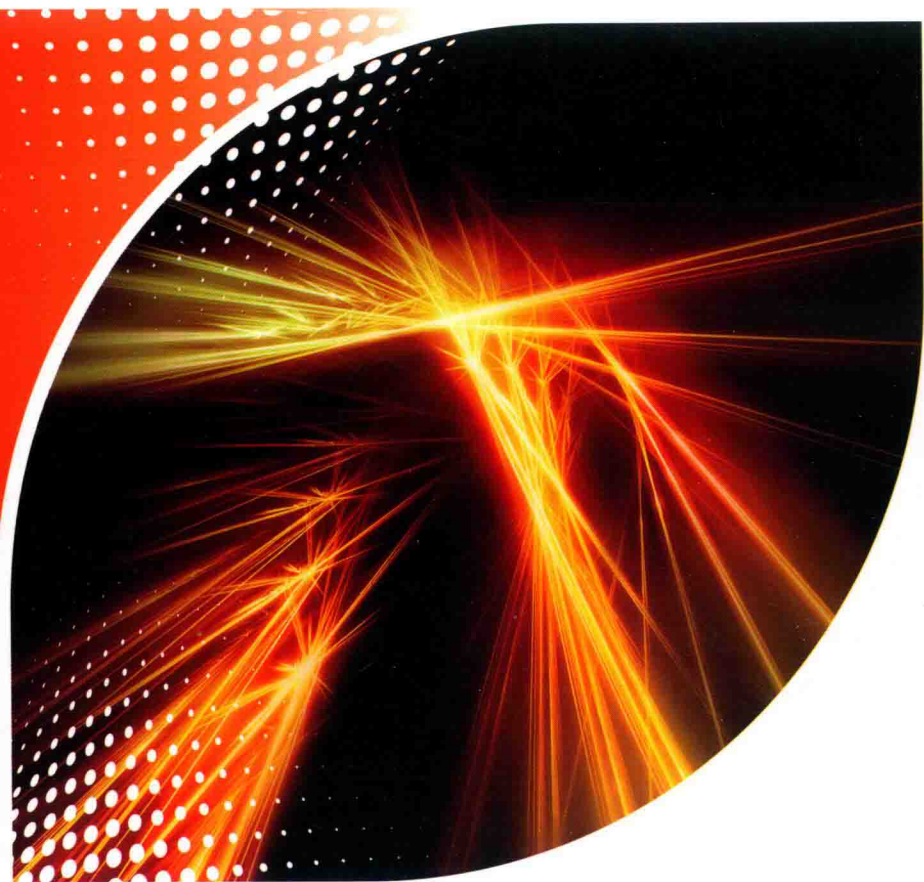




全国高等院校仪器仪表及自动化类“十三五”规划教材

测控电路 设计与应用 (第3版)

◎ 郝晓剑 主编



紧密结合大量应用实例，重点讲述测控电路的外部特性
提出较为前沿的系统级实用电路设计步骤和实现过程
提高读者测控系统电路设计的总体能力和工程估算能力

 中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

全国高等院校仪器仪表及自动化类“十三五”规划教材

测控电路设计与应用

(第3版)

郝晓剑 主 编

杜红棉 戴萧嫣 副主编

马游春 高丽珍 文 丰 张晓明 参 编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以测控电路设计为重点,较全面地介绍测控电路中典型单元电路的基本概念、原理、设计方法及应用实例等。重点讲述电路的外部特性,按照基本元器件级、电路级、系统级循序渐进的思路,提出系统级实用电路设计步骤和实现过程,使读者学会如何与传感器、计算机紧密结合,围绕“精、快、灵”和测控系统的要求来选用电路、设计电路、调试电路,提高读者的电路综合设计能力和创新能力。本书体系完整,概念清楚,理论联系实际,叙述浅显易懂,对测控电路设计有较强的指导和参考作用。

全书共12章,第1章介绍测控电路的组成、功用及设计方法;第2章介绍传感器的基本概念和典型传感器的接口电路;第3~8章以模拟电路、集成电路为重点,介绍测控电路的典型单元电路设计方法,包括信号的放大、滤波、运算、转换、调制解调和振荡电路;第9章介绍典型执行器件的驱动电路;第10章介绍电路设计中的抗干扰技术;第11章介绍测控电路与计算机接口电路及应用,第12章提供多种测控系统电路设计实例,以供读者借鉴。

本书可作为高等学校工科电子类专业的本科生和研究生提高模拟信号调节电路设计能力和工程应用能力的教材,也可供从事电子测量仪器设计、调试、制造的有关工程技术人员自学和参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

测控电路设计与应用/郝晓剑主编. —3版. —北京:电子工业出版社,2017.3
全国高等院校仪器仪表及自动化类“十三五”规划教材
ISBN 978-7-121-30715-7

