



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 测控系统 原理与设计

(第3版)

孙传友 李 涛 编著



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 测控系统原理与设计

(第3版)

孙传友 李 涛 编著

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材《测控系统原理与设计》的第3版。全书系统地阐述了基于单片机测控系统的整机原理和总体设计。内容包括:绪论、测控通道、主机及接口、测控总线技术、测量数据处理、PID控制算法、监控程序设计、抗干扰技术、微机化测控系统设计及实例、测控系统新技术。书中给出了大量的实用硬件电路和软件程序。本书各章的习题解答和辅助的教学资源都可在网上浏览和下载。

本书可作为各类工科院校测控技术与仪器、自动化、机电一体化等专业的教材或教学参考书,也可供从事测控领域工作的工程技术人员参考或作为自学读物。

### 图书在版编目(CIP)数据

测控系统原理与设计/孙传友,李涛编著. —3版  
—北京:北京航空航天大学出版社,2014.8  
ISBN 978-7-5124-1361-0  
I. ①测… II. ①孙…②李… III. ①自动检测系统  
IV. TP274

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第185146号

© 2007,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式抄袭、复制本书部分或全部内容。违者必究。

### 测控系统原理与设计(第3版)

孙传友 李 涛 编著  
责任编辑 金友泉

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316524

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:787×1092 1/16 印张:21.75 字数:557千字

2014年8月第3版 2014年8月第1次印刷 印数:3000册

ISBN 978-7-5124-1361-0 定价:37.00元

## 第3版前言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材《测控系统原理与设计》的第3版。全面系统地阐述了基于单片机的测控系统的整机原理和总体设计。内容包括:绪论、测控通道、主机及接口、测控总线技术、测量数据处理、PID控制算法、监控程序设计、抗干扰技术、微机化测控系统设计及实例、测控系统新技术。

《测控系统原理与设计》是作者根据教育部有关文件和自己多年的教学经验,对测控专业教学内容和课程体系进行改革的尝试,与同类书相比,本书具有以下三个特点:

(1) 定位明确 本教材的定位是培养应用型(或技术型)专业人才。因此,本教材主要内容是计算机测控技术的应用研究,而不是单纯的理论研究。

(2) 注重对各类测控系统共性的研究 不同应用领域的测控系统虽然存在个性,但也存在很多共性,而且个性和共性相比,共性是主要的,其共同的理论基础和技术基础实质就是计算机测控技术。各种不同的测控系统产品只不过是其“共同基础”即计算机测控技术与各应用领域的“特殊要求”相结合的产物。因此,注重对各类测控系统共性的研究,有利于增强学生的适应能力。

(3) 加强课程内容间的联系与综合 本教材从总体设计角度出发,研究各模块设置的必要性,以及整机对该模块的技术要求;把硬件与软件结合起来,研究与硬件相关的接口软件、测控算法、监控程序以及影响整机性能的抗干扰技术;加强与先修课程(测控电路、单片机原理等)内容间的联系与综合,使学生进而学习掌握测控系统的整机原理与总体设计。

本书第1版于2002年9月出版,第2版于2007年12月出版,先后印刷了10次,已经被许多高校选做教材,有些大学还指定本书为硕士生或博士生入学考试参考书。

为了尽可能跟上测控技术的发展,更好地适应高等学校测控系统课程的教学需要,作者在保持前两版的特色和体系基本不变的前提下,对第2版内容进行了修订,删去了一些即将被淘汰的内容,增加了串行A/D、串行D/A、测控总线技术等内容。

为方便老师教学和学生自学,作者编写了例题和习题,并在网上发布了“《测控系统原理与设计》(第3版)习题解答”供读者浏览和下载。该文档的下载网址是

<http://wenku.baidu.com/> 和 <http://www.buaapress.com.cn/>

此外,作者还建立了专门的《测控系统》课程教学网站,本教材教学所需的辅助资源,如CAI课件、电子教案、实验指导、双语教学等,都可从该课程网站免费下载。该网站网址是

<http://dxxxy.yangtzeu.edu.cn/ckxt/>

本书可作为各类工科院校测控技术与仪器、自动化、机电一体化等专业的教材或教学参考书,也可供从事测控领域工作的工程技术人员参考或作为自学读物。

本书第3版由长江大学孙传友教授和李涛博士负责修订。新增加的3.2.2节、3.3.2节、10.1.3节和第4章由李涛负责编写,其余章节由孙传友负责修订。在此,作者谨向长江大学有关领导和北京航空航天大学出版社编辑以及各参考文献的作者一并表示衷心的感谢。由于作者水平有限,缺点和错误在所难免,恳请各位专家和读者批评指正。

作者  
2014年7月

# 目 录

## 第1章 绪 论

- 1.1 测控系统的地位与作用 ..... 1
- 1.2 测控系统微机化的重要意义 ..... 2
- 1.3 微机化测控系统的类型  
和组成 ..... 3
  - 1.3.1 微机化检测系统 ..... 3
  - 1.3.2 微机化控制系统 ..... 4
  - 1.3.3 微机化测控系统 ..... 4
- 1.4 本课程的内容与性质 ..... 5
- 思考题与习题 ..... 5

