



21 世纪高等学校机电类规划教材

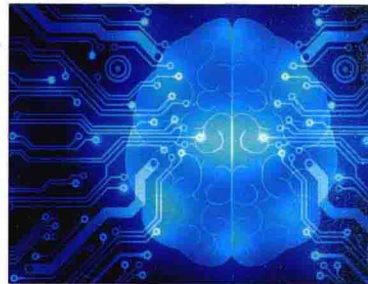
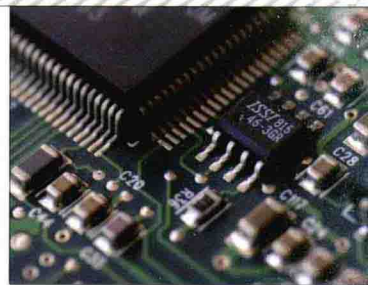
JIDIANLEI GUIHUA JIAOCAI



工业和信息化部
“十二五”规划教材

现代测控 电子技术

◆ 周严 主编



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



21 世纪高等学校机电类规划教材

JIDIANLEI GUIHUA JIAOCAI



工业和信息化部
“十二五”规划教材

现代测控 电子技术

◆ 周严 主编

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

现代测控电子技术 / 周严主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2015. 12
21世纪高等学校机电类规划教材
ISBN 978-7-115-41169-3

I. ①现… II. ①周… III. ①自动检测系统—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TP274

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第284421号

内 容 提 要

本书对测控系统电子技术的主要内容做了较为全面系统的介绍。全书共分9章,分别介绍了运算放大器基础知识、信号调理电路、信号转换电路、微弱信号检测电路、驱动与控制电路、射频电路、电磁兼容设计和测控电子技术综合应用等内容。在前4章中以单元电路为主线,详细介绍了测控系统中各种类型电路的基本原理、分析方法和设计方法。鉴于测量向微观领域不断拓展,无线遥测技术应用日益广泛,以及测控一体化趋势日益明显,第5~7章分别介绍了微弱信号检测电路、驱动与控制电路和射频电路。针对现代测控系统中电磁兼容问题日益突出的实际状况,第8章专门介绍了电磁兼容设计技术。第9章结合测量对象介绍了多种工程参数的实际测量电路。

本书适合作为“测控技术与仪器”和“机械电子工程”及相关专业的本科及研究生测控电子技术类课程的教材,也适合作为相关行业的工程技术人员及大专院校相关专业教师的参考书。

-
- ◆ 主 编 周 严
责任编辑 张孟玮
责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 19.25 2015年12月第1版
字数: 506千字 2015年12月北京第1次印刷
-

定价: 49.80 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

测量是人们认识世界的一种不可缺少的重要手段，当今社会已进入信息时代，信息技术成为新技术革命的关键技术，而测量技术是信息技术的关键和基础。现代测控系统中，从传感器信号的调理、数字化到测量结果的输出，再到执行机构的驱动控制，电子电路在其中发挥着重要的作用。测控电子技术已融入现代测量仪器和现代测控系统的各个环节，在相当大的程度上决定了测控系统的性能。

本书是为“测控技术与仪器”和“机械电子工程”及相关专业的测控电子技术类课程而编写的，是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《测控系统电子技术》的修订教材。本书被列为工业和信息化部“十二五”规划教材。

本书从基础及基本原理入手，结合典型芯片，详细介绍了多种单元电路的分析设计方法，力求加强测控电子技术的基础教学环节。在此基础上，以大量的实例介绍了多种工程参量的测控电路，突出测控电子技术与对象的结合，使教学工程实际化。鉴于微弱信号检测和无线遥测技术在测控技术领域应用日益广泛，本书在原有基础上新增了微弱信号检测电路和射频电路两部分内容，并强化了电磁兼容设计的内容，突出了电磁兼容的重要性。

全书从原理分析到实际应用，从单元电路到系统电路设计，采取用原理知识分析实际测控电路的方式，以大量的实例介绍各种测控电路，力求讲解深入，易于理解。本书寓测控电路于测控系统中，突出电路与测量控制对象的结合，在适应教学需求同时，注重工程实际。

