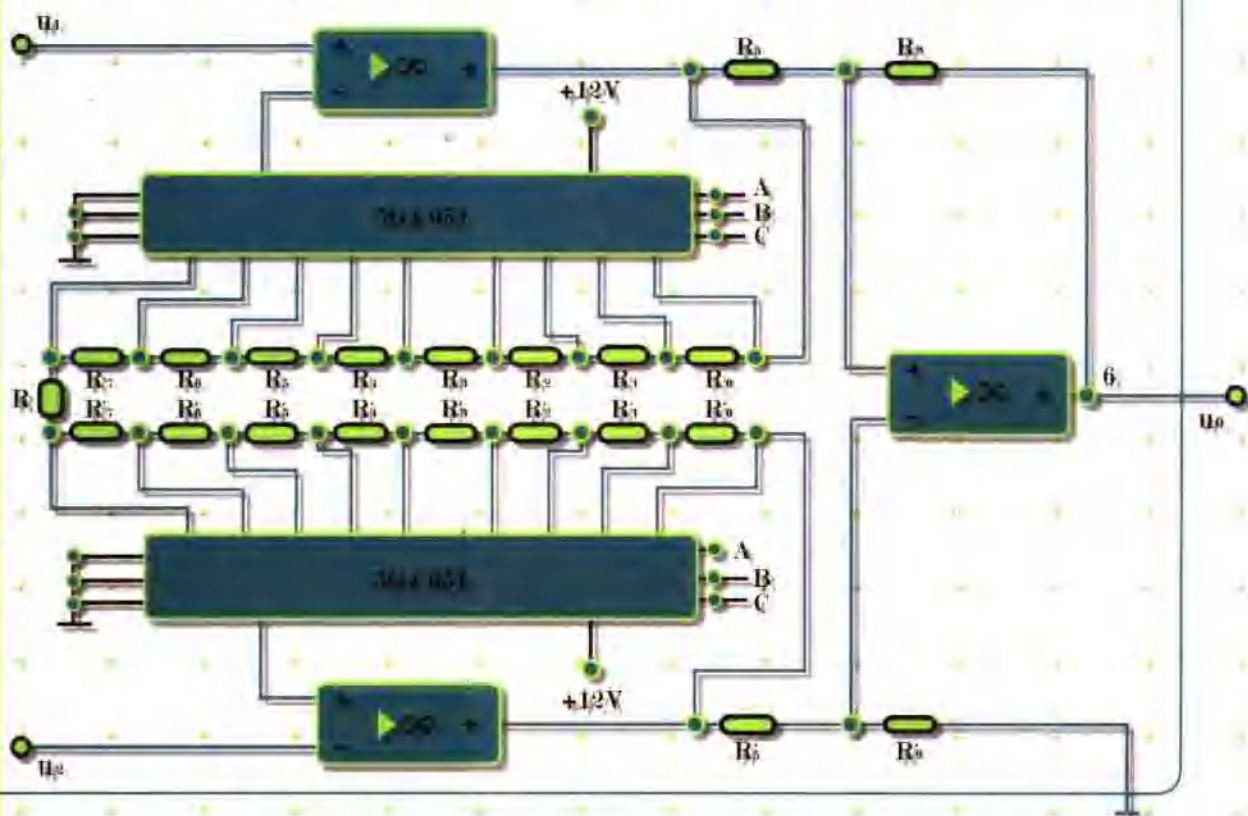


仪器电路 设计与应用

● 郝晓剑 杨述平 张连红 等编著



仪器电路设计与应用

郝晓剑 杨述平 张连红 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以仪器总体设计思想和方法为导航,以电路设计为重点,较全面地介绍了在仪器设计中所涉及的典型单元电路的基本概念、原理、设计方法,以及应用范例等。本书是作者在总结十余年教学经验和科研成果的基础上撰写而成的。全书内容丰富,概念清楚,涉及面广,理论联系实际,对电子仪器电路设计有一定的指导和参考作用。