## 第2章 测控通道(输入/输出通道)

- 2.1 模拟输入通道 ..... 6
  - 2.1.1 模拟输入通道的基本类型与组成结构 ..... 6
  - 2.1.2 传感器的选用 ..... 8
  - 2.1.3 信号调理电路的参数设计和选择 ..... 9
  - 2.1.4 采集电路的参数  
设计和选择 ..... 17
  - 2.1.5 模拟输入通道的误差  
分配与综合 ..... 26
- 2.2 模拟输出通道 ..... 30
  - 2.2.1 模拟输出通道的基本理论 ..... 30
  - 2.2.2 模拟输出通道的基本结构 ..... 34
  - 2.2.3 模拟输出通道组成  
电路的选用 ..... 36
- 2.3 开关量输入/输出通道 ..... 40
  - 2.3.1 开关量输入通道 ..... 40
  - 2.3.2 开关量输出通道 ..... 41
  - 2.3.3 开关量输入/输出通道  
设计举例 ..... 44

- 2.4 单元电路的级联设计 ..... 49
  - 2.4.1 电气性能的相互匹配 ..... 49
  - 2.4.2 信号耦合与时序配合 ..... 49
  - 2.4.3 电平转换接口 ..... 51
- 思考题与习题 ..... 55

## 第3章 主机及其接口

- 3.1 主机电路 ..... 56
  - 3.1.1 基于PC机的主机电路 ... 56
  - 3.1.2 基于单片机的主机电路 ... 58
- 3.2 输入通道接口 ..... 61
  - 3.2.1 并行A/D接口 ..... 61
  - 3.2.2 串行A/D接口 ..... 67
  - 3.2.3 VFC接口 ..... 70
- 3.3 输出通道接口 ..... 72
  - 3.3.1 并行D/A接口 ..... 72
  - 3.3.2 串行D/A接口 ..... 75
  - 3.3.3 功率接口 ..... 77
- 3.4 人-机接口 ..... 79
  - 3.4.1 显示器接口 ..... 79
  - 3.4.2 键盘接口 ..... 87
  - 3.4.3 键盘/显示器接口 ..... 94
  - 3.4.4 打印机接口 ..... 97
  - 3.4.5 报警器接口 ..... 101
- 3.5 通信接口 ..... 104
  - 3.5.1 RS-232C标准 ..... 104
  - 3.5.2 串行通信接口电路 ..... 108
  - 3.5.3 MCS-51单片机与  
IBM-PC计算机的  
数据通信 ..... 114
  - 3.5.4 RS-422、RS-423  
标准 ..... 117
- 思考题与习题 ..... 118

**第4章 测控总线技术**

4.1 测控总线概述	120
4.1.1 总线的基本概念	120
4.1.2 总线的性能和标准	121
4.1.3 常用的测控总线	123
4.2 测控机箱底板总线	127
4.2.1 VXI 总线	127
4.2.2 PCI 和 CPCI 总线	131
4.2.3 PXI 总线	136
4.3 测控机箱与计算机 互联总线	141
4.3.1 GPIB 总线	141
4.3.2 USB 总线	145
4.3.3 IEEE 1394 总线	149
思考题与习题	152

**第5章 测量数据处理**

5.1 测量数据的产生过程 和影响因素	153
5.1.1 测量数据的产生过程	153
5.1.2 测量数据的影响因素	153
5.2 零位和灵敏度的误差校正	154
5.2.1 零位误差和灵敏度 误差	154
5.2.2 软件校正方法	155
5.2.3 硬件校正方法	156
5.3 量程自动切换	158
5.3.1 量程切换的依据	158
5.3.2 量程切换的方法	159
5.4 超限自动报警	161
5.4.1 超限报警处理 程序设计	161
5.4.2 超限报警系统 设计实例	162
5.5 标度变换	165
5.5.1 硬件实现方法	165
5.5.2 软件实现方法	169
5.6 非线性校正算法	173
5.6.1 查表法	173

5.6.2 插值法	174
5.6.3 拟合法	179
5.7 数字滤波	183
5.7.1 限幅滤波和中位值 滤波	184
5.7.2 平均滤波	185
5.7.3 低通滤波	189
5.7.4 复合滤波	191
思考题与习题	192

**第6章 PID 控制算法**

6.1 PID 控制原理与程序流程	193
6.1.1 过程控制的基本概念	193
6.1.2 模拟 PID 调节器	194
6.1.3 数字 PID 控制器	195
6.1.4 PID 算法的程序流程	197
6.2 标准 PID 算法的改进	200
6.2.1 微分项的改进	200
6.2.2 积分项的改进	203
6.3 数字 PID 参数的选择	205
6.3.1 采样周期的选择	205
6.3.2 数字 PID 控制的 参数选择	206
6.4 数字 PID 控制的工程实现	209
6.4.1 给定值和被控量处理	209
6.4.2 偏差处理	210
6.4.3 控制算法的实现	211
6.4.4 控制量处理	212
6.4.5 自动/手动切换	212
思考题与习题	214

**第7章 监控程序设计**

7.1 监控程序的功能和组成	215
7.2 监控主程序和初始化管理	216
7.2.1 监控主程序	216
7.2.2 初始化管理	218
7.3 键盘管理	218
7.3.1 一键一义的键盘管理	218
7.3.2 一键多义的键盘管理	220
7.3.3 自动/手动切换	223

7.4 显示、中断与时钟管理 .....	224
7.4.1 显示管理 .....	224
7.4.2 中断管理 .....	224
7.4.3 时钟管理 .....	226
7.5 硬件故障的自检 .....	227
7.5.1 自检方式 .....	227
7.5.2 自检算法 .....	228
7.5.3 自检软件 .....	230
思考题与习题 .....	231

