仪器校准	398	12.6.3 软面板的设计	455
11.3 光传输系统测试	399	12.6.4 VISA 在编程中的应用	457
11.3.1 波长测量	399	12.6.5 虚拟仪器驱动程序的设计	458
11.3.2 光谱测量	400	12.6.6 自动测试软件框架	461
11.3.3 光放大器测试	403	12.6.7 自动测试系统设计	465
11.3.4 偏振测量	406	12.7 虚拟仪器网络测控系统平台	469
11.3.5 频域测量	409	12.7.1 概述	469
11.3.6 时域测量	413	12.7.2 系统工作原理	470
11.3.7 误码性能和 SONET/SDH 分析	416	12.7.3 软件设计	471
		12.7.4 专用测控系统的组态	471
		第 13 章 测量仪器的维护	473

13.1 实验室抗噪声（干扰）技术	473	13.2 测量仪器维修与故障诊断	483
13.1.1 噪声产生的原因	473	13.2.1 测量仪器维修	483
13.1.2 噪声的抑制方法	474	13.2.2 测量仪器故障诊断	484
13.1.3 接地	477	参考文献	486

第1章 绪 论

1.1 电子测量的基础知识

1.1.1 电子测量

测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。在这个过程中，人们借助专门的设备，把被测对象直接或间接地与同类已知单位进行比较，取得用数值和单位共同表示的测量结果。

电子测量是测量学的一个重要分支。从广义上说，凡是利用电子技术进行的测量都可以说是电子测量；从狭义上来说，电子测量是指在电子学中测量有关电的量值。由此可见电子测量的内容相当广泛，即使是在狭义电子测量的范围内，它所涉及的内容通常也应包含以下几个方面：

1. 电能量的测量

如电压、电流、电功率等。

2. 元件和电路参数的测量

如电阻、电容、电感、阻抗、品质因数、电子器件的参数等。

3. 电信号的特性的测量

如信号的波形和失真度、频率、相位、调制度等。

4. 电子电路性能的测量

如放大倍数、衰减量、灵敏度、噪声指数等。

5. 特性曲线显示

如幅频特性、相频特性曲线等。

在上述各种参数中，电压、频率、相位、阻抗等是基本电参数，对它们的测量是其他许多派生参数测量的基础。

与其他测量相比，电子测量具有以下几个明显的特点：

1) 测量频率范围宽 低频可低至 $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{Hz}$ ，高频可至 10^{12}Hz 。在不同的频率范围内，电子测量所依据的原理、使用的测量仪器、采用的测量方法也各不相同。例如，供测量用的信号源就分为低频、音频、高频、超高频等多种信号发生器。

2) 电子测量仪器的量程广 量程是仪器所能测试参数的范围。由于被测对象的大小相差极大，因而要求测量仪器的量程也极宽。例如，一块数字万用表可以测出纳伏级至千伏级的电压，量程达 11 个数量级。

3) 电子测量准确度高 电子仪器的准确度比其他测量仪器高很多，尤其是对频率、时间和电压的测量。由于采用原子频标和原子秒作为基准，使时间的测量误差减小到 $10^{-13} \sim 10^{-14}$ 量级，这是目前人类在测量准确度方面达到的最高标准。用标准电池作基准可使电压

的测量误差减小到 10^{-6} 量级。正是由于电子测量能够准确地测量频率和电压，因此人们往往把其他参数转换成频率或电压后再进行测量。

4) 测量速度快 由于电子测量是通过电子运动和电磁波的传播来进行的，因此它具有其他测量方法通常无法类比的速度。

5) 易于实现遥测和长期不间断的测量 通过各种类型的传感器，可以实现对人体不便于接触或无法到达的区域进行遥测，而且也可以在被测对象正常工作的情况下进行长期不间断的测量。