全书共分10章,第1章介绍电子仪器的设计方法;第2章介绍半导体分立器件的特性;第3~7章介绍电子仪器的典型单元电路设计方法(以模拟电路、集成电路为重点);第8章介绍电路设计中的抗干扰技术;第9章介绍实现信号执行的各种机构,配合应用;第10章提供十余种仪器工程设计实例,以供读者借鉴。

本书可作为高等学校工科各专业的本科生和研究生提高应用电子技术能力的教材,也可供从事电子仪器设计、调试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

仪器电路设计与应用 / 郝晓剑, 杨述平, 张连红等编著. —北京: 电子工业出版社, 2007. 6
ISBN 978-7-121-04509-7

I. 仪… II. ①郝… ②杨… ③张… III. 电子电路—电路设计—高等学校—教材 IV. TN710.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第075824号

责任编辑: 夏平飞 康霞 特约编辑: 孙志明

印 刷: 北京民族印刷厂

装 订: 北京鼎盛东极装订有限公司

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: 18.25 字数: 460千字

印 次: 2007年6月第1次印刷

印 数: 5000册 定价: 28.00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。

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。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

目前,关于电子仪器的国内外书籍种类繁多,但是其内容体系相差较大,并大致可以分为两大类型:通用电子仪器原理及应用和电子线路书籍。前者主要聚焦在大专院校、科研单位和厂矿企业中,这些单位所常用的电子仪器书籍,以实际商品化仪器的机型分析为主,着重分析整机线路的工作原理等,具有较强的通用性,但图书内容比较陈旧;后者则主要聚焦在介绍常用的单元电路,对于一些明显落后、没有多少启发和创新价值但不会有损图书系统性的内容也编入其中。当前,在电子类专业的教学中,普遍有一种呼声,要求增设电子线路系统课,这是继学完低频电路、数字电路和高频电路后的一门综合性强的课程,以克服前述书籍只讲授单元电路之不足。电子仪器是一个整机电路,本身就构成一个独立的电子线路系统(包括光、机、电和计算机四部分)。据此,在综合考虑电子技术新的发展成果与趋势的基础上,采用理论学习与实践相结合的思路,使仪器设计总体思想和电子线路紧密结合,成为电子线路的延伸和“课尾”。这样对于巩固所学知识,提高电子仪器设计的总体能力和工程估算能力是有实用价值的,与此同时,结合科研成果中采用的新器件、新技术、新工艺则能开拓思路,具有借鉴的价值。

本书在编写过程中,参阅了很多文献,在此向这些文献的作者表示谢意。中北大学的潘德恒教授和周汉昌教授对本书的编写工作给予了大力帮助和支持,本书中应用了他们的科研成果,特向他们表示敬意和谢意。李仰军教授审阅了部分书稿,提出许多建设性意见,特此致谢。潘保武博士为本书的编写付出了辛勤的劳动,在此一并表示感谢。

本书第1、3、10章由中北大学郝晓剑博士编写,第2、4、6章由中北大学杨述平博士编写,第8、9章由中国北车集团太原机车车辆厂张连红高工编写,第5章和附录由中北大学郝丽娜硕士编写,第7章由中北大学郭华玲硕士编写,郝晓剑负责统编全稿。