## 第 8 章 抗干扰技术

8.1 噪声干扰的形成 .....	232
8.1.1 噪声源 .....	232
8.1.2 噪声的耦合方式 .....	233
8.1.3 噪声的干扰模式 .....	236
8.2 硬件抗干扰技术 .....	237
8.2.1 接地技术 .....	237
8.2.2 屏蔽技术 .....	243
8.2.3 长线传输的干扰 及抑制 .....	244
8.2.4 共模干扰的抑制 .....	247
8.2.5 差模干扰的抑制 .....	252
8.2.6 供电系统抗干扰 .....	254
8.2.7 印刷电路板抗干扰 .....	256
8.3 软件抗干扰技术 .....	259
8.3.1 软件冗余技术 .....	260
8.3.2 软件陷阱技术 .....	262
8.3.3 “看门狗”技术 .....	266
8.3.4 故障自动恢复 处理程序 .....	274
思考题与习题 .....	278

## 第 9 章 微机化测控系统设计及实例

9.1 设计要求和研制过程 .....	280
9.1.1 设计的基本要求 .....	280
9.1.2 设计的研制过程 .....	281
9.2 总体设计 .....	282
9.3 硬件设计 .....	285
9.3.1 元器件的选择 .....	285
9.3.2 电路设计的原则 .....	287

9.3.3 硬件电路研制过程 .....	288
9.4 软件设计 .....	290
9.4.1 软件研制过程 .....	290
9.4.2 软件设计的依据—— 系统定义 .....	291
9.4.3 软件设计方法 .....	293
9.4.4 软件的测试和运行 .....	295
9.5 设计实例 .....	296
9.5.1 电冰箱温度测控 系统设计 .....	296
9.5.2 防盗报警系统设计 .....	301
思考题与习题 .....	308

## 第 10 章 测控系统新技术

10.1 现场总线控制系统 .....	309
10.1.1 计算机测控系统的 发展历程 .....	309
10.1.2 现场总线控制系统 的特点 .....	313
10.1.3 几种主要的现场总线 .....	314
10.2 网络化测控系统 .....	317
10.2.1 网络化测控系统的 发展 .....	317
10.2.2 网络化测控系统的 结构 .....	319
10.2.3 网络化测控系统功能 与特点 .....	323
10.3 虚拟仪器 .....	326
10.3.1 虚拟仪器的概念 .....	326
10.3.2 虚拟仪器的组成特点 .....	327
10.3.3 虚拟仪器的体系结构 .....	329
10.3.4 典型的虚拟仪器系统 及其总线 .....	331
10.3.5 虚拟仪器网络化 .....	332
思考题与习题 .....	334

## 附录 MCS-51 指令表

## 参考文献

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 测控系统的地位与作用

人类在认识世界和改造世界的过程中,一方面要采用各种方法获得客观事物的量值,这个任务称之为“测量”;另一方面也要采用各种方法支配或约束某一客观事物的进程结果,这个任务称之为“控制”。“测量”和“控制”是人类认识世界和改造世界的两项工作任务,而测控仪器或系统则是人类实现这两项任务的工具和手段。按照仪器和系统担负的任务不同,测控仪器和系统可分为三大类:单纯以测试或检测为目的的“测试(检测)仪器或系统”,单纯以控制为目的的“控制系统”和测控一体的“测控系统”。

发明元素周期表的科学家门捷列夫曾说过:“有测量才有科学”。科学的发展和突破往往是以检测仪器和技术方法上的突破为先导的。例如,人类在光学显微镜出现以前,只能用肉眼来分辨物质;而 16 世纪出现了光学显微镜,这就使人们能够借助显微镜来观察细胞,从而大大推动了生物科学的发展。而到 20 世纪 30 年代出现了电子显微镜,使人们的观察能力进入了微观世界,这又推动了生物科学、电子科学和材料科学的发展……在诺贝尔物理和化学奖中大约有 1/4 是属于测试方法和仪器创新。这些事实都说明了测试仪器在科学研究中的重要作用。

测控仪器和系统在工业生产中起着把关者和指导者的作用,它从生产现场获取各种参数,运用科学规律和系统工程的方法,综合有效地利用各种先进技术,通过自控手段和装备,使每个生产环节得到优化,进而保证生产规范化,提高产品质量,降低成本,满足需要,保证安全生产。

目前,测控技术广泛应用于炼油、化工、冶金、电力、电子、轻工和纺织等行业。据悉,现代化宝钢的技术装备投资,1/3 经费用于购置仪器和自控系统。即使原来认为可以土法生产的制酒工业,今天也需通过精密的仪器仪表严格控制温度流程才能创出名牌。

据美国国家标准技术研究院(NIST)的统计,美国为了质量认证和控制、自动化及流程分析,每天完成 2.5 亿个检测,占国民生产总值的 3.5%。要完成这些检测,需要大量的种类繁多的分析和检测仪器。仪器与测试技术已是当代促进生产的一个主流环节。美国商业部国家标准局(NBS),于 20 世纪 90 年代初评估仪器仪表工业对美国国民经济总产值的影响作用,提出的调查报告中称:仪器仪表工业总产值只占工业总产值的 4%,但它对国民经济的影响达到 66%。

仪器仪表对国民经济有巨大的“倍增器”和拉动作用。应用仪器仪表是现代生产从粗放型经营转变为集约型经营必须采取的措施,是改造传统工业必备的手段,也是产品具备竞争能力、进入市场经济必由之路。

仪器在产品质量评估及计算等有关国家法制实施中起着技术监督的“物质法官”的作用。在国防建设和国家可持续发展战略的诸多方面,都有至关重要的作用。现代仪器已逐渐走进



千家万户,与人们的健康、日常生活、工作和娱乐活动休戚相关。

今天,世界正在从工业化时代进入信息化时代,并向知识经济时代迈进。这个时代的特征是以计算机为核心延伸人的大脑功能,起着扩展人脑力劳动的作用,使人类正在走出机械化的过程,进入以物质手段扩展人的感官神经系统及脑力智力的时代。这时,仪器的作用主要是获取信息,作为智能行动的依据。