本书共9章，由南京理工大学周严任主编，南京理工大学吴键任副主编，由南京理工大学朱欣华教授、东南大学吴峻研究员主审。周严编写第1、2、3、4、5、6、8、9章，吴键编写第7章。全书由周严统稿。

尽管在本书的编写过程中，编者力求分析深入、内容新颖、贴近工程实际，但由于电子技术发展迅速，新型的传感器、执行器不断出现，加之编者专业知识所限，书中缺点错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者
2015年8月

目 录

第 1 章 绪论	1	3.3.2 对数线性化电路	84
1.1 电子技术在测控系统中的作用和地位	1	3.4 有源滤波器	86
1.2 测控系统对测控电路的要求	2	3.4.1 有源滤波器的基本知识	86
1.3 测控电路的信号类型	3	3.4.2 有源滤波器的设计	93
1.4 测控电路的类型与组成	3	3.4.3 集成有源滤波器	97
1.5 测控电路的发展趋势	5	3.5 信号调制解调电路	103
思考与练习	5	3.5.1 幅度调制与解调电路	103
第 2 章 运算放大器基础	6	3.5.2 频率调制与解调电路	107
2.1 运算放大器基础知识	6	3.5.3 脉冲宽度调制与解调电路	110
2.1.1 运算放大器的发展历程	6	思考与练习	112
2.1.2 运算放大器的组成与分类	7	第 4 章 信号转换电路	113
2.1.3 运算放大器的参数	9	4.1 信号转换辅助电路	113
2.1.4 运算放大器的等效模型	15	4.1.1 电压比较电路	113
2.2 基本放大电路	17	4.1.2 采样/保持电路	118
2.2.1 反相放大器	17	4.1.3 精密检波电路	121
2.2.2 同相放大器	27	4.2 电压/电流相互转换电路	126
2.2.3 基本差动放大器	32	4.2.1 电流/电压转换器	126
思考与练习	37	4.2.2 电压/电流转换器	127
第 3 章 信号调理电路	38	4.3 电压/频率相互转换电路	128
3.1 信号运算电路	38	4.3.1 电压/频率转换电路	128
3.1.1 积分和微分放大器	38	4.3.2 频率/电压转换电路	130
3.1.2 对数和反对数放大器	52	4.4 信号的交流/直流转换	132
3.1.3 乘法与除法放大器	58	4.5 数/模转换技术	137
3.2 测量放大器	64	4.5.1 D/A 转换器的基本表达式	137
3.2.1 仪用放大器	64	4.5.2 D/A 转换器的基本构成及工作原理	138
3.2.2 电荷放大器	72	4.5.3 集成 D/A 转换器及其应用	139
3.2.3 电桥放大器	74	4.6 模/数转换技术	150
3.2.4 隔离放大器	76	4.6.1 逐次逼近式 A/D 转换器	151
3.3 传感器线性化电路	82	4.6.2 积分式 A/D 转换器	153
3.3.1 多项式近似法线性化电路	82	4.6.3 并行式高速 A/D 转换器	157
		4.6.4 新型 (Σ - Δ) 模/数转换器	158
		4.6.5 集成 A/D 转换器及应用	162