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

编 者
2007年3月

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

绪论	(1)
第 1 章 电子仪器的设计方法	(4)
1.1 电子仪器的组成	(4)
1.1.1 电子仪器的组成	(4)
1.1.2 电子仪器的设计要求和设计程序	(6)
1.2 电路设计及优化	(8)
1.2.1 概述	(8)
1.2.2 电路设计准则	(11)
1.2.3 电路设计及优化	(12)
1.3 部件之间的连接与匹配	(15)
1.3.1 电器性能相互匹配问题	(15)
1.3.2 信号耦合方式和时序配合	(17)
思考与练习	(17)
第 2 章 分立器件的特性	(18)
2.1 特殊用途的二极管	(18)
2.1.1 半导体分立器件的分类	(18)
2.1.2 普通二极管	(20)
2.1.3 特殊二极管	(23)
2.2 半导体三极管	(26)
2.2.1 原理、符号、特性	(26)
2.2.2 主要参数	(27)
2.3 场效应管	(28)
2.3.1 原理、符号、特性	(28)
2.3.2 主要参数	(29)
2.3.3 场效应管与半导体三极管的特点比较及使用注意事项	(30)
2.4 可控硅及双向可控硅	(30)
2.4.1 原理、符号、特性	(30)
2.4.2 主要参数	(32)
2.4.3 可控硅的特点	(32)
思考与练习	(33)
第 3 章 运放的特性及各种连接	(35)
3.1 运算放大器的性能指标	(35)
3.1.1 集成运放基础	(35)
3.1.2 集成运放的电压传输特性及主要参数	(39)

3.1.3	集成运算放大器的分析重点	(42)
3.2	用集成运放设计放大器的方法	(43)
3.2.1	基本反相放大器的设计	(43)
3.2.2	基本同相放大器的设计	(49)
3.2.3	多级交流放大器的设计	(51)
3.3	信号运算电路	(54)
3.3.1	集成运放在模拟运算中的应用	(54)
3.3.2	集成运放在信号测量中的应用	(67)
3.3.3	集成运放应用技术	(76)
3.4	测量放大电路	(77)
3.4.1	低漂移直流放大器设计	(77)
3.4.2	高输入阻抗放大器和低输入阻抗放大器设计	(83)
3.4.3	仪用放大器	(87)
3.4.4	可编程增益放大器	(90)
3.4.5	隔离放大电路	(95)
	思考与练习	(98)
第4章	信号滤波电路	(101)
4.1	滤波器的基本知识	(101)
4.1.1	滤波器的分类	(101)
4.1.2	模拟滤波器的频率特性	(103)
4.1.3	滤波器的主要特性指标	(103)
4.1.4	二阶滤波器	(104)
4.1.5	契比雪夫及其他有源滤波器	(105)
4.2	有源滤波器的分析	(106)
4.2.1	有源一阶高通、低通滤波器	(106)
4.2.2	有源高通、低通、带通和带阻滤波器	(111)
4.3	有源滤波器的设计	(118)
4.4	数字滤波器简介	(121)
4.4.1	数字滤波器的概念 (Digital Filter——DF)	(121)
4.4.2	数字滤波器的工作原理	(122)
4.4.3	数字滤波器的实现	(122)
4.4.4	数字滤波器的分类	(123)
4.4.5	数字滤波器实现结构的意义	(125)
	思考与练习	(125)
第5章	信号转换电路	(127)
5.1	采样/保持 (S/H) 电路	(127)
5.2	电压比较电路	(132)
5.3	电压/频率转换 V/F 电路	(135)
5.3.1	通用运放 V/F 转换电路	(135)

5.3.2	F/V 转换器	(137)
5.3.3	集成 V/F 转换器	(138)
5.4	电压/电流转换电路	(138)
5.4.1	I/V 转换器	(138)
5.4.2	V/I 转换器	(139)
5.5	波形变换电路	(141)
5.5.1	三角波/正弦波变换	(141)
5.5.2	三角波或正弦波/方波变换	(141)
5.5.3	方波/三角波或正弦波变换	(141)
	思考与练习	(141)
第 6 章	信号调制与解调电路	(143)
6.1	调制解调的功用与类型	(143)
6.2	调幅式测量电路	(144)
6.2.1	幅值调制与解调概念	(144)
6.2.2	调幅原理和方法	(144)
6.2.3	调幅波的解调	(148)
6.3	调频式测量电路	(159)
6.3.1	调频原理与方法	(159)
6.3.2	鉴频电路	(161)
6.4	集成锁相环	(166)
	思考与练习	(171)
第 7 章	振荡器与信号源	(173)
7.1	振荡电路的作用和分类	(173)
7.2	正弦波振荡电路的基本原理	(174)
7.2.1	RC 串并联电路的选频特性	(175)
7.2.2	文氏电桥振荡器	(176)
7.3	非正弦波振荡器的组成	(177)
7.3.1	由集成运放组成的矩形波发生器	(178)
7.3.2	三角波和锯齿波发生器	(179)
7.4	集成波形发生器	(179)
7.4.1	集成函数发生器 5G8038	(179)
7.4.2	集成压控振荡器 LM566	(180)
7.4.3	555 集成定时电路组成的波形发生器	(181)
	思考与练习	(182)
第 8 章	电子测试仪器仪表的抗干扰措施	(183)
8.1	干扰源简介	(183)
8.1.1	干扰与噪声源	(184)
8.1.2	干扰与噪声的耦合方式	(184)