仪器的功能在于用物理、化学或生物的方法,获取被检测对象运动或变化的信息,通过信息转换的处理,使其成为易于人们阅读和识别表达(信息显示、转换和运用)的量化形式,或进一步信号化、图像化。通过显示系统,以利观测、入库存档,或直接进入自动化、智能运转控制系统。

仪器是一种信息的工具,起着不可或缺的信息源的作用。仪器是信息时代的信息获取→处理→传输的链条中的源头技术。如果没有仪器,就不能获取生产、科学、环境和社会等领域中全方位的信息,进入信息时代将是不可能的。钱学森院士在对新技术革命的论述中曾说:“新技术革命的关键技术是信息技术。信息技术由测量技术、计算机技术和通信技术三部分组成。测量技术则是关键和基础”。现在提到信息技术通常想到的只是计算机技术和通信技术,而关键的基础性的测量技术却往往被人们忽视了。从上所述可以看出仪器技术是信息的源头技术。仪器工业是信息工业的重要组成部分。

## 1.2 测控系统微机化的重要意义

20世纪50年代以前,由于当时企业的生产规模较小,测控仪表处于发展的初级阶段,所采用的仅仅是安装在生产现场、只具备简单测控功能的基于20.67~103.35 kPa气动信号标准的基地式气动仪表。其信号仅在本仪表内使用,不能传送给别的仪表或系统,即各测控仪表处于封闭的状态,无法与外界沟通信息,操作人员只能通过生产现场的巡视,才可以了解生产过程的状况。

20世纪60年代,随着企业的生产规模进一步扩大,操作人员需要综合掌握多点的运行参数和信息,需要同时按多点的信息实行操作控制,因此出现了气动、电动单元组合式仪表,形成了集中控制室。生产现场中的各参数通过统一的模拟信号,如20.67~103.35 kPa气动信号、0~10 mA、4~20 mA直流电流信号、1~5 V直流电压信号等,送往集中控制室。操作人员可以在控制室内观察生产现场的状况,可以把各单元仪表的信号按需要组合成复杂测控系统。

20世纪70年代开始,微型计算机被引入测控领域,使测控系统发展到计算机测控系统的新阶段。将微型计算机技术引入测控系统中,不仅可以解决传统测控系统不能解决的问题,而且还能简化电路,增加或增强功能,提高测控精度和可靠性,显著增强测控系统的自动化、智能化程度,而且可以缩短系统研制周期、降低成本、易于升级换代等。因此,现代测控系统设计,特别是高精度、高性能、多功能的测控系统,目前已很少有采用计算机技术的了。

计算机技术的引入,可为测控系统,带来以下一些新特点和新功能:

(1) 自动对零功能 在每次采样前对传感器的输出值自动清零,从而大大降低因测控系统漂移变化造成的误差。

(2) 量程自动切换功能 可根据测量值和控制值的大小改变测量范围和控制范围,在保证测量和控制范围的同时提高分辨率。

- \*\*\*\*\*
- (3) 多点快速测控 可对多种不同参数进行快速测量和控制。
- (4) 数字滤波功能 利用计算机软件对测量数据进行处理,可抑制各种干扰和脉冲信号。
- (5) 自动修正误差 许多传感器和控制器的特性是非线性的,且受环境参数变化的影响比较严重,从而给仪器带来误差。采用计算机技术,可以依靠软件进行在线或离线修正。
- (6) 数据处理功能 利用计算机技术可以实现传统仪器无法实现的各种复杂的处理和运算功能,比如统计分析、检索排序、函数变换、差值近似和频谱分析等。
- (7) 复杂控制规律 利用计算机技术不仅可以实现经典的 PID 控制,还可以实现各种复杂的控制规律,例如,自适应控制、模糊控制等。
- (8) 多媒体功能 利用计算机多媒体技术,可以使仪器具有声光和语音等功能,增强测控系统的个性或特色。
- (9) 通信或网络功能 利用计算机的数据通信功能,可以大大增强测控系统的外部接口功能和数据传输功能。采用网络功能的测控系统则将拓展一系列新颖的功能。
- (10) 自我诊断功能 采用计算机技术后,可对测控系统进行监测,一旦发现故障则立即进行报警,并可显示故障部位或可能的故障原因,对排除故障的方法进行提示。

## 1.3 微机化测控系统的类型和组成

### 1.3.1 微机化检测系统

微机化检测或测试系统是以微机为核心,单纯以“检测”或“测试”为目的的系统。一般用来对被测过程中的一些物理量进行测量并获得相应的精确测量数据,因此,又常称为数据采集系统,其基本组成框图如图 1-3-1 所示。

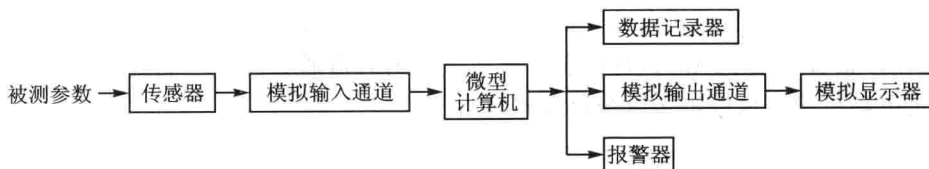


图 1-3-1 微机化检测系统框图

被测参数经传感器转换成模拟信号,再由模拟输入通道进行信号调理和数据采集,转换成微型计算机要求的数字型式送入微型机进行必要的处理,再送到磁带机、打印机等数据记录器记录下来,这样就得到了供进一步分析和处理的测量数据记录。为了对测量过程进行集中实时监视,模拟输出通道将微机处理后的测量数据转换成模拟信号在示波器或图示仪等模拟显示器上显示出来。在某些对生产过程进行监测的场合,如果被测参数超过规定限度时,微型机还将及时启动报警器发出报警信号。