I. ①测… II. ①郝… III. ①电气测量—控制电路—高等学校—教材 IV. ①TM930.111

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第314599号

责任编辑:郭穗娟

印刷:三河市华成印务有限公司

装订:三河市华成印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

开本:787×1092 1/16 印张:23.25 字数:610千字

版次:2007年6月第1版

2017年3月第3版

印次:2017年3月第1次印刷

定 价:54.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询方式:(010)88254502, guosj@phei.com.cn

前 言

测控电路是一个整机电路，本身就构成一个独立的电子电路系统（包括光、机、电、控制和计算机五部分），其源头传感器是一种检测装置，能感受到被测模拟量的信息，并能将感受到的信息，按一定规律变换成电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。如何根据科学技术的飞速发展，补充和更新本课程的教学内容，将测控电路的发展趋势及前沿技术融入教学内容，是测控领域高校教师和科技工作者义不容辞的责任。

本书从第1版到第2版已使用10年，编者在综合考虑国内外电子技术新的发展成果与趋势的基础上，编写了第3版，综合国内、外测控领域教材的优缺点，使测控系统设计总体思想和测控电路的分析、设计与应用紧密结合。本书注重电路的外部特性，与前期侧重内部特性的基础专业课后衔接，与同期专业课互相渗透，按照基本元器件级、电路级、系统级循序渐进的思路，结合编者在科研成果中采用的新器件、新技术、新软件，提出较为前沿的系统级实用电路设计步骤和实现过程，为提高学生的实践能力与创新能力提供电路分析、设计与应用平台，这样对于巩固所学知识，提高测控系统电路设计的总体能力和工程估算能力是有实用价值的。本书内容丰富，系统性强，深入浅出，难易结合，适用面广。

本书的绪论、第1、3、5、10章及12.1、12.2、12.4节由中北大学郝晓剑编写，第4、6章及12.3节由中北大学杜红棉编写，第7章由中北大学戴萧嫣编写，第2章由中北大学张晓明编写，第9章及12.5节由中北大学高丽珍编写，第8章由中北大学文丰编写，第11章由中北大学马游春编写，附录由郝晓剑和张晓明编写，郝晓剑负责统稿。

本书在编写过程中，参阅了相关文献，在此向这些文献的作者表示谢意。中北大学的潘德恒教授、周汉昌教授和祖静教授对本书的编写工作给予了帮助和支持，本书中应用了他们的科研成果，特向三位德高望重的老先生表示敬意和谢意。同时，要感谢电子工业出版社编辑郭穗娟及电子工业出版社工业技术分社其他编辑的辛勤工作和热情帮助。

尽管全体编者都尽心尽力，但终因水平有限，书中难免有不足或疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者
2017年1月

目 录

绪 论	1
第 1 章 测控电路概述	4
1.1 测控系统组成	4
1.2 测试系统设计要求	6
1.3 测控电路的功用及要求	8
1.3.1 测控电路的功能	8
1.3.2 测控电路的主要要求	9
1.3.3 测控电路的发展趋势	11
1.4 测控电路设计及优化	13
1.5 部件之间的连接与匹配	16
1.5.1 电器性能相互匹配问题	16
1.5.2 信号耦合方式和时序配合	18
思考与练习	19
第 2 章 传感器与接口电路	20
2.1 传感器技术基础	20
2.1.1 传感器的分类	20
2.1.2 传感器的主要技术特性指标	21
2.1.3 传感器的接口电路	25
2.1.4 传感器的选择	30
2.2 阻性传感器的接口电路	31
2.2.1 电压驱动方式	31
2.2.2 电流驱动方式	34
2.2.3 振荡器驱动方式	34
2.3 容性传感器的接口电路	35
2.4 电压输出型传感器的接口电路	36
2.5 电荷输出型传感器的接口电路	36
2.6 电流输出型传感器的接口电路	38
2.7 新型传感器的接口电路	38
2.7.1 ICP 传感器的接口电路	38
2.7.2 光纤传感器的接口电路	40
2.7.3 数字输出传感器的接口电路	40
思考与练习	41