6) 易于实现测量过程的自动化和测量仪器的智能化 由于电子测量的测量结果和它所需要的控制信号都是电信号，非常有利于直接或通过模数 (A/D) 变换与计算机相连接，实现自动记录、数据运算和分析处理，做成自动测试系统。

电子测量所具有的一系列特点，使它被广泛地应用到各个领域，大到天文观测、航空航天，小到物质结构、基本粒子，几乎找不到不运用电子测量技术的领域。

1.1.2 电子测量仪器

用于检测或测量一个量或为测量目的供给一个量的器具称为测量仪器，包括各种指示仪器、比较式仪器、记录式仪器、信号源和传感器等。利用电子技术测量电或非电量的测量仪器称为电子测量仪器。

电子测量仪器种类繁多，一般可分为专用仪器和通用仪器两大类。前者是指为某一个或几个专门目的而设计的电子测量仪器，如电视彩色信号发生器。后者是指为测量某一个或几个电参数而设计的电子测量仪器，它们能用于多种电子测量，如电子示波器。

通用电子测量仪器按其功能可分为以下几类：

1. 信号发生器

用于提供测量所需的各种波形的信号。如低频、高频信号源，函数信号发生器及射频数字与模拟信号发生器等。

2. 信号分析仪器

用来观测、分析和记录各种电量的变化，包括时域、频域和数字域分析仪，如示波器、动态信号分析仪、频谱分析仪和逻辑分析仪等。

3. 频率和相位测量仪器

用来测量电信号的频率、时间间隔和相位，如频率计、波长表、相位计等。

4. 网络特性测量仪器

用来测量电气网络的各种特性，如频率特性测试仪（扫频仪）、阻抗测试仪和网络分析仪等。

5. 电子元件测试仪器

用来测量各种电子元件的各种电参数或显示特性曲线，如阻抗分析等。

6. 电波特性测试仪器

用来对电波传播、电磁场强度、干扰强度等参量进行测量，如测试接收机等。

7. 辅助仪器

用于配合上述各种仪器对信号进行放大、检波、隔离、衰减等，以便使上述仪器更充分发挥作用，如放大器、衰减器、检波器、滤波器和各种交直流电源等。

通用仪器按显示方式分,又可分为模拟式和数字式两大类。前者主要是用指针方式直接将测量结果在标度尺上指示出来,如各种模拟式万用表和电子电压表等。后者是将被测的连续变化的模拟量转换成数字量之后,以数字方式显示测量结果,以达到直观、准确、快速的效果,如各种数字万用表、数字频率计等。

电子测量仪器的种类繁多,用途也各不相同,在测量中应合理选择使用。

1.1.3 电子测量的方法

为实现测量目的,正确选择测量方法是极其重要的,它直接关系到测量工作能否正常进行和测量结果的有效性。测量方法的分类方法大致有以下几种。

1. 按测量性质分类

有时域测量、频域测量、数据域测量和随机测量四种。

(1) 时域测量

测量与时间有函数关系的量。如电压、电流等,它们的稳态值和有效值多用仪表直接测量,而它们的瞬时值可通过示波器显示其波形,以便观察其随时间变化的规律。

(2) 频域测量

测量与频率有函数关系的量。如电路增益、相移等,可以通过分析电路的幅频和相频特性或频谱特性等进行测量。

(3) 数字域测量

对数字逻辑量进行测量。如用逻辑分析仪可以同时观测许多单次并行的数据。对于计算机的地址线、数据线上的信号,既可显示其时序波形,也可用“1”,“0”显示其逻辑状态。

(4) 随机量测量

主要是指对各种噪声、干扰信号等随机量的测量。

2. 按测量手段分类

有直接测量、非直接式测量和调零测试三种。

(1) 直接测量

直接测量用于保证测量结果与校验标准一致。在直接测量中,测量者直接测到的量值就是它最终所需要的被测量的值。测量过程主要是一个直接的比较过程。例如,为了修正一段电缆的长度,就需要使用一根标尺去衡量它,并将多余部分切掉。假设需要保证电缆长度为90.0cm。校验者须将标尺贴近电缆,将标尺零点对准电缆的一端,并在紧靠90.0cm刻度的位置上做个标记,于是便可切出准确的长度,如图1-1所示。