8.1.3	抑制干扰与噪声的一般措施	(187)
8.2	干扰抑制技术的基础知识	(187)
8.2.1	屏蔽技术	(187)
8.2.2	接地技术	(189)
8.2.3	隔离技术	(192)
8.2.4	布线技术	(192)
8.2.5	灭弧技术	(194)
8.2.6	其他抗干扰技术	(194)
8.3	电源干扰的抑制	(195)
8.3.1	电网干扰抑制技术	(196)
8.3.2	电源稳定净化技术	(196)
	思考与练习	(201)
第9章	信号的执行	(202)
9.1	继电器	(202)
9.1.1	电磁继电器	(202)
9.1.2	干簧继电器	(203)
9.1.3	固态继电器	(203)
9.2	电动机	(204)
9.2.1	线绕式直流电动机	(204)
9.2.2	永磁式电动机	(204)
9.2.3	步进电机	(204)
9.2.4	感应电机	(206)
9.3	数字式显示电路	(206)
9.3.1	辉光数码管	(207)
9.3.2	荧光数码管	(207)
9.3.3	LED 数码管	(208)
9.3.4	LCD 显示器	(212)
9.3.5	DVM 显示器	(214)
9.3.6	CRT 显示器	(215)
9.3.7	数字存储示波器	(218)
	思考与练习	(218)
第10章	电子仪器设计	(220)
10.1	瞬态高温测量及校准仪	(220)
10.1.1	蓝宝石光纤瞬态表面高温仪	(220)
10.1.2	瞬态表面温度动态校准仪	(225)
10.2	运动物体速度测试仪	(228)
10.2.1	创伤弹道研究专用激光测速靶	(229)
10.2.2	激光光幕原向反射触发信号源	(234)
10.2.3	定距测速法的应用探索	(238)

10.3 其他电子测量仪器.....	(246)
10.3.1 NDVI 测量仪.....	(246)
10.3.2 电力机车弓网接触系统故障实时监测仪.....	(248)
附录 A 仪器电子线路设计课程实验.....	(252)
附录 B 电阻电容值的 E 系列值.....	(279)
参考文献.....	(280)

第 1 章

电子仪器的设计方法

电子仪器的设计主要是创造性地把已被验证过的各种电路和元器件进行组合,以达到所规定的性能指标。在选择和连接各单元电路时必须满足技术要求。书本虽然不会教给人们这种独创能力,但却讨论了设计过程中所需的电路和器件,而且还提供了一些实例。从某种意义上说,单靠书本是学不会设计的,设计还要依靠实践和工作经验,实践是最好的老师。

1.1 电子仪器的组成

1.1.1 电子仪器的组成

电子仪器的主要用途是对物理参数进行测量和显示。一台典型仪器主要由传感器、信号调理电路和执行机构三部分组成,如图 1.1 所示。传感器是敏感元件,它的作用是探测被测量的变化,它可测量的电参数是被测量的函数,且通常是线性函数。但是,传感器的输出信号一般很微弱,波形也可能失真或不满足要求,还可能伴随着各种噪声,需要用信号调理电路将它放大,剔除噪声,选取有用信号,按照电子仪器功能的要求,进行所需演算、处理与转换,输出能控制执行机构动作的信号。在整个仪器中,电路是最灵活的部分,它具有便于放大、便于转换、便于传输、便于适应各种使用要求的特点。除了上述这几部分外,仪器还需要电源,电源通常都采用标准化电路。