思考与练习	177	7.1.2 射频电路的基本概念	234
第5章 微弱信号检测电路	178	7.2 射频电路常用元件	236
5.1 低噪声放大器	178	7.3 射频基本电路	238
5.1.1 电子系统内部固有噪声源	178	7.3.1 发射电路	238
5.1.2 放大器的噪声指标与噪声特性	184	7.3.2 接收电路	240
5.1.3 低噪声放大器设计	191	7.4 射频电路设计与典型实例	244
5.2 锁定放大器	196	7.4.1 射频电路设计的常见问题	244
5.2.1 概述	196	7.4.2 典型实例——WiFi产品的 一般射频电路设计	245
5.2.2 锁定放大器的构成及工作原理	197	思考与练习	250
5.2.3 锁定放大器及应用	205	第8章 电磁兼容设计	252
思考与练习	208	8.1 电磁兼容三要素	252
第6章 驱动与控制电路	210	8.2 干扰源及耦合途径	253
6.1 开关量控制电路	210	8.3 抗干扰技术	256
6.1.1 开关元件驱动电路	210	8.3.1 合理接地与屏蔽	256
6.1.2 步进电动机驱动电路	213	8.3.2 隔离技术	260
6.2 导电角控制逆变器	214	8.3.3 布线技术	263
6.3 脉宽调制(PWM)控制电路	217	8.3.4 瞬态干扰抑制技术	265
6.3.1 脉宽调制控制电路的工作原理	218	8.4 电源干扰的抑制	269
6.3.2 典型脉宽调制电路	219	8.4.1 电网干扰抑制技术	269
6.3.3 PWM功率转换电路	220	8.4.2 电源稳定净化技术	271
6.3.4 同步式与异步式脉宽调制控制电路	223	思考与练习	272
6.4 变频控制电路	225	第9章 测控电子技术综合应用	273
6.4.1 变频调速的基本原理和分类	225	9.1 压力测量应用电路	273
6.4.2 变频调速的控制方式和特性	226	9.1.1 压阻式压力传感器的 应用电路	273
6.4.3 AC-AC变频器	227	9.1.2 4~20mA压力变送电路	274
6.4.4 AC-DC-AC变频器	229	9.2 温度测量应用电路	275
思考与练习	233	9.2.1 热电偶测量温度的应用 电路	275
第7章 射频电路	234	9.2.2 铂电阻测量温度的应用 电路	277
7.1 概述	234	9.3 气敏传感器应用电路	280
7.1.1 射频电路的分类	234	9.4 加速度与振动测量应用电路	281
		9.4.1 微振动测量电路	281
		9.4.2 MEMS加速度传感器应用 电路	282

9.5 距离、位移测量应用电路·····	284	9.8.2 光电心率检测器测量电路·····	294
9.5.1 PSD 距离测量应用电路·····	284	9.8.3 闪烁甲状腺功能测定仪测量 电路·····	295
9.5.2 超声传感器测距应用电路···	286	9.8.4 心电监护中的 QRS 波识别 电路·····	297
9.6 光纤涡轮流量传感器测量 电路·····	288	思考与练习·····	299
9.7 湿度测量电路·····	290	参考文献 ·····	300
9.8 生物医学测量电路·····	291		
9.8.1 分光光度计测量电路·····	292		

在科学技术高度发达的今天,测控技术已经渗透到国防、工业、农业、科研、医疗、交通、建筑、办公和家居生活等各个领域,它是提高生产效率、科研效率、办公效率与生活品质的根本手段与重要保障,广义地讲,现代装备或仪器均可称之为测控系统。

仪器及设备是测控技术的载体及表现形式,科学仪器既是科学研究的后勤保障,又是知识创新、技术创新的主体内容之一,也是创新成就的重要体现形式。科学技术重大成就的获得和科学研究新领域的开辟,往往是以检测仪器和技术方法的突破为先导的。新现象的发现、新原理的确立、新系统的研制,均依赖先进仪器的测量与检验。一方面,科学的进步、生产的发展及社会的进步不断对测控技术及仪器提出新要求,促进测控技术及仪器水平的不断提高;另一方面,科学技术的革命和发展不断地为测控技术提供新的科学原理、设计思想和技术手段,不断推动测控技术的发展。可以说几乎任何新技术、新工艺都可能在测控技术领域内得到应用,因此,测控技术是一门不断发展的高新技术。

电子技术是高新技术的重要分支,也是发展最为迅速的高新技术之一,电子技术是现代测控系统中应用最广、最为活跃的关键技术。测控系统的性能在很大程度上取决于测控电路,电子技术已成为测控技术的重要组成部分。