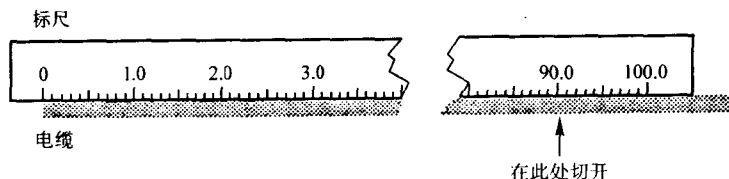


图 1-1 直接测量法

(2) 非直接式测量

非直接式测量法是指直接测量的并不是实验者最终想要得到的量值(例如,以孔板为截

流装置测量充满管道的蒸汽的质量流量，实验者直接测量到的是孔板上、下游的蒸汽压差，下游的绝对压力和下游的蒸汽温度。)而是以这些量值为基础，参照蒸汽密度和孔板、导管金属材料在不同温度下密度、膨胀系数的变化规律等条件进行温度补偿，最后以经典公式为基础并运用迭代方法计算出当前条件下通过截流装置的蒸汽质量流量，如图 1-2 所示。

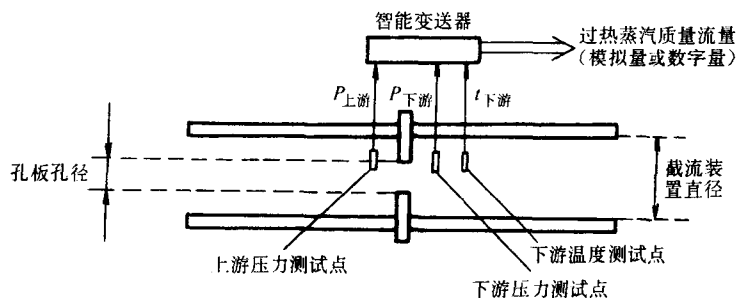


图 1-2 充满管道的过热蒸汽的质量流量间接测量法

(3) 零示法

零示法的基本过程是：将一个校对好的基准源与未知的被测量进行比较，并调节其中一个，使二量值之差达到零值。这样，从基准源的读数便可以得知被测量的值。

以测量一个未知电压值为例。在测试中需要使用一个电位计，它有一个可调输出，一个经过校准的电压源和一个比较器（零点位于刻度盘中心的电流计，记作 ZCG, zero center galvanometer），如图 1-3 所示。电位计输出的基准电压被送到 ZCG 的一个输入端，而未知的待测电压被接到 ZCG 的另一个输入端。调节电位计，使 ZCG 的指针对准零点。在这样的零条件下，电位计被设置的输出值就应等于被测量的未知电压值。

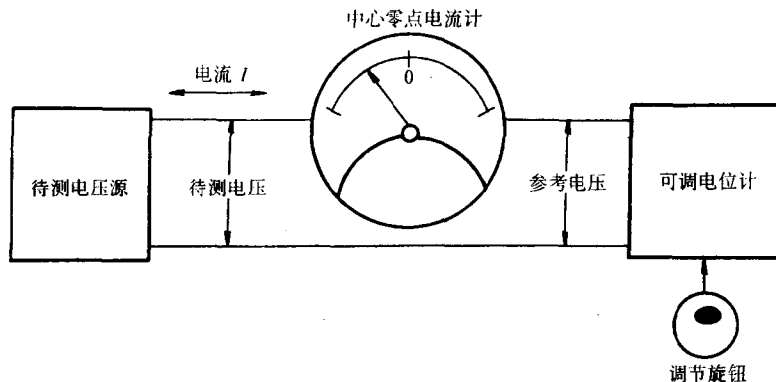


图 1-3 零示法测未知电压

1.2 电子测量系统

现代科学从信息过程的角度出发，将被研究的对象看成是系统或过程。现代测量领域也将测量的软、硬件配置及其全部工作看成是一个系统或过程，其中各个重要环节都有其自身的动态特性。这些动态特性大都可以用传递函数来描述。