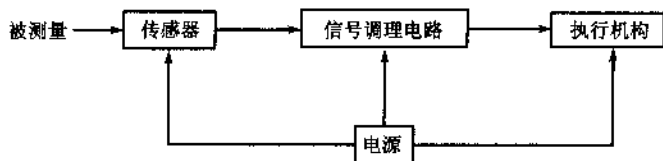


图 1.1 电子仪器的组成

- **传感器**: 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

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，而且可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，书本只能以指南的形式提供设计的方法步骤及组成电子仪器标准元件的基本电路，设计有赖于实践。

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，电子仪器能对极大（宇宙空间）、极微（显微镜）、极远（无线电视）、极快（高速摄影）、楼巨（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、经济效益低等不良后果，甚至不得不重新设计，这样可能错失良机，以致造成整个研制工作的失败。

例：设计一个 10 倍的同相放大器，误差不超过 1%。

如可选用 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。如图 0.1 所示，根据 $A_u=1+R_f/R_1=10$ ，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。在设计一个仪器电路时，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，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；足够小的输出阻抗，以增强带负载能力。另外是否能满足增益带宽积 GBW 的要求。

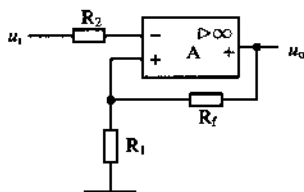


图 0.1 10 倍同相放大器设计

方案 I：由 $A_u=1+R_f/R_1=10$ 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， 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 $R_1=2k\Omega$, $R_f=18k\Omega$, $R_2=1.8k\Omega$

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

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

对于第二组，假如输入 $u_i=0.5V$ ，输出 $u_o=5V$ ，流过 R_f 的电流 $I_{Rf}=(5-0.5)/18=250mA$ 。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 $I_{Rf} = (5-0.5)/18 \times 10^3 = 250 \mu\text{A}$ ，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。

方案 II：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理想。

通过这个实例，可以看出，这和“电子技术”课是不一样的，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，且正确答案唯一；而后者设计时，除了对电路性能指标要求外，通常没有其他已知参数，几乎全部由设计者自己选择计算，而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，需要对电路进行调试，必然要用到测试仪器，如常用的信号发生器、示波器、万用表等，用测试仪器来检测设计是否达到了所要求的性能指标。

绪 论

一、《仪器电路设计与应用》课程的性质、任务及内容

电子线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,但大多侧重于电子线路原理的分析和计算,缺少一本既包含丰富的电子线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。本书试图介绍一些典型标准器件和技术,以简化设计过程,通过仪器常用单元电路和系统电路的学习,使其熟悉怎样运用电子技术、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,力求从总体设计角度出发,对电子仪器的总体设计、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,使读者学会如何从设计任务出发进行电子仪器的设计分析、计算与综合。重点不是分析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,即创造性地把所学过的电路和元器件进行组合以达到所规定的性能指标。

本书主要讲述电子仪器的设计方法、分立器件的特性、电子仪器的典型单元电路(以模拟电路和集成电路为重点)、电路中的抗干扰技术、电子仪器设计实例(本书提供了如何将各种电路组合成完整仪器的实例)。对比较基本而有用的电路,做了充分的说明,使读者了解电路的工作原理。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。在电子仪器设计举例中,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融进教学内容中去,身体力行地站在创新的前沿去教导读者和开拓读者。从总体设计出发,用创新设计思想组织机、光、电、计算机相结合的电子仪器。如该书的十余个例题分析就是结合作者近年来取得的科研成果做支撑反映到本书中。