1.1 电子技术在测控系统中的作用和地位

现代测控系统的基本组成如图 1.1.1 所示。

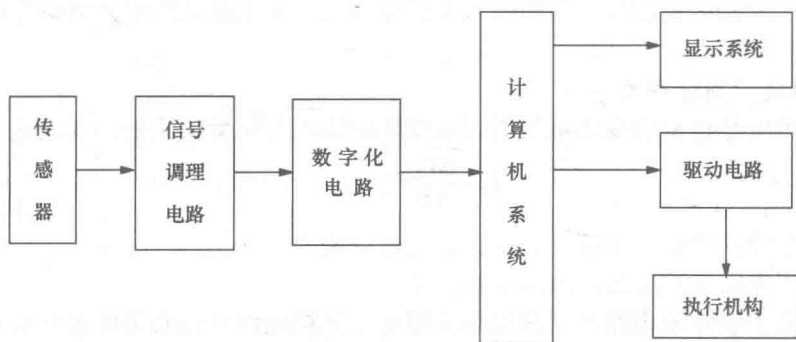


图 1.1.1 现代测控系统的基本组成

测控系统的最前级为传感器,其作用是将各类被测量转换成与之具有一定函数关系的电量(通常为电压);信号调理电路将传感器转换来的电量进行放大、整形,使之成为后续电路易于处

理的信号；数字化电路将信号调理电路输出的模拟信号转换成可供计算机识别及处理的数字信号；计算机系统对数字化的被测信号进行计算、定标、误差校正或自校准等处理，一方面经处理的测量结果由显示输出系统显示、打印或绘图，另一方面经算法运算过的控制信号经驱动电路驱动执行机构。通常将信号调理电路、数字化电路和驱动电路统称为测控电路，它已融入测控系统的各个环节，并在其中发挥重要的作用，可以说离开测控电路，测控系统是无法实现的。

综上所述，测控电路具有两方面功用。一是实现被测量信号的二次变换，其实质是电位或波形变换以及信号形式的转换，主要功能：①抑制传感器输出信号中的噪声，提取有效信号；②数字化被测量信号。二是实现控制信号的产生与输出。由于被测和被控物理量及其相应传感器和驱动器呈现多样性，与此相应的测控电路必然具有多样性，因而测控电路在设计上灵活性很强。另外，测控电路位于二次仪表的最前级，对测量的准确度起决定作用，因此，测控电路是现代测控系统的关键及难点所在，在现代测控技术中占据极其重要的地位。

1.2 测控系统对测控电路的要求

测控系统对测控电路的基本要求可以概括为高精度、高灵敏度、高分辨力、宽动态范围、功能灵活和高可靠性。

1. 高精度

高精度是指测控电路能够线性地、不失真地、准确地将传感器输出信号变换成易于处理的信号，这是精确测量的基础，是精确控制的前提。实现高精度测控电路应具备下列条件。

(1) 低噪声与高抗干扰能力：指抑制无效信号，放大有效信号的能力。

(2) 低漂移、高稳定性。由于电子器件的非理想性及温度敏感性，使得电路输出受环境温度的影响随着时间的推移偏离正常值，这就是漂移。漂移将直接影响电路工作的稳定性。稳定是精确的前提，因此低漂移高稳定性是高精度的必备条件。

(3) 高线性度与高保真度。线性度是衡量一个仪器或系统精度的又一重要指标，线性度是指电路实际输入—输出曲线与理论直线之间的偏差程度。保真度用于衡量信号经过电路后的变形程度，变形是由于非线性及频带引起的。线性与保真度越好，电路的精度就越容易保证。

(4) 合理的输入与输出阻抗。即使电路完全没有运算误差，但用于测试系统中时，由于输入输出阻抗的不合理，仍可能给系统带来误差。输入阻抗太低一方面会使传感器的状态发生变化，另一方面会过多地衰减传感器输出的信号，因而引起运算误差。输入阻抗过高易引入噪声等干扰，因此应使测控电路的输入阻抗与前级的输出阻抗匹配。对输出阻抗也有类似的要求。