1.2.1 电子测量系统的组成

一个典型的电子测量系统如图 1-4 所示。它由如下主要环节组成：

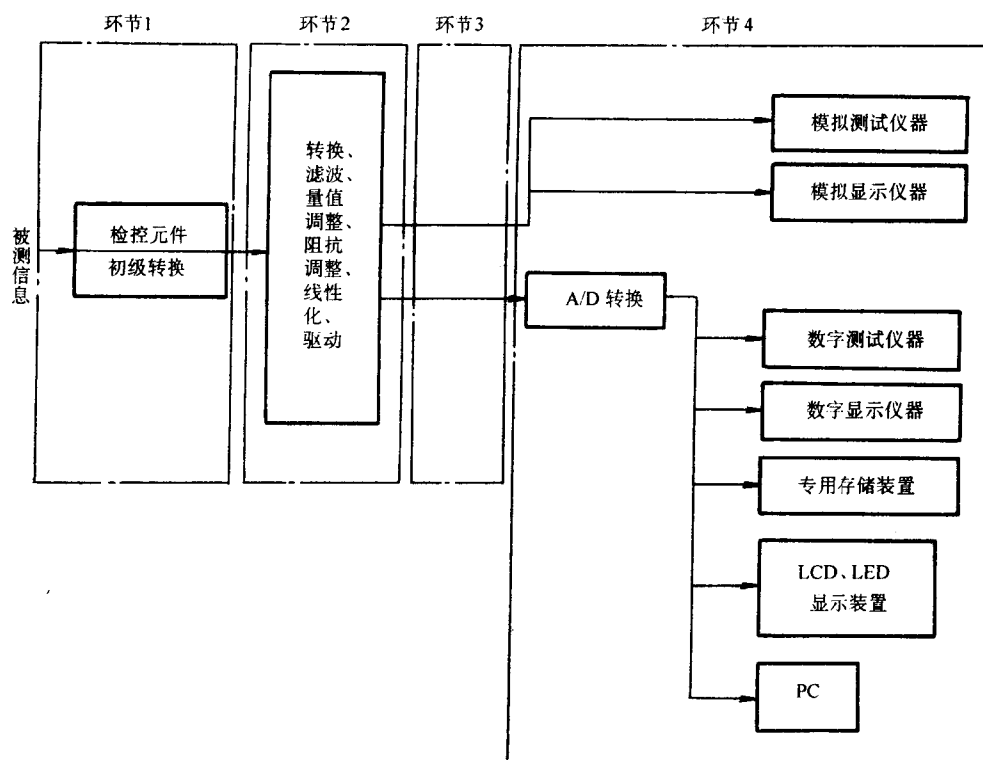


图 1-4 自动测量系统基本结构

1. 信息检测及初步转换（环节 1）

在此环节中，被测量（QUM，quantity under measurement）由传感器检测，经输入转换器件转换成有用的电量（如电压、电流）。

2. 信息的转换、调整、滤波及驱动（环节 2）

传感器输出的物理量被送至环节 2。在这里大致要对其进行如下处理：

1) 信息转换—将传感器的输出信息从一种能量系统转换到另一种能量系统，使之具有便于处理的形式。

2) 信息放大与滤波—将信息加强，并削弱噪声，从而提高信号/噪声比，而且使信息强度与标尺的满量程取得一致，以保证精度要求。

3) 阻抗调整—提供一个与下一环节相匹配的阻抗（一般是较低的）。

4) 传输驱动—将信号能量加强到能够按所需要的距离进行传输的强度，并将其以所需要的标准形式发送到传输线上。

3. 信息/信号转换及传输（环节 3）

上述经过调整的物理量一般已成为标准的模拟信号〔0（或 1）~5V 直流电压或者 0（或 4）~20mA 直流电流〕。此后的传送、使用方法，在我国目前主要有 5 种：