仪器总体设计的能力不是通过纸上谈兵可以培养的,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,应重点掌握电子电路的分析、选择及设计方法,能自己动手设计、制作测试中常用的电子线路。实验环节包括:运算放大器设计、非线性放大器设计、光耦合放大器设计、有源滤波器设计、振荡器设计、电源设计及光电报警器设计等。

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电子仪器的设计思想和方法,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,或者对某些专题想做深入分析和计算,则需参阅有关专业书籍和文献。本书意图是避免讲解过于详细而免除学生自己的大量练习,对于读者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《仪器电路设计与应用》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。本书更适用于从事电子仪器设计、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缩心理、增强应用电子技术的信心;电子类专业的学生

电信号的部件，特别是对于信号的电压和频率，可以很容易地进行精确测量。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仪器是否高质量工作的关键。

- **信号调理电路**：包括放大、整形、滤波、变换、隔离等，其目的是对信号进行加工，使其能适合传输的需要。电路是仪器中的重要组成部分，它担负着信息的传递和控制任务。特别是20世纪70年代以后，随着微电子技术和计算机技术的飞速发展，传统的测量技术和控制技术不仅在量的方面，而且在质的方面都发生了根本性的变化。随着机电一体化和测控一体化的不断进步，仪器正向着智能化、多功能和高度集成的方向发展。新原理、新技术、新产品的不断出现，使得仪器电路的内容更加丰富、更新速度也更迅速。

一般情况下，一个完整仪器的信号调理电路由测量电路（信息输入通道）、中央处理系统（信息处理单元）、控制电路（信息输出通道）三大部分组成，如图1.2所示。

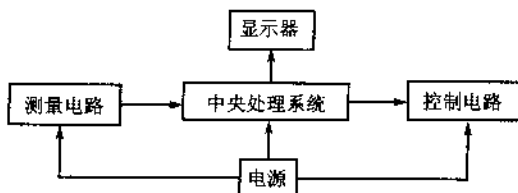


图 1.2 信号调理电路的组成

1. 测量电路

测量电路是信息流的输入通道，它主要由信息处理电路和电源组成，其作用是将传感器输出的测量信号进行放大、滤波、细分、选通、变换和阻抗匹配等。只有经过测量电路系统的放大、滤波、细分、选通、变换和阻抗匹配等处理，才能将传感器输出的有用信号、无用信号及代表不同信息的各种信号分开，将微弱信号放大，鉴别被测信号的微小变化，将模拟信号转换成数字信号，以便中央系统处理。例如，各种放大电路、调制解调电路、滤波电路、阻抗变换电路、电平转换电路、模/数转换（A/D）电路、频率-电压转换电路、傅里叶变换电路、量程自动切换电路、非线性补偿电路等。

2. 控制电路

控制电路一般是信息流的输出通道，它主要由控制电路、驱动电路等组成，其作用是根据中央处理系统发出的命令，对被控参数实施控制。其中控制电路接受来自中央处理系统的控制指令，并对控制信号进行放大、转换、隔离、驱动，最后作用于控制器上，由控制器直接对被控参数实施控制。例如，各种电压放大电路、电流放大电路、功率放大电路、驱动与隔离电路、数/模转换（D/A）电路、电压-电流转换电路、遥控电路等。

3. 中央处理系统

中央处理系统（也称中央处理单元、主控单元等）是信息处理单元，它同时连接着测量电路和控制电路，即连接着信息流的输入通道和输出通道，因此它是整个电路系统的中心，同时也是整个仪器的核心。中央处理系统的作用是对测量电路系统送来的信号进行运算、处理、显示、存储、打印等，然后按照仪器的功能要求，向控制电路系统发出控制命