2. 高灵敏度、高分辨力

电路的灵敏度是指输出变化量与引起该变化的输入变化量的比值，其表达式为

$$k = \frac{\Delta V_{\text{out}}}{\Delta V_{\text{in}}} \quad (1.1.1)$$

显然其实质是电路的增益，灵敏度 k 越高，其增益越大。

分辨力是指电路能够检测出的最小输入量。

高灵敏度并不意味着电路的灵敏度越高越好。测控电路首先必须能够分辨输入信号，只有分辨出信号，高灵敏度才有意义。高分辨力是高灵敏度的前提条件。

3. 宽动态范围

随着现代技术的发展，实时动态测量已成为测量技术发展的主要方向。动态测量的特点是宽动态范围，要求测控电路具有宽频带、快响应的特性。

4. 功能灵活

为适应各种情况下测量与控制的需要, 要求测控电路具有多种功能。

(1) 信号形式的转换功能。测控电路应具有模/数转换、数/模转换、交流/直流转换、电压/电流转换, 以及幅值、相位、频率与脉宽之间的转换功能。

(2) 信号的选取功能。实际信号中既包含信号又包含噪声, 信号中还有不同特征的信号, 电路应具有选取所需信号的能力。

(3) 信号的处理与运算功能。其包括平均值、差值、峰值、绝对值、求导数、积分等, 也包括线性化处理、误差补偿、逻辑判断。

5. 高可靠性

可靠是指测控电路无故障工作, 一般用平均无故障工作时间来衡量。现代测控系统是现代装备的有机组成部分, 其可靠性与测控系统密切相关, 其中测控电路的可靠性是重要的因素。

1.3 测控电路的信号类型

1. 模拟信号

模拟信号分为非调制信号和经调制信号。

(1) 非调制信号, 信号的大小、波形与被测信号的大小、波形直接对应的信号。如热电偶测温时的输出信号, 压电传感器测力时的输出信号等就是非调制信号。

(2) 经调制信号, 为提高信号的抗干扰能力, 经常将传感器输出的信号调制后再行处理, 在精密测量中, 调制往往在传感器中进行, 这时传感器输出的信号就是经调制信号。

2. 数字信号

数字信号分为增量码信号、绝对码信号和数字 I/O 信号。

(1) 增量码信号, 实际是脉冲信号, 被测量值与传感器输出的脉冲数成正比。例如, 光栅测位移, 电磁式或光电式流量计测流量等传感器的输出信号就是增量码信号。严格讲这仍然是模拟信号, 是一种准数字信号。

(2) 绝对码信号, 一种与状态相对应的信号, 实际是数字编码信号。例如, 码盘输出信号。

(3) 数字 I/O 信号, 又称开关信号, 是一位绝对码信号, 只有“0”和“1”两个状态。

1.4 测控电路的类型与组成

1. 测量电路的基本组成

1) 模拟式测量电路的基本组成

模拟式测量电路的基本组成如图 1.4.1 所示, 包括前置放大器、解调器、信号分离电路、运算电路、模数转换电路等环节。解调器的设置与否根据传感器输出是否为经调制信号确定。若信号是调制信号, 需设置解调器; 反之, 前置放大器的输出直接进入信号分离电路。分离电路一般为滤波器, 一方面将噪声与信号分离, 另一方面将不同成分的信号分离, 取出所需信号。后续电路为运算电路, 根据需要进行所需运算, 其输出将进入数字化电路。