第3章 集成运算放大器电路设计	42
3.1 运算放大器基本原理和主要性能指标	43
3.1.1 集成运算放大器基础	43
3.1.2 集成运算放大器的主要参数及分类	44
3.2 集成运放的分析方法	47
3.2.1 基本分析方法	47
3.2.2 典型电路设计	48
3.3 测量放大电路设计	58
3.3.1 低漂移直流放大器设计	58
3.3.2 高输入阻抗放大器和低输入阻抗放大器设计	61
3.3.3 仪表放大器	64
3.3.4 可编程增益放大电路	66
3.3.5 隔离放大电路	70
3.3.6 前置放大电路的设计	75
3.3.7 锁相放大电路的应用	77
本章附录: 电阻电容值的 E 系列值	80
思考与练习	80
第4章 信号的滤波	82
4.1 滤波器的基本知识	82
4.1.1 滤波器的分类	82
4.1.2 滤波器的主要特性指标	85
4.2 滤波器特性的逼近	86
4.2.1 巴特沃兹逼近	86
4.2.2 切比雪夫逼近	87
4.2.3 贝塞尔逼近	89
4.3 常用滤波电路结构	90
4.3.1 一阶滤波器电路	90
4.3.2 二阶滤波器电路	94
4.4 有源滤波器的设计	97
4.4.1 公式法	98
4.4.2 滤波器辅助设计软件	102
4.5 集成滤波器	106
4.5.1 开关电容滤波器	106
4.5.2 状态变量滤波器	107
4.6 滤波器设计实例: 冲击波超压测试系统抗混叠滤波器设计	107
4.6.1 被处理信号的分析	107
4.6.2 滤波器的设计	110
思考与练习	111
第5章 信号运算电路	112
5.1 差分运算电路	112
5.2 加法运算电路	113

5.3	减法运算电路	114
5.4	积分、微分运算电路	115
5.5	对数、反对数运算电路	117
5.6	模拟乘法器组成的运算电路	118
5.7	信号运算电路典型应用	124
5.8	集成运算放大器的应用技术	132
	思考与练习	134
第 6 章	信号转换电路	136
6.1	采样保持 (S/H) 电路	136
6.2	电压比较电路	141
6.2.1	过零比较器	141
6.2.2	单限比较器	142
6.2.3	滞回比较器	143
6.2.4	双限比较器	144
6.2.5	集成电压比较器	144
6.2.6	比较器的主要参数	145
6.3	电压频率转换电路	145
6.4	电压电流转换电路	148
6.5	波形变换	151
6.6	比较器应用实例: 电压比较器 LM339 的常用方法	152
	思考与练习	154
第 7 章	信号调制与解调电路	155
7.1	调制解调的功用与类型	155
7.2	调幅式测量电路	156
7.2.1	幅值调制与解调概念	156
7.2.2	调幅原理与方法	156
7.2.3	调幅波的解调	161
7.3	调频式测量电路	174
7.3.1	调频原理和方法	175
7.3.2	鉴频电路	176
7.4	相位调制与解调	181
7.4.1	相位调制	181
7.4.2	相位调制的解调	182
7.5	集成锁相环	183
7.6	脉冲宽度调制	187
	思考与练习	189
第 8 章	振荡电路与信号源	191
8.1	振荡电路的作用和分类	191
8.2	正弦波振荡电路的基本原理	192
8.2.1	RC 串并联电路的选频特性	193
8.2.2	文氏电桥振荡器	194

8.3	非正弦波振荡器的组成	195
8.4	晶体振荡器	197
8.5	集成波形发生器	200
	思考与练习	205
第9章	执行器件的驱动电路	206
9.1	继电器	206
9.2	直流电动机	212
9.3	无刷直流电动机	218
9.4	步进电动机	223
	思考与练习	232
第10章	测控电路的抗干扰措施	233
10.1	干扰源简介	233
10.1.1	干扰与噪声源	234
10.1.2	干扰与噪声的耦合方式	234
10.1.3	干扰与噪声抑制的一般措施	237
10.2	干扰抑制技术的基础知识	237
10.2.1	屏蔽技术	237
10.2.2	接地技术	239
10.2.3	隔离技术	241
10.2.4	布线技术	242
10.2.5	灭弧技术	243
10.2.6	其他抗干扰技术	244
10.3	电源干扰的抑制	244
10.3.1	电网干扰抑制技术	245
10.3.2	电源稳定净化技术	246
10.4	干扰抑制常用方法	250
	思考与练习	252
第11章	测控电路与计算机接口电路	254
11.1	串行通信接口	254
11.1.1	同步串行通信与异步串行通信的区别	254
11.1.2	UART 简介	255
11.1.3	UART 的基本特点	255
11.1.4	基于 FPGA 的 UART 接口电路	256
11.1.5	UART 接收发送模块 VHDL 编程实例	257
11.1.6	串行通信接口	262
11.2	PCI 总线	265
11.2.1	PCI 总线概述	265
11.2.2	PCI 内部结构及外围信号	265
11.2.3	基于 PCI9054 从模式的数据采集卡设计与应用	266
11.3	USB 接口	269
11.3.1	USB 接口简介	269