用于石油勘探的数字地震记录仪和数字测井仪就是这类仪器的典型实例。目前在野外现场广泛使用的各种存储式测试记录仪器,也属于这一类,只不过结构比较简单(一般只包括传感器、模拟输入通道、微机和数据记录器几部分)罢了。

### 1.3.2 微机化控制系统

微机化控制系统是以微型机为核心,单纯以程序控制为目的的系统,其组成框图如图 1-3-2 所示。这是一种开环控制系统,程序控制的基本思想是将被控对象的动作次序和各类参数输入微型机,微型机执行固定的程序,一步一步地控制被控对象的动作,以达到预期的目的。例如机床的计算机控制,预先输入切削量、裕量、进给量、工件尺寸和加工步骤等参数,运行时由计算机控制刀具的动作,最后加工出成品。

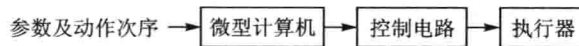


图 1-3-2 微机化控制系统框图

### 1.3.3 微机化测控系统

微机化测控系统是以微机为核心、测控一体化的系统,这种系统对被控对象的控制是依据对被控对象的测量结果决定的。因此,它实质上是一种闭环控制系统,其基本组成框图如图 1-3-3 所示。图中左测的输入、输出通道,称为过程通道,它是微型机与测控对象的连接渠道,因此,称之为“测控通道”。

测控通道又可分为模拟量输入通道、模拟量输出通道、开关量输入通道和开关量输出通道。带有模/数转换器的模拟量输入通道用来连接各类模拟信号输出的传感器,也可直接用做模拟形式的电压或电流的输入端。模拟量输出通道带有数/模转换器,使计算机能对模拟形式的执行机构或输出设备进行控制。开关量输入通道用来接收外界以“开关”形式表示的信息。例如,在电网实时监控系统中,它可用来监视电网各类断路器的开合状态。在另一些在线检测中,开关量输入可用来表示“超值”、“告警”、“极性转换”等状态并通知计算机做相应的处理。开关量输入也可用编码的形式向计算机输入信息,这种信息既可以是命令信息(要求计算机执行某种动作),也可以是单纯的数据信息。开关量输出通道通常用来控制开关型执行机构(继电器、步进电动机等),也可用来以编码形式输出信息。

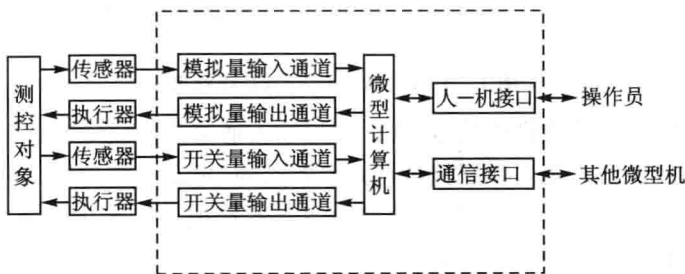


图 1-3-3 微机化测控系统典型结构

图中右侧“人—机接口”是微型计算机与操作人员的连接渠道,称为“人—机通道”,最常用的有输入命令和数据的键盘和显示测量结果和运行状态的显示器、打印机以及各种记录器等。

图中“通信接口”是图中的微型计算机与其他微型计算机的联系渠道,称为“相互通道”。多微型机测控系统的各个微型计算机相互之间通过“通信接口”传送指令或数据。

对比图 1-3-1、图 1-3-2 和图 1-3-3 可见,微机化测控系统可认为是由“测试系统”

和“控制系统”两部分构成,单纯的“测试系统”或单纯的“控制系统”只是“测控系统”的特例。因此,本书为不失普遍性和先进性,主要研究“微机化测控系统”。

## 1.4 本课程的内容与性质

顾名思义,测控仪器或系统是以测量和控制为目的的仪器或系统。现代测控仪器或系统主要是微机化的测控仪器或系统,它是计算机技术与测控技术、电子技术相结合的产物。

微机化测控仪器或系统应用很广,不同应用领域使用的微机化测控仪器或系统的名称、型号、性能也各不相同,它们都具有各自不同的特性——个性。但是这些不同应用领域的微机化测控仪器或系统,如果解剖开来看,内部组成“电路”大多是基本相同的,将各个模块组装成整机的基本原则也是大体相似的。这就是它们的共同点——共性。而且,共性与个性相比,共性是主要的。也就是说,不同应用领域的测控仪器或系统只是“大同小异”罢了!人们不可能也没有必要去逐个学习不同应用领域的具体测控仪器或系统,而应该抓住其“共性”,学习各种测控仪器或系统共同的硬件基础和整机原理,这样就能增强适应性,以不变应万变。

作为测控技术与仪器专业的学生,在学习完模拟电路、数字电路、感测技术、测控电路及装置和微型机原理等先修课程之后,已经对组成各类测控仪器或系统的基本电路或功能模块有了全面的了解,这无疑是十分必要的,但却是远远不够的。因为这只是孤立地学习了一个个电路或者模块,还不知道怎么把这些电路或模块组装起来构成一个完整的仪器或系统。这就好比初学英语时,只是学习了一个一个单词,还读不懂一整篇英文文章,还没学会用英语单词写成一篇文章。因此还需要继续学习!《测控系统原理与设计》就是为测控技术与仪器专业学生在学习完上述先修课后开设的一门综合性的课程,它主要研究微机化测控仪器和系统的整机原理与总体设计思想,讲述怎样用过去学习的微型计算机、传感器、测量电路和控制电路等功能模块构建一个适合特定需要的测控仪器或系统。