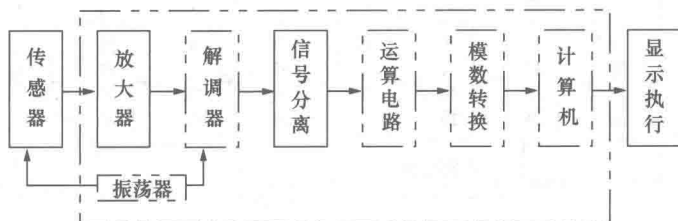


图 1.4.1 模拟式测量电路的基本组成

2) 数字式测量电路的基本组成

数字式测量电路的基本组成如图 1.4.2 所示。数字式测量电路一般用于测量脉冲输入信号，测量这类信号一般采用计数的方法。

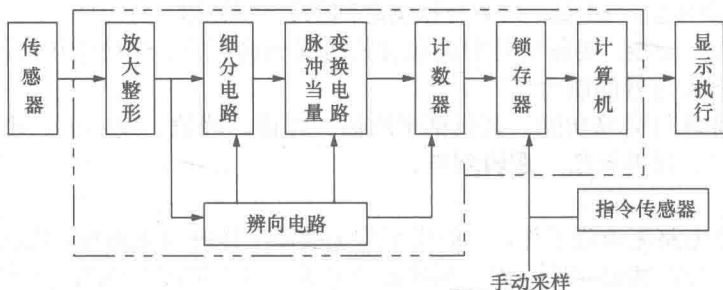


图 1.4.2 增量码数字式测量电路的基本组成

传感器的输出信号经放大整形后变为方波，为了提高测量精确度和测量分辨率需要进行内插细分。当脉冲信号的一个周期所对应的量不是一个便于读出的量时，需要对脉冲当量进行变换。被测量增大或减小，脉冲周期都将发生变化，需要采用适当的方法辨别被测量变化的方向，辨向电路按辨向结果控制计数器做加法或减法计数。采样指令到来时，将计数器所计的数送入锁存器，显示执行机构显示该状态下被测量值，或按测量值执行相应动作。

2. 控制电路的基本组成

1) 开环控制

开环控制系统的基本组成如图 1.4.3 所示。系统中给定机构设置给定信号，经控制电路控制执行机构作用于被控对象，使输出按所要求的规律变化。这种系统的控制精度取决于系统传递函数的正确性，且不能受到干扰，一旦受到干扰，由于系统无自我调节能力，其控制精度将下降。

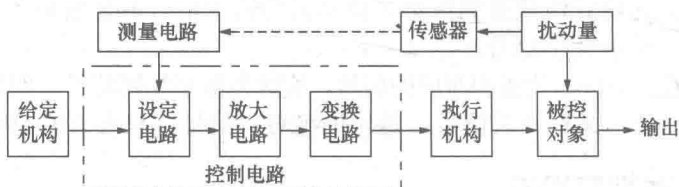


图 1.4.3 开环控制系统的基本组成

2) 闭环控制

闭环控制系统的基本组成如图 1.4.4 所示。系统中增加了反馈环节。传感器直接测量的输出量，将被反馈到输入端与设定值相比较。当发现它们之间有差异时进行调节，这种系统由于反馈的作用可以消除扰动的影响，从而控制精度。系统的控制精度取决于传感器和比较电路的精度。在这样的系统中，控制电路和传感器起决定性的作用。

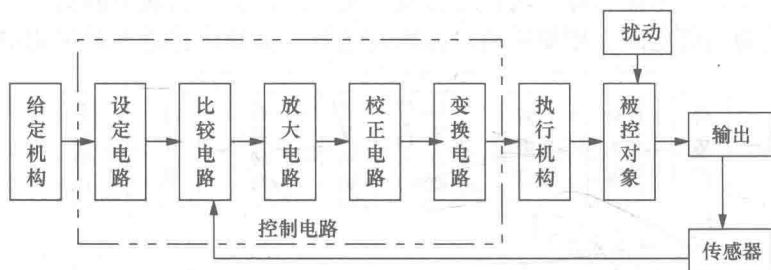


图 1.4.4 闭环控制系统的基本组成

1.5 测控电路的发展趋势

随着微电子技术设计水平和集成工艺水平的日益提高,测控电路的发展十分迅速,其主要发展趋势如下。

1. 集成化

半导体集成电路技术的迅猛发展,为测控电路的集成化奠定了前所未有的基础。以往由分立元件和通用芯片构成的测控电路,可以集成为专用芯片,实现相应的测控功能。控制电路缩小了体积,简化了测控电路的设计,并且性能指标和可靠性大大提高,这将是今后测控电路发展的主流方向。

2. 数字化

测控系统的发展方向是智能化,而智能化的前提是数字化。数字化在信息传输、信息处理、信息存储和集成化等方面具有明显的优势,因此数字化是测控电路的必然发展趋势。

但是数字化不可能完全取代模拟技术。

3. 测控一体化

测量的目的不仅仅是获取信息,更重要的是控制机器或系统的行为动作。测量与控制相互交融,融为一体的闭环系统是测控系统的主要发展方向。

4. 自动化与智能化

现代控制系统不仅要求能自动控制,而且要求它能在复杂的情况下自行判断,具有自主学习、自动诊断故障、自动排除故障、进行自适应控制,乃至自动生成新知识的功能,这也是测控电路发展的一个重要方向。