11.3.2	FT245BM 与 FPGA 的接口设计	269
11.3.3	基于 PL2303 的 USB 接口设计	272
11.3.4	基于 CY7C68013 的 USB 接口设计	274
11.4	Internet 接口	278
11.4.1	基本概念	278
11.4.2	目前常用的以太网接口芯片	278
11.4.3	DM9000A 与 FPGA 的接口	279
11.4.4	网络接口常用的调试工具	281
11.4.5	基于网络接口的光栅解调仪实例	281
11.4.6	UDP 与 ARP 数据包设计	282
	思考与练习	286
第 12 章	测控电路设计实例	287
12.1	瞬态高温测量及校准仪	287
12.1.1	蓝宝石光纤瞬态表面高温仪	287
12.1.2	瞬态表面温度动态校准仪	291
12.2	运动物体速度测试仪	295
12.2.1	创伤弹道研究专用激光测速靶	295
12.2.2	激光光幕原向反射触发信号源	301
12.2.3	定距测速法的应用探索	305
12.3	爆炸冲击波超压测试系统	312
12.3.1	测试方法	313
12.3.2	无线冲击波场超压测试系统原理	313
12.3.3	测试电路	314
12.3.4	测试结果	320
12.4	NDVI 测量仪	321
12.5	电子磁罗盘定向测试系统	323
附录	测控电路设计与应用实验	333
	参考文献	362

一、“测控电路设计与应用”课程的性质、任务及内容

电子电路课程已在大部分大专院校开设,教材与参考书种类繁多,应用领域也各异,但大多侧重于电子电路原理的分析和计算。市面上缺少一本既包含丰富的电子电路基础理论又包括大量应用实例研究的既面向本科生、研究生又面向非专业人员的教材或参考书。本书试图介绍一些典型标准器件和技术,以简化设计过程,通过测控系统中常用单元电路和系统电路的学习,使其熟悉如何运用电子技术解决实际工程中的检测、计量及控制任务。

在综合考虑电子技术新的发展成果与趋势的基础上,本书采用理论学习与实践相结合的思路,力求从测控系统总体设计角度出发,使读者对测控系统的总体设计、机械系统设计、电子系统设计和光电系统设计有一个概念性的认识,学会如何从设计任务出发进行测控系统的设计分析、计算与综合。本书重点不是分析测控电路的内部工作原理,而是研究其外部特性,所达到的指标、适用的场合,也就是说创造性地把所学过的电路和元器件进行组合以达到测控系统所规定的性能指标。

本书主要讲述测控电路的设计方法、测控系统的典型单元电路(以模拟电路和集成电路为重点)、电路中的抗干扰技术、测控系统设计实例(本书提供了如何将各种电路组合成完整测控系统的实例)。对基本而有用的测控电路,作了充分的说明,使读者了解测控电路的工作原理,但避免过多的数学推导和烦琐的专题论述。如果读者对某些特殊电路的详细内容感兴趣,可查阅专门教材或自己分析这些电路。在测控系统设计案例中,力求反映电子技术学科中的新思想、新技术、新工具、新手段,将最新的科研成果及学术界正在争辩的论题溶进教学内容中去,身体力行地站在创新的前沿去教导学生和开拓学生。从总体设计出发,用创新设计思想组织机、光、电、控制、计算机相结合的测控系统。例如,该书的10多个案例分析就是结合编者近年来取得的科研成果。

系统总体设计的能力不是通过纸上谈兵就可以培养的,需要广泛的实践经验才可以获得。鉴于各方面的原因,读者通过本书的学习,应重点掌握测控电路的分析、选择及设计方法,能自己动手设计、制作测控系统中常用的电子线路。本书所附实验部分包含单元电路设计,如信号运算电路设计、电桥放大电路设计、有源滤波电路设计、电压比较电路设计、振荡电路设计等,以及典型综合电路设计,如温度测量电路设计、光电报警电路设计、地磁场测量电路设计。

本书所阐明的问题,概念清楚,深入浅出,能引导读者正确掌握测控系统的设计思想和方法,并注意调试和结构方面的问题。如果读者没有学过电子技术,或者要对某些专题想作深入分析和计算,就需参阅有关专业书籍和文献。本书的意图是避免讲解过于详细而免除学生自己的大量练习,对于学生来说即使在学校环境下也能提供类似在工业环境中才会得到的经验,而这种经验被公认为对培养工程师是有价值的。

二、学习“测控电路设计与应用”课程的意义

凡具有电工、电子学和少量计算机基础的读者,均可领会本书全部内容。本书更适用于从事测控系统、电子仪器设计及调试的有关工程技术人员及学校师生。非电专业的学生通过本书的学习可以克服对电子产品设计的畏惧心理、加强应用电子技术的信心;电子类专业的学生会发现这是一本有价值的参考书,不仅可以从本书学到新的知识,巩固以前学过的内容,而且在应用新技术解决实际问题方面更上一层楼。从某种意义上说,单靠书本是学不会设计的,还要通过实践和借助实验室的工作经验。设计必须由学生亲自实践,书本只能以指南的形式提供设计的方法步骤、组成测控系统及仪器的标准元件的基本电路。