1) 直接送往模拟式仪器（如模拟示波器）的输入端进行测试。

2) 经 A/D 转换器件转换成二进制数字信号, 并经过适当的适配转换, 按照国际标准串行通信协议 (如 RS-232 协议等) 或并行通信协议 (如 IEEE 488 等) 送往现场总线。

3) 以类似于“2)”的方式, 经专线 (电力线、光缆、无线电等) 送往 PC。

4) 经过 RS-232 类型的电信号适配器件和调制/解调器的适配与转换, 以电话线为媒体送往 PC 或其他数字式仪器。这是目前国内外正在兴起的一种远距离、超远距离 (跨越地区、城市、国家) 自动 (包括定时) 测量、监控系统。

5) 经过 HART 类型的适配器和调制/解调器的适配和转换, 变成以模拟信号的频率方式实现的二进制数字信号, 按照国际 HART 协议方式送往具有 HART 协议接口的现场总线、PC 或其他数字式仪器。这是 20 世纪 90 年代中期由美国首先推出的一种过渡性通信方式。

4. 信号的处理与使用 (环节 4)

除标准模拟信号直接供模拟式仪器作分析、处理和/或显示外, 经上述“1”至“3”处理后送出的数字信号可直接送专用存储器进行存储, 可直接送往数字式显示器进行显示, 可经简单转换 (如 BCD 转换, 即二进制至十进制的数制转换) 后由数码管 (LED) 或液晶显示器 (LCD) 以十进制数字形式显示, 更多的情况是送往 PC 或各种专用的数字式仪器进行处理 (如数字滤波)、分析 (如频谱和波形分析) 和计算 (如按经典计算公式计算出间接的目标测量值) 然后存储和显示等等, 还可以在处理计算之后转换成模拟或数字式的控制命令信号。

5. 检测、变送技术的发展

在图 1-4 中, “环节 1”包括了检测元件和一次转换单元; “环节 2”包括信息的转换、调整、滤波、驱动、传输; 在信号被使用前一般还要对它进行 A/D 转换。

20 世纪 90 年代末, 一些著名厂家推出了多变量、一体化的检测变送装置。它们能同时进行多种信息的检测, 并在一个单一的器件“一体化装置”中完成上述“环节 1”的后半部、“环节 2”的全部、“环节 3”的全部 (除传输外) 乃至包括 A/D 转换的任务。最后送到传输线上的信号可能是下述三种: 数字信号 (遵从 Foundation Field Bus 协议或 Pro-field Bus 协议), 过渡性的 HART 协议信号或标准模拟信号, 由装置送出的信号内容不仅包括有关的现场物理量值, 而且还包括对数字信号进行一切必要的处理后计算出来的目标测量值 (如过热蒸汽流量等)。

1.2.2 测量信号处理

1. 信号调整

直接从传感器输出端获得的电压或电流信号一般很微弱而且包含有噪声。这些噪声是从 QUM 所处的环境中或在传感器内部随着有用信息一起被取出来的。有时, 传感器的测量过程还会产生一些相对于 QUM 的非线性扭曲 (例如, 热敏电阻本身热性能随环境温度的变化), 这就需要做一些线性化的工作。针对传感器的上述问题所做的模拟信号调整工作模式一般包括对输出电压的放大和线性滤波, 目的是提高信号—噪声比。上述工作一般由一个低噪声仪表放大器串接一些由运算放大器激励的滤波器来完成。固有非线性的补偿, 包括针对温度变化的修正等等, 都很容易由计算机或微电脑通过数字方法实现。因此, 经过模拟放大和滤波之后, 就要将信号通过 A/D 转换器转换成数字形式, 并以二进制码的形式读入到 PC