本课程是测控技术与仪器专业的专业课,它与先修课程有很大不同。本课程不是研究各电路模块本身的工作原理,而是研究由各个模块构成的整个仪器或系统的工作原理即整机原理;本课程不是研究各模块的内部结构,而是研究各模块相互之间的连接和影响;本课程不是设计某一个模块的具体电路,而是从总体设计角度出发,研究各模块设置的必要性,以及整机对该模块的技术要求;本课程不只是从整机角度研究各部分硬件的连接,而且把硬件与软件结合起来,着重研究与硬件相关的接口软件、测控算法、整机监控程序以及影响整机性能的抗干扰技术等。最后一章还简要介绍了计算机测控系统的发展、测控网络和虚拟仪器等测控系统新技术。

## 思考题与习题

1. 为什么说仪器技术是信息的源头技术?
2. 为什么现代测控系统一般都要微机化?
3. 微机化测控系统有哪几种类型?画出它们的组成框图。

## 第 2 章 测控通道(输入/输出通道)

### 2.1 模拟输入通道

#### 2.1.1 模拟输入通道的基本类型与组成结构

模拟输入通道是微机化测控系统中被测对象与微机之间的联系通道,因为微机只能接收数字电信号,而被测对象常常是一些非电量,所以,输入通道的前一道环节是把被测非电量转换为可用电信号的传感器,后一道环节是将模拟电信号转换为数字电信号的数据采集电路。除数字传感器外,大多数传感器都是将模拟非电量转换为模拟电量,而且这些模拟电量通常不宜直接用数据采集电路进行数字转换,还需进行适当的信号调理。因此,一般说来,模拟输入通道应由传感器、信号调理电路、数据采集电路三部分组成,如图 2-1-1 所示。



图 2-1-1 模拟输入通道的基本组成

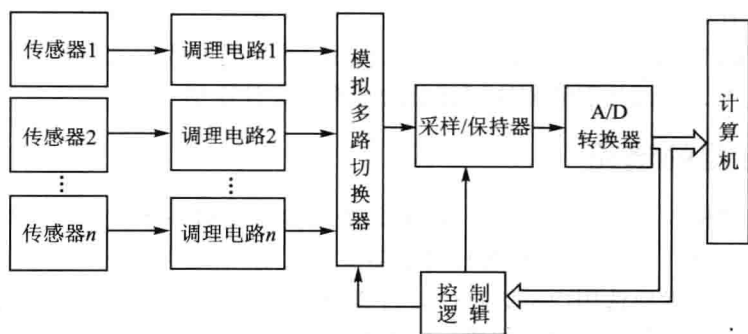
实际的微机化测控系统往往需要同时测量多种物理量(多参数测量)或同一种物理量的多个测量点(多点巡回测量)。因此,多路模拟输入通道更具有普遍性。按照系统中数据采集电路是各路共用一个还是每路各用一个,多路模拟输入通道可分为集中采集式(简称集中式)和分散采集式(简称分布式)两大类型。

##### 一、集中采集式(集中式)

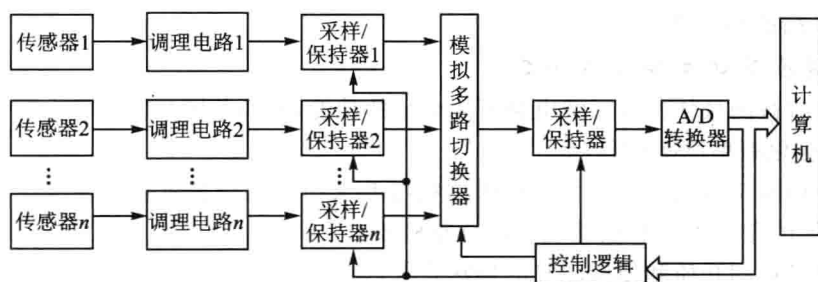
集中采集式多路模拟输入通道的典型结构有分时采集型和同步采集型两种,分别如图 2-1-2(a)和(b)所示。

由图(a)可见,多路被测信号分别由各自的传感器和信号调理电路组成的通道经多路转换开关切换,进入公用的采样/保持器(S/H)和 A/D 转换电路进行数据采集。它的特点是各路信号共同使用一个 S/H 和 A/D 电路,简化了电路结构,降低了成本。但是它对信号的采集是由模拟多路切换器即多路转换开关分时切换、轮流选通的,因而相邻两路信号在时间上是依次被采集的,不能获得同一时刻的数据,这样就产生了时间偏斜误差。尽管这种时间偏斜很短,但对于要求各路信号严格同步采集测试的系统是不适用的,然而对于多数中速和低速测试系统,仍是一种应用广泛的结构。

由图(b)可见,同步采集型的特点是在多路转换开关之前,给每路信号通路各加一个采样/保持器,使各路信号的采样在同一时刻进行,即同步采样。然后由各自的保持器保持着采样信号幅值,等待多路转换开关分时切换进入公用的 S/H 和 A/D 电路将保持的采样幅值转换成数据输入主机。这样可以消除分时采集型结构的时间偏斜误差,这种结构既能满足同步



(a) 多路分时采集分时输入结构



(b) 多路同步采集分时输入结构

图 2-1-2 集中采集式模拟输入通道典型结构

采集的要求,又比较简单。但是它仍有不足之处,特别是在被测信号路数较多的情况下,同步采得的信号在保持器中保持的时间会加长,而保持器总会有一些泄漏,使信号有所衰减。由于各路信号保持时间不同,致使各个保持信号的衰减量不同。因此,严格地说,这种结构还是不能获得真正的同步输入。