众所周知,电子技术在人类生活中占据的位置越来越重要,是其他新技术的助产士,如电子显微镜导致了新材料的诞生,无线电使航空、航天技术有了质的飞跃,精密电子测试仪器提高了测距、探伤的精度。因此,测控系统及仪器能对极大(宇宙空间)、极微(显微镜)、极远(无线电视)、极快(高速摄影)、极巨(计算机)高精度信息,具有检测、传递、存储、变换、计算、判断、过滤的能力。

电子电路设计的质量对产品性能的优劣和经济效益的高低具有举足轻重的作用。如果设计时所采用的方案和电路不好,选用的元器件太贵或筛选困难,往往会造成产品性能差、生产困难、成本高、销路不畅、经济效益低等,甚至不得不考虑重新设计,但那时也许错失良机,以致造成整个研制工作的失败。

例题: 试装一个 10 倍的同相放大器,误差不超过 1%。

如图 1 所示,可选用 LM318(GBW=15MHz),LF353(GBW=4MHz),LF741(GBW=1MHz),OP37(GBW=40MHz) 以及美信公司的 MAX475、476 和 AD 公司的 AD603 等集成运算放大器,根据 $G=1+R_f/R_1=10$,合理选择 R_f 和 R_1 即可。事实上,并没有那么简单,这毕竟是纸上谈兵。在设计一个仪器系统时,需要考虑高输入阻抗、低输出阻抗、不同增益、不同频带信号选用的器件是不同的,以及一些特殊要求,如高速时,对转换速率的要求。对于电压放大倍数,理想要求应有足够大的输入阻抗(但增加了电路的噪声),以减小从信号源索取的电流;采用足够小的输出电阻,以增强负载能力。另外,还要考虑是否能满足增益带宽积 GBW 的要求。

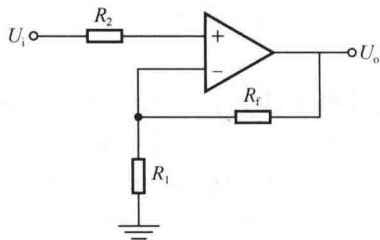


图 1 10 倍同相放大器设计

解法一: 由 $G=1+R_f/R_1=10$ 可得 $R_f=9R_1$, $R_2=R_1//R_f$

根据对电压放大倍数的精度要求,把误差分配在 R_f 和 R_1 中, R_f 和 R_1 应选用误差小于 0.5% 的精密金属膜电阻器, R_2 的精度要求低,可采用廉价的碳膜电阻器。当 $R_2=R_1//R_f$ 时,运放的偏置电流在其输入端所产生的附加电压为零。因此,为了减小直流漂移,应正确选择 R_2 的大小。

根据性能指标，从理论上可选用无穷多组值满足要求（实际上不能选第二、三组）。

一组 $R_1=2\text{k}\Omega$, $R_f=18\text{k}\Omega$, $R_2=1.8\text{k}\Omega$

二组 $R_1=2\Omega$, $R_f=18\Omega$, $R_2=1.8\Omega$

三组 $R_1=3\text{M}\Omega$, $R_f=27\text{M}\Omega$, $R_2=2.7\text{M}\Omega$

对于第二组，假如输入 $U_i=0.5\text{V}$ ，输出 $U_o=5\text{V}$ ，那么流过 R_f 的电流 $I_{R_f}=(5-0.5)/18=250\text{mA}$ 。

假如选用集成运放 LF741，通过查手册可知，这个电流值超过了 LF741 的最大输出电流（20~30mA），放大电路不能正常工作。对于第三组，阻值高达 27MΩ 的电阻器不仅不易生产，价格较贵，而且噪声大，稳定性差，精度低。对于第一组，首先，阻值数量级的选择符合要求，所选阻值在常用标称电阻值系列之内且阻值适中；其次，流过 R_f 的电流 $I_{R_f}=(5-0.5)/18\text{k}\Omega=0.5/2=250(\mu\text{A})$ 。这个电流值比 LF741 的最大输出电流（20~30mA）小得多，因此能正常工作。

解法二：可用分立元件如三极管、场效应管构成的放大电路去实现，但这样做无论从哪方面讲都不合适。

通过这道题可以看出，本课程和“电子技术”课程是不一样的，前者将大多数参数值作为已知量给出，一般只求一两个参数值，并且正确答案是唯一的；而后者设计时，除了对电路性能指标要求，通常没有其他已知参数，几乎全部由设计者自己选择计算，并且理论上满足要求的参数值通常不是唯一的，给设计者提供了选择的自由度，即可根据价格、体积和货源等具体情况灵活选择。在设计完成之后，需要对电路进行仿真、保证“纸上谈兵”的结果令人满意。进而调试电路，必然要用到测试仪器，如常用的信号发生器、示波器、直流稳压电源、毫伏表、万用表等，并用它来检测是否达到了所要求的性能指标。