或微处理器（微控制器）中。

如果数字化操作是以固定周期为基础的，那么在实际工作中就需要使用模拟信号滤波系统对模拟信号进行低通滤波，将模拟信号频率（ f_{imax} ）高于采样频率（ f_s ）之半的信号分量的能量尽可能削弱。这种在 A/D 转换之前进行的滤波称为防伪滤波，它是提高后来的数字信号处理准确度所必需的。

也可以采用数字方法来有效地驱除伴随着 QUM 的混淆噪声，并计算出采样信号的各种统计函数，如均方根值、自相关函数、功率谱平方根等等。

最后，就要将信号以数字形式存到软盘、硬盘、光盘或扩存储器件里。

测量系统中有三个主要的噪声信号来源：随着 QUM 而来的噪声（环境噪声），来自电子信号调整系统（作用于它的输入）和 A/D 转换过程产生的等效噪声（量化噪声）。它们限制了测量系统的分辨力和精确度。

2. 测量系统中的误差来源

测量误差原因来自多方面：有一些误差可以通过适当的方法来消除或削弱；有一些误差是由所使用的仪表的本质特性造成的，可以在设计中采取一定方法避免。

(1) 由于人为疏忽造成的量值误差

1) 在仪器仪表到达稳态之前就读数，于是产生了动态误差。

2) 对模拟型仪器的标尺进行读数时会出现视差，在刻度线之间进行估值时也会出现读数误差。

3) 记录数据时可能会因疏忽而造成误差，推算一个间接测量值时也会产生误差。

4) 误用仪器仪表会造成误差。例如将一个量程为 10V、灵敏度为每伏 20.000Ω 的模拟电压表接到内阻为 100.000Ω 的电压源上，内阻两端的电压就会明显下落。

(2) 导致整体系统上的误差因素

1) 仪器使用时间太长而未校准，其组件因性能随时间而发生变化，致使仪器性能偏离标准，而零点发生偏差。

2) 由来自被测量所处的环境或用于信号调整的电子器件内部的随机噪声引起的读数不确定性。环境噪声（来自系统外部的噪声）会造成误差，环境噪声常常可以通过合适的屏蔽或接地来削弱。外部环境噪声一般来自于自然背景，屏蔽不良的无线电频率源（如计算站或无线电台）以及电力线的电磁场等等。内部噪声一般来自信号调整放大器、电阻元件、操作型电子器件（如晶体管）、现代仪器中的 A/D 转换操作（量化过程）等等。

3) 在长时间的定值测量中，系统中的长时间缓慢漂移会破坏仪器的确定性。漂移会引起仪器灵敏度和/或零点的缓慢变化。在仪器温度因工作时间过长而上升时常常发生零点漂移。温度上升还会引起许多参数的变化，如电容、电抗、电阻、标准电池的电动势等。湿度变化也会引起电路参数的变化。优质的设计应包括系统的温度调节。在积分器中，运算放大器的直流偏流的累积会引起输出漂移。

3. 传感器的滞后问题

许多传感器的响应速度比测量系统的其他元件要慢得多，因而在系统中扮演了限制速度的元件的作用，由于这种动态过程的结果，每当结束一个 QUM 阶跃输入时，在系统给出一个稳定的测量结果之前，将会存在一个“到位时间”，这就是说，传感器需要一个到位时间以达到稳定输出。

上述问题是在实际测量中应予以密切注意的。

1.3 测量技术与仪器的发展趋势

电子测量仪器发展大体经历了四个阶段：模拟仪器、数字化仪器、智能仪器和虚拟仪器。

1. 模拟仪器

这类仪器在多数实验室仍能看到，如指针式万用表、晶体管电压表等。它们的基本结构是电磁机械式的，借助指针来显示测量结果。

2. 数字化仪器

这类仪器目前相当普及，如数字电压表、数字频率计等。这类仪器将模拟信号的测量转化为数字信号测量，并以数字方式输出测量结果，适用于快速响应和较高准确度的测量。

3. 智能仪器

这类仪器内置微处理器，既能进行自动测试又具有一定的数据处理，可取代部分脑力劳动，习惯上称为智能仪器。它的功能块都是以硬件（或固化的软件）的形式存在，无论是开发还是应用，都缺乏灵活性。