### 二、分散采集式(分布式)

分散采集式的特点是每一路信号都有一个 S/H 和 A/D,因而也不再需要模拟多路切换器 MUX。每一个 S/H 和 A/D 只对本路模拟信号进行数字转换,即数据采集,采集的数据按一定顺序或随机地输入计算机,如图 2-1-3 所示。

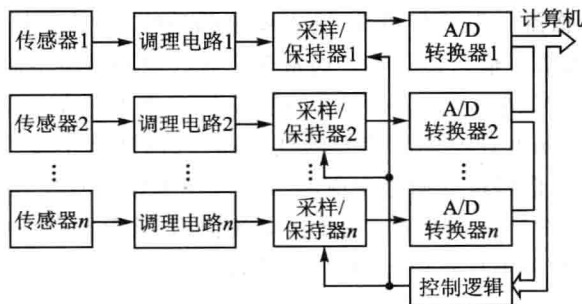


图 2-1-3 分散采集式模拟输入通道结构

图 2-1-2 与图 2-1-3 中的模拟多路切换器、采样保持器、A/D 转换器都是为实现模拟

信号数字化而设置的,它们共同组成“采集电路”,因此,图 2-1-2 和图 2-1-3 所示的多路模拟输入通道与图 2-1-1 所示单路模拟输入通道一样,都可认为是由传感器、调理电路、采集电路三部分组成。下面分别研究这三部分的选择和设计原则。

## 2.1.2 传感器的选用

传感器是信号输入通道的第一道环节,也是决定整个测试系统性能的关键环节之一。由于传感器技术的发展非常迅速,各种各样传感器应运而生,所以大多数测试系统设计者只需从现有传感器产品中正确地选用而不必自己另行研制传感器。要正确选用传感器,首先要明确所设计的测试系统需要什么样的传感器——系统对传感器的技术要求;其次是要了解现有传感器厂家有哪些可供选择的传感器,把同类产品的指标和价格进行对比,从中挑选合乎要求的性能价格比最高的传感器。

### 一、对传感器的主要技术要求

(1) 具有将被测量转换为后续电路可用电量的功能,转换范围与被测量实际变化范围(变化幅度范围、变化频率范围)相一致。

(2) 转换精度符合整个测试系统根据总精度要求而分配给传感器的精度指标(一般应优于系统精度的 10 倍左右),转换速度应符合整机要求。

(3) 能满足被测介质和使用环境的特殊要求,如耐高温、耐高压、防腐、抗振、防爆、抗电磁干扰、体积小、质量轻和不耗电或耗电少等。

(4) 能满足用户对可靠性和可维护性的要求。

以上要求是正确选用传感器的主要依据。

### 二、可供选用的传感器类型

对于一种被测量,常常有多种传感器可以测量,例如测量温度的传感器就有热电偶、热电阻、热敏电阻、半导体 PN 结、IC 温度传感器和光纤温度传感器等多种。可用于同一被测量的不同类型的传感器具有不同的特点和不同的价格。在都能满足测量范围、精度、速度、使用条件等情况下,应侧重考虑成本高低、相配电路是否简单等因素进行取舍,尽可能选择性能价格比高的传感器。

近年来,传感器厂家已生产出一些便于测控系统简化电路和提高性能的传感器。一般有以下几类:

(1) 大信号输出传感器 为了与 A/D 输入要求相适应,传感器厂家开始设计、制造一些专门与 A/D 相配套的大信号输出传感器。通常是把放大电路与传感器做成一体,使传感器能直接输出 0~5 V、0~10 V 或 0~2.5 V 要求的信号电压,把传感器与相应的变送器电路做成一体,构成能输出 4~20 mA 直流标准信号的变送器(我国还有不少变送器仍然以直流电流 0~10 mA 为输出信号)。信号输入通道中应尽可能选用大信号传感器或变送器,这样可以省去小信号放大环节,如图 2-1-4 所示。对于大电流输出,只要经过简单 I/V 转换即可变为大信号电压输出。对于大信号电压可以经 A/D 转换,也可以经 V/F 转换送入微机,但后者响应速度较慢。

(2) 数字式传感器 数字式传感器一般是由频率敏感效应器件构成,也可以是由敏感参数 R、L、C 构成的振荡器,或模拟电压输入经 V/F 转换等。因此,数字量传感器一般都是输出频率参量,具有测量精度高、抗干扰能力强、便于远距离传送等优点。此外,采用数字量传感器

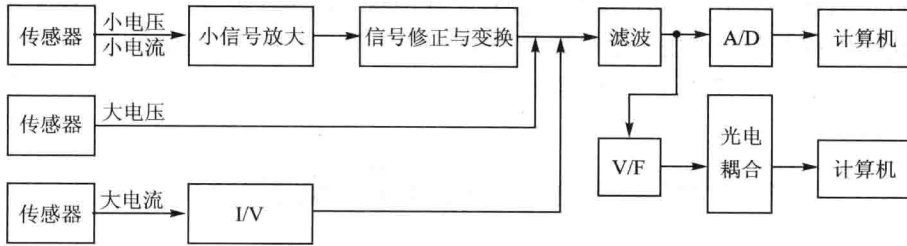


图 2-1-4 大信号输出传感器的使用

时,传感器输出如果满足 TTL 电平标准,则可直接接入计算机的 I/O 口或中断入口。如果传感器输出不是 TTL 电平,则须经电平转换或放大整形。一般进入单片机的 I/O 口或扩展 I/O 口时还要通过光电耦合隔离,如图 2-1-5 所示。