第 1 章 测控电路概述

“测量”和“控制”是人类认识世界和改造世界的两项基本任务，而测控系统则是人类实现这两项任务的工具和手段。钱学森院士说：“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、通信技术三部分组成。测量技术则是关键和基础”。科学的发展、突破往往是以检测仪器和技术方法上的突破为先导的。测控系统在工作生产中起着把关者和指导者的作用，广泛应用于炼油、化工、冶金、电力、电子、轻工、纺织等行业。

1.1 测控系统组成

测控系统是既“测”又“控”的系统，是测量与控制系统的简称。依据被控对象、被控参数的检测结果，按照人们预期的目标对被控对象实施控制。广义地讲，单独的检测系统或单独的控制系统，也可以称为测控系统，因为检测与控制很难分开。

尽管测控系统的种类千变万化，其集成方式也各不相同，但是现代测控系统的基本构成大致相同，如图 1.1 所示。图中的部分模块属于可选配模块，最简单的测控系统只需传感器模块和执行器两部分组成。不同系统可以根据其功能和使用要求的不同进行配置，以达到最优的性能价格比和不失真测量。

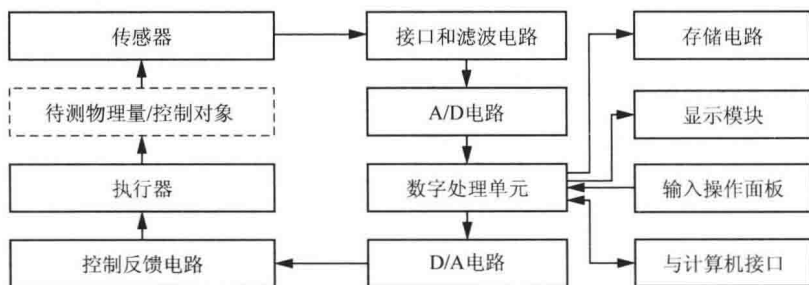


图 1.1 测控系统的组成

1. 传感器

传感器是任何一种非电量测试系统中必须配备的单元，也是测试系统中最为重要的单元之一。其主要功能是信号的获取，将非电量变成电信号或将不容易处理的电参量变成容易处理电信号的部件。例如压力传感器是将压力信号转换成电荷或电压信号，热电偶是将温度信号转换成电压信号。目前各种形式的传感器层出不穷，选好、用好传感器往往是决定测控仪器是否高质量工作的关键。

2. 信号调理电路

信号调理电路是十分重要的，包括接口（适配）、放大、整形、滤波、变换、隔离电路等。所谓信号调理是对信号进行加工，将包含有用信号和噪声干扰的微弱信号进行放大、限制带宽、整形、鉴幅等处理，以便从中提取出有用信息，使其能适合传输的需要，以便将信号送至终端进行显示、测量、控制和计算机运算等。

尽管现代数字化技术已经把信号处理变得十分简单，但无论从系统成本、连续信号的运输速度、系统复杂程度还是从实现技术的方便性等方面考虑，模拟信号调理电路在仪器技术中都一直占有较为重要的位置。

3. A/D 电路

信息数字化单元，将模拟信号数字化，以便后续信号处理电路对传感器获取的信号进行处理。复杂仪器同时包含多种不同类型的传感器或多个同类型的传感器，分别用于待测对象的不同状态量或不同部位状态的检测，多个传感器的信号经过数字化以后将汇集到系统中央处理器进行分析和综合，最终得出系统的测量结果。例如导弹姿态角测试系统需要 3 个加速度传感器和 3 个磁传感器来完成，系统的组成如图 1.2 所示。