令，并通过控制电路和执行器对被控参数实行控制。

目前，随着计算机技术的普遍应用，中央处理系统一般都采用计算机。小型的电子仪器常采用单片机，配以相应的外围电路，组成便携式仪器。较为复杂的场合采用系统机，充分利用计算机的软、硬件资源，构成各种先进的智能化仪器系统。计算机技术的引入，使得电子仪器的自动化和智能化程度有了质的飞跃。

在实际的电子仪器中，有的只有测量电路和中央处理系统，有的只有中央处理系统和控制电路，或者将测量电路和控制电路合二为一，组成测控一体化电路。

- **执行机构**：加工后的信号要通过执行机构来完成电子仪器的最终任务，如继电器的闭合、电动机的旋转、字符的显示等。
- **电源**：市场上大多数电源可以方便地按需要提供可调节的直流电压。

1.1.2 电子仪器的设计要求和设计程序

1. 设计要求

对于电子仪器的研制来说，涉及许多方面的知识，既涉及许多理论知识（设计原理和方法），还涉及许多实际知识与技能（安装、调试与测量技术）。经过仪器仪表领域科技工作者的几十年努力，总结出仪器设计的一些很重要的设计要求，按照这些要求去设计仪器，很容易获得成功。

（1）精度要求

为表征一台仪器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台仪器都必须全部满足，而是根据不同的测量对象和要求，选用最能反映该仪器精度的一些指标组合来表示。

（2）检测效率要求

一般情况下仪器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。

（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。

（4）经济性要求

仪器设计时应采用各种先进技术，以获得最佳经济效益。盲目追求复杂、高级的方案，不仅会造成仪器成本的急剧增加，有时甚至无法实现。因此仪器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。同时还要考虑仪器的功能，具有较好的功能与产品成本比，即价值系数高。

(5) 使用条件要求

使用条件不同, 仪器设计也不同。如在室外使用的仪器仪表应适应宽范围的温度、湿度变化, 以及抗振和耐烟雾; 在车间使用除了防振外, 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仪器仪表则要求防爆和阻燃; 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

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, 延长仪器使用寿命, 提高工作效率。

2. 设计程序

(1) 确定设计任务

设计任务由国家或部门根据经济与事业发展需要由计划或科技部门下达, 也有企业或公司根据国内外市场调查自行确定的新产品开发任务, 也有的是根据用户特殊要求而确定的设计任务。

(2) 设计任务分析, 制定设计任务书

接到设计任务后, 首先要认真、仔细地阅读任务书。要认真研究被测对象有什么特点、被测参数是如何定义的、精度要求是什么、测量范围有多大、检测效率要求多高、使用条件是什么、经济情况如何、完成时间与验收方式是什么、逐一分析后, 制定详细的任务书, 作为研制的基本文件。

(3) 调查研究, 了解占有资料

对设计任务做到心中有数后, 应对国内外同类产品的技术资料进行分析, 采用各种手段如网上查询、科技情报检索、工厂企业调研、请教有经验的技术人员和工人, 了解消化资料, 哪怕是一种外观照片对设计都会有启发。

(4) 总体方案设计

总体方案设计是非常重要的第一步, 对研究的成败有着举足轻重的作用。对总体方案要求具有先进性、创新性、合理性和可行性。总体设计要进行方案对比, 可以用现代的虚拟设计、仿真设计法, 也可用经典的设计方法。在方案设计时首先要确定原理方案, 必要时对仪器所包含的光、机、电各部分进行数学建模, 然后确定系统的主要参数, 进行精度设计和总体结构设计, 绘制总体装配图和进行外观造型设计。总体设计后, 最好邀请各方面的专家, 组织一次方案评审会, 集思广益, 保证质量。

(5) 技术设计

技术设计是在总体设计基础上, 对光、机、电、计算机各部分进行具体的设计, 如部件设计、零件设计、硬件电路设计、光学设计、软件设计、技术经济评价和编写设计说明书。同样, 最好组织一次设计评审会。

(6) 制造样机

包括产品机械加工、硬件电路制作、软件调试、整机装调, 然后进行产品自检测试(由