4. 虚拟仪器

虚拟仪器（VI，Virtual Instruments）是检测技术与计算机技术和通信技术有机结合的产物。它是美国国家仪器（NI，National Instruments）公司于1986年提出的。虚拟仪器是指在通用计算机上添加一层软件和一些硬件模块，使用户操作这台通用计算机就像操作一台真实的仪器一样。虚拟仪器技术强调软件的作用，提出了“软件就是仪器”的概念。

虚拟仪器软件体系结构（VISA，Virtual Instrumentation Software Architecture），使得不管虚拟仪器使用的计算机或操作系统是什么，所编写的用户应用程序都是可移植的，软件模块具有通用性。

自虚拟仪器概念提出以来，以软件代替硬件、以图形代替代码、以组态代替编程、以虚拟代替真实仪器组建自动测试系统的技术得到发展迅速。运用传感器自动采集地球的信息，用Internet支持和传递着它的“感觉”，采用PXI、VXI、GPIB、PC卡仪器等进行多种总线仪器混合互连，组成集测量、控制和现场监视于一体的Internet远程虚拟测控系统平台，为人类监视城市的基础设施甚至整个地球服务。

第2章 测量误差理论与数据处理

2.1 测量误差的基本概念

2.1.1 测量标准

1. 标准的定义

没有测量就没有鉴别，科学技术就不能前进。测量必须依据标准和规范给出的测试方法进行，并以标准规定的极限值作为判据。

1991年，ISO与IEC联合发布第2号指南《标准化与相关活动的基本术语及其定义（1991年第六版）》。该指南给“标准”定义如下：“标准是由一个公认的机构制定和批准的文件，它对活动或活动的结果规定了规则、导则或特性值，供共同和反复使用，以实现在预定结果领域内最佳秩序的效益”。

注：标准应建立在科学技术和实践经验的综合成果基础上，并以促进最佳社会效益为目的。

该定义明确告诉我们制定标准的目的、基础、对象、本质和作用。由于它具有国际权威性和科学性，无疑应该是世界各国，尤其是ISO和IEC成员应该遵循的。

2. 标准的分类及其定义

为了不同的目的，可以从各种不同的角度，对标准进行不同的分类方法。目前，人们常用的分类方法有以下三种。

(1) 层级分类法

按照标准化层级标准作用和有效的范围，可以将标准划分为不同层次和级别的标准，如国际标准、区域标准、国家标准、行业标准、地方标准和企业（公司）标准。

1) 国际标准 由国际标准化或标准组织制定，并公开发布的标准是国际标准（ISO/IEC第2号指南）。

因此，ISO和IEC批准、发布的标准是目前主要的国际标准，ISO认可即列入《国际标准题内关键词索引》的一些国际组织如国际计量局（BIPM）、食品法典委员会（CAC）、世界卫生组织（WHO）等组织制订、发布的标准也是国际标准。

2) 区域标准 区域标准是由某一区域标准或标准组织制定并公开发布的标准（ISO/IEC第2号指南）。如欧洲标准化委员会（CEN）发布的欧洲标准（EN）就是区域标准。

3) 国家标准 国家标准是由国家标准团体制定并公开发布的标准（ISO/IEC第2号指南）。如GB、ANSI、BS、NF、DIN、JIS等是中、美、英、法、德、日等国国家标准的代号。

4) 行业标准 由行业标准化团体或机构制定、发布，在某行业的范围内统一实施的标准是行业标准。又称为团体标准。如美国材料与试验协会标准（ASTM）、石油学会标准