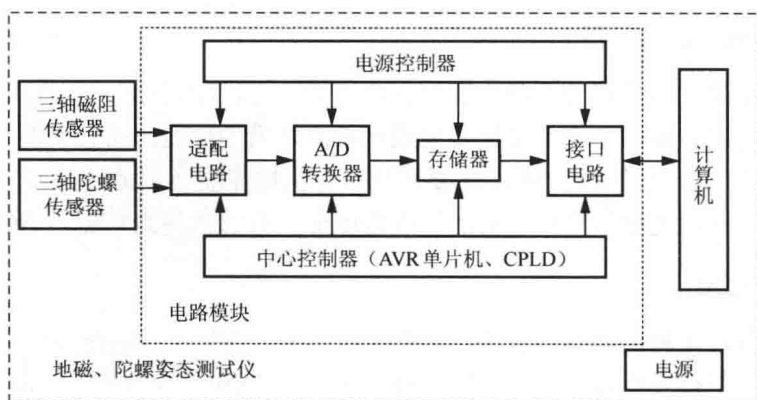


图 1.2 姿态角测试系统的组成框图

4. 数字单元

一般由单片机、ARM、CPLD/FPGA、DSP 等高性能运算处理器构成，其复杂程度完全取决于系统的功能要求和使用要求。

单片机是一种集成电路芯片，是采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的中央处理器 CPU 随机存储器 RAM、只读存储器 ROM、多种 I/O 接口和中断系统、定时器/计时器等功能（可能还包括显示驱动电路、脉宽调制电路、模拟多路转换器、A/D 转换器等电路）集成到一块硅片上构成的一个小而完善的计算机系统。ARM 是一种嵌入式芯片，比单片机功能强，可以根据需要增加外设，类似于通用 CPU，但是不包括桌面计算机。DSP 主要用来计算，计算功能很强大，一般嵌入式芯片用来控制，而 DSP 用来计算。譬如一般手机有一个 ARM 芯片，主要用来运行界面、应用程序。DSP 可能有两个或一个，主要是加密解密，调制解调等。FPGA 和 CPLD 都是可编程逻辑器件，都可以用 VHDL 或 Verilog HDL 来编程。两者是可编程 ASIC 器件，有很多共同点，但由于 CPLD 和 FPGA 结构上的差异，具有各自的特点：CPLD

更适合完成各种算法和组合逻辑, FPGA 更适合于完成时序逻辑。换句话说, FPGA 更适合于触发器丰富的结构, 而 CPLD 更适合于触发器有限而乘积项丰富的结构。

5. D/A 电路

ADC 和 DAC 是沟通模拟电路和数字电路的桥梁, 也可称之为两者之间的接口。DAC 的基本原理是把数字量的每一位按照权重转换成相应的模拟分量, 然后根据叠加定理将每一位对应的模拟分量相加, 输出相应的电流或电压, 如图 1.3 所示。DAC 的分类根据 DAC 内部结构不同分为权电阻网络型和“T”形电阻网络型, 根据输出结构分为电压输出型(如 TLC5620)和电流输出型(如 DAC0832); 根据接口方式分为并行接口 DAC(如 DAC0832、DAC0808)和串行接口 DAC(TLC5615 等)。

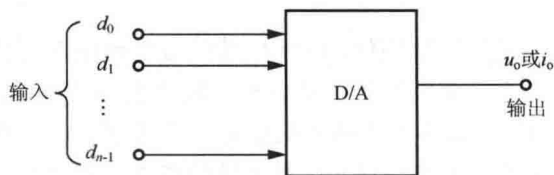


图 1.3 D/A 转换原理

6. 反馈控制电路、执行器

控制电路大都是利用反馈的原理实现对自身的调节与控制, 因此统称为反馈控制电路。部分测控系统尤其是工业测试系统不仅需要完成对被测对象的检测, 而且需要对其进行控制。

由传感器传来的信号经过处理后, 还要送到执行机构才能达到最终的目的。执行机构的形式千变万化, 有的体现为机械动作, 有的体现为图形, 有的体现为灯光明暗等。

7. 通信接口电路

将系统的测量结果输出到其他设备, 或从其他设备接收所需的测控指令。常用的通信接口电路主要包括同步串行通信接口、异步串行通信接口、CAN 总线技术、USB 总线技术、虚拟仪器总线技术、Internet、1394 总线技术等。

8. 显示和操作面板

属于系统的人机接口单元, 其目的在于为系统使用者提供必要的人机接口界面。

1.2 测试系统设计要求

对于测控系统的研制来说, 涉及许多方面的知识, 既要涉及众多理论知识(设计原理方法), 还要涉及许多实际知识与技能(安装、调试与测量技术)。经过测试领域科技工作者的几十年努力, 总结出一些测控系统设计很重要的设计要求, 按照这些要求去设计测控系统, 则容易获得成功。

1. 精度要求

为表征一套测控系统的性能和达到的水平, 应有一些精度指标要求, 如静态测量的示值误

差、重复性误差、复现性、稳定性、回程误差、灵敏度、灵敏阈、线性度等；动态测量的稳态响应误差、瞬态响应误差等。这些精度指标不是每一套测控系统都必须全部满足的，而是根据不同的测量对象和要求，选用最能反映该系统精度的一些指标组合来表示。

图 1.4 为项目组研制的汽车碰撞记录仪，应用于汽车零部件，如汽车座椅、安全带、安全气囊、模拟乘员、方向盘等在碰撞过程中的动态测试。其动态测量的稳态响应误差为其精度的主要指标。