由图 2-1-5 可见,频率量及开关量输出的传感器还具有信号调理较为简单的优点。因此,在一些非快速测量中应尽可能选用频率量输出传感器(频率测量时,响应速度不如 A/D 转换快,故不适合快速测量)。

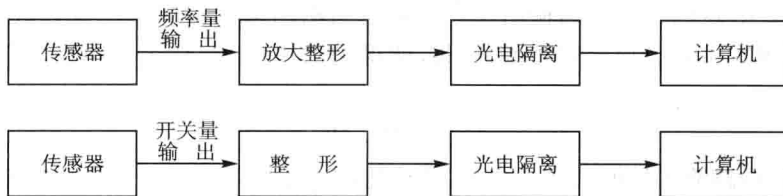


图 2-1-5 频率量及开关量输出传感器的使用

(3) 集成传感器 集成传感器是将传感器与信号调理电路制成一体。例如,将应变片、应变电桥、线性化处理、电桥放大等制成一体,构成集成压力传感器。采用集成传感器可以减轻输入通道的信号调理任务,简化通道结构。

(4) 光纤传感器 这种传感器其信号拾取、变换、传输都是通过光导纤维实现的,避免了电路系统的电磁干扰。在信号输入通道中采用光纤传感器可以从根本上解决由现场通过传感器引入的干扰。

除此之外,目前市售的各种测量仪表,其内部传感器及其测量电路配置较完善,一般都有大信号输出端,有的还有 BCD 码输出。但其售价远高于一个传感器的价格,故在小型测试系统中较少采用,在较大型的系统中使用较多。

对于一些特殊的测量需要或特殊的工作环境,目前还没有现成的传感器可供选用。一种解决办法是提出用户要求,找传感器厂家订做,但是批量小的价格一般都很昂贵;另一种办法是从现有传感器定型产品中选择一种作为基础,在该传感器前面设计一种敏感器或(和)在该传感器后面设计一种转换器,从而组合成满足特定测量需要的特制传感器。

### 2.1.3 信号调理电路的参数设计和选择

在一般测量系统中信号调理的任务较复杂,除了小信号放大、滤波外,还有诸如零点校正、线性化处理、温度补偿、误差修正和量程切换等,这些操作统称为信号调理(signal conditioning),相应的执行电路统称为信号调理电路。



在微机化测试系统中,许多原来依靠硬件实现的信号调理任务都可通过软件来实现,这样就大大简化了微机化测试系统中信号输入通道的结构。信号输入通道中的信号调理重点为小信号放大、信号滤波以及对频率信号的放大整形等。比较典型的信号调理电路组成如图 2-1-6 所示。

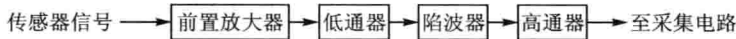


图 2-1-6 典型调理电路的组成框图

### 一、前置放大器

由图 2-1-4 可见,采用大信号输出传感器,可以省掉小信号放大器环节。但是多数传感器输出信号都比较小,必须选用前置放大器进行放大。那么判断传感器信号是“大”还是“小”和要不要进行放大的依据又是什么呢?放大器为什么要“前置”(即设置在调理电路的最前端)?能不能接在滤波器的后面呢?前置放大器的放大倍数应该多大为好呢?这些问题都是测控仪器或系统总体设计需要考虑的问题。

由于电路内部有这样或那样的噪声源存在,使得电路在没有信号输入时,输出端仍存在一定幅度的波动电压,这就是电路的输出噪声。把电路输出端测得的噪声有效值  $V_{ON}$  折算到该电路的输入端,即  $V_{ON}$  除以该电路的增益  $K$ ,就得到的电平值,称为该电路的等效输入噪声  $V_{IN}$ ,即

$$V_{IN} = V_{ON} / K \quad (2-1-1)$$

如果加在某电路输入端的信号幅度  $V_{IS}$  小到比该电路的等效输入噪声还要低,那么这个信号就会被电路的噪声所“淹没”。为了不使小信号被电路噪声所淹没,就必须在该电路前面加一级放大器——前置放大器,如图 2-1-7 所示。图中前置放大器的增益为  $K_0$ ,本身的等效输入噪声为  $V_{IN0}$ 。由于前置放大器的噪声与后级电路的噪声是互不相关的随机噪声,因此,图 2-1-7 所示电路总输出噪声为

$$V'_{ON} = \sqrt{(V_{IN0} K_0 K)^2 + (V_{IN} K)^2} \quad (2-1-2)$$

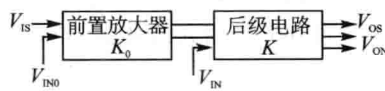


图 2-1-7 前置放大器的作用

总输出噪声折算到前置放大器输入端,即总的等效输入噪声为

$$V'_{IN} = \frac{V'_{ON}}{K_0 K} = \sqrt{V_{IN0}^2 + \left(\frac{V_{IN}}{K_0}\right)^2} \quad (2-1-3)$$

假定不设前置放大器时,输入信号刚好被电路噪声淹没,即  $V_{IS} = V_{IN}$ ,加入前置放大器后,为使输入信号  $V_{IS}$  不再被电路噪声淹没,即  $V_{IS} > V'_{IN}$ ,就必须使  $V'_{IN} < V_{IN}$ ,即

$$V_{IN} > \sqrt{V_{IN0}^2 + \left(\frac{V_{IN}}{K_0}\right)^2}$$

解上列不等式可得

$$V_{IN0} < V_{IN} \sqrt{1 - \frac{1}{K_0^2}} \quad (2-1-4)$$