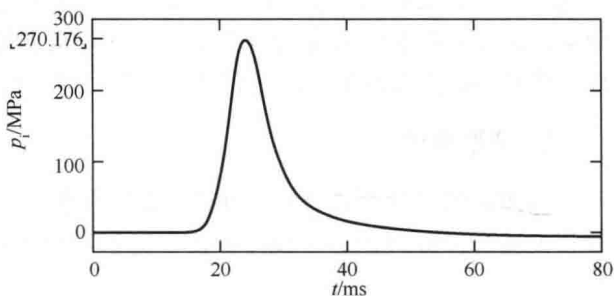
图 1.4 汽车碰撞记录仪

2. 检测效率要求

一般情况下测控系统的检测效率应与生产效率相适应。在自动化生产情况下，检测效率应适合生产线节拍的要求。提高检测效率不仅有经济上的效益，有时对提高检测精度也有一定作用，因为缩短了测量时间可减少环境变化对测量的影响。同时还可以节省人力，消除人的主观误差，提高测量的可靠性。图 1.5 为项目组研制的放入式电子测压器，将其放入火炮膛内可测得 $p-t$ 曲线，而对传统的铜柱铜环测压，只能通过人工测量铜柱铜球直径变化而获得膛压的最大值。这对于火炮、弹药及引信的研制检验更具有重要的意义。现已制定了国军标《放入式电子测压器规范》，军标号 GJB 2870—1997。



(a) 测压器



(b) 测试曲线

图 1.5 放入式电子测压器

3. 可靠性要求

一台测量仪器或一套自动测量系统，无论在原理上如何先进，在功能上如何全面，在精度上如何高，若可靠性差，故障频繁，不能长时间稳定工作，则该仪器或系统就无使用价值。因此对仪器的可靠性要求是十分必要的。可靠性要求，就是要求设备在一定时间、一定条件下不出故障地发挥其功能的概率要高。可靠性要求可由可靠性设计来保证。在军工系统中测试系统的可靠性是首位的。图 1.6 所示为项目组研制的某航弹测试系统所测航弹从脱离飞机到落地过程的加速度信号，第一峰为子弹出母弹时的加速度信号，第二峰为子弹降落伞张开时的过载信号，第三峰为航弹落地的过载信号。每次试验的用费达百万，因此，测试系统每次必须可靠性地获取数据。

4. 经济性要求

测控仪器设计时应采用各种先进技术，以获得最佳经济效果。盲目追求复杂、高级的方案，

不仅会造成系统成本的急剧增加,有时甚至无法实现。因此设计时应尽量选择最经济的方案,即技术先进、零部件少、工艺简单、成本低、可靠性高、装调方便、维修方便,这样在市场上才有竞争力。同时还要考虑系统的功能,具有较好的功能与产品成本比,即价值系数高。

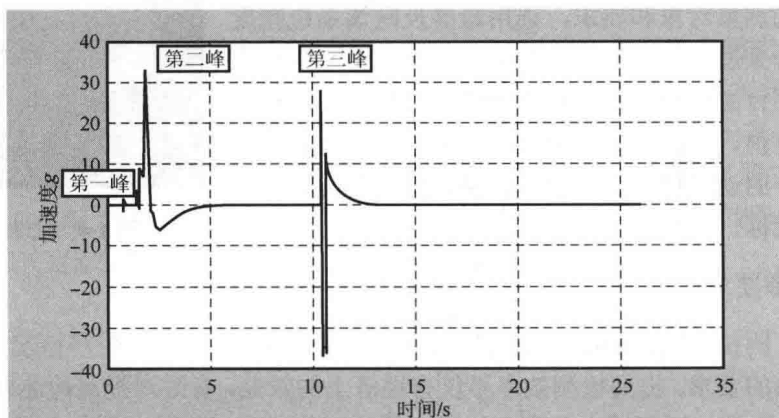


图 1.6 航弹开伞及落地加速度曲线

5. 使用条件要求

使用条件不同,系统的设计也不同。如在室外使用的测控仪器应适应宽范围的温度、湿度变化,以及抗振和耐烟雾;在车间使用时除了考虑防震,电磁干扰尤其是强电设备启动的干扰应重点防范;在易燃易爆场合下工作的测控仪器则要求防爆和阻燃;在线测量与离线测量,连续工作与间歇工作等条件都有不同,在设计测控仪器时应慎重考虑,以满足不同使用条件的要求。

6. 造型要求

测控仪器的外观设计极为重要,优美的造型、柔和的色泽是人们选择产品的考虑因素之一,有利于销售,同时也会使操作者加倍爱护和保养仪器,延长使用寿命,提高工作效率。

1.3 测控电路的功用及要求

1.3.1 测控电路的功能

从电子管、晶体管、到小规模集成电路,再到现代的大规模集成电路作为测控电路的核心,其理论已基本成熟,没有特别显著的变化。即使从 20 世纪 80 年代,已经开始应用微处理器作为现代测控系统的核心,但也仅是把 A/D 转换电路作为信号调理的一个环节和运用微处理器实现程控放大等一些低级的“智能”而已。

测控系统的精度高、使用方便和易于自动化在很大程度上都是通过测控电路实现的。

1. 精度高

精度高主要由于以下几方面:

(1) 易于实现高倍率的放大。通过多级放大电路级联,电路的放大倍数可以做到几万倍,几十万倍。而一般光学和机械放大倍数不易做得很大。从而提高了仪器的分辨率,减小了读数