思考与练习

1. 说明现代测控系统的基本构成,并说明各部分的功用。
2. 说明测控电子技术在测控系统中的作用及地位。
3. 说明现代测控系统对测控电路的要求。
4. 测控电路高精度的内涵是什么?
5. 实现测控电路高精度的条件是什么?
6. 说明灵敏度与分辨力的关系。
7. 测控电路宽动态范围的内涵是什么?
8. 怎样理解测控电路要求合理的输入输出阻抗?
9. 为什么测控电路要求高可靠性?
10. 分别说明测量电路与控制电路的两种形式。
11. 说明现代测控电子技术的发展趋势。

第 2 章 运算放大器基础

运算放大器（简称运放）诞生于 20 世纪 40 年代。它是为模拟计算机设计的，是模拟计算机中进行数学运算的核心部件。运放中使用了一个有很大开环增益的放大器。当环路闭合时，放大器就开始执行由外部无源元件所确定的数学运算。伴随着大学实验室工作中提出对传感器进行信号调理的要求，运放进入到了信号调理的应用领域。随着信号调理应用领域的扩展，对运放的需求开始超过模拟计算机的需求。当数字计算机取代模拟计算机时，运放由于在一般模拟应用中的重要性而生存下来，最终运放的需求随着测量应用的增长得以持续增长。

今天，运放已成为现代测控电路中必不可少的基本组成部分，是最活跃的器件之一，由运放构成的电路可实现信号放大、信号运算、信号变换、信号处理、线路驱动等多种应用。现代测控电路中数字电路的应用日益增加，但这并未削弱模拟电路的地位；相反，随着数字电路的应用增加，模拟电路的应用也相应增加。这是因为主要的数据来源和接口应用都在现实世界，而现实世界是一个模拟世界。新一代的电子设备都会对模拟电路提出新的需求，需要新一代的模拟设计和运放设计来满足需求。因而，模拟设计和运放设计是一种具有持续需求的基本电路设计技能，其重点体现在运放设计上。深入了解运放的基础知识，掌握运放设计方法，是分析、设计测控电路的前提与基础。

2.1 运算放大器基础知识

2.1.1 运算放大器的发展历程

运算放大器的发展经历了 3 个时代。

1. 真空管时代

第一代用于信号调理的运放是用真空管构造的，体积大，要求高压供电。20 世纪 50 年代出现利用较低电压工作的小型真空管制造的小体积运放，体积大约是建房用的砖头大小，所以那时运放模块的别称叫“砖头”。随着真空管体积和元件体积的不断缩小，真空管运放最后缩小到一个八脚真空管那样的大小。

2. 晶体管时代

晶体管是在 20 世纪 60 年代进入商业性开发的，采用晶体管构造的运放的体积大大缩小至只有几立方英寸，但是“砖头”的别名依然被沿用。今天的“砖头”是指那些采用封装化合物或非集成电路封装方法的电子模块。早期的大多数运放是为专门应用制造的，因而不具有通用性，各个制造商都有不同的规范和封装。

3. IC 时代

20 世纪 60 年代中期, 仙童公司发布了 IC 运放 $\mu\text{A}709$, 这是第一个商业上成功的 IC 运放, 是由 Robert J. Widler 设计的。 $\mu\text{A}709$ 被用于许多模拟应用, 它的主要缺点是稳定性问题, 需要外部补偿, 对使用它的工程师的模拟技术有较高的要求。另外该 IC 运放的自毁现象非常普遍。

$\mu\text{A}741$ 是在 $\mu\text{A}709$ 之后出现的, 这是一个具有内部补偿的运放, 如果工作在数据手册指定的条件下, 就不需要外部补偿, 比 $\mu\text{A}709$ 好用得多。 $\mu\text{A}741$ 是一款非常经典的 IC 运放, 直到今天依然被广泛应用。

自从 $\mu\text{A}741$ 问世以来, 新型运放不断推出, 性能与可靠性不断改进提高, 这使得所有的工程师都能够使用。IC 运放已经完全取代了前两种运放。

2.1.2 运算放大器的组成与分类

1. 通用运算放大器的基本组成

通用运算放大器是一种高电压增益、高输入阻抗、低输出阻抗的多级直接耦合放大器, 虽然种类及电路多种多样, 但结构具有共同之处, 其内部组成结构图如图 2.1.1 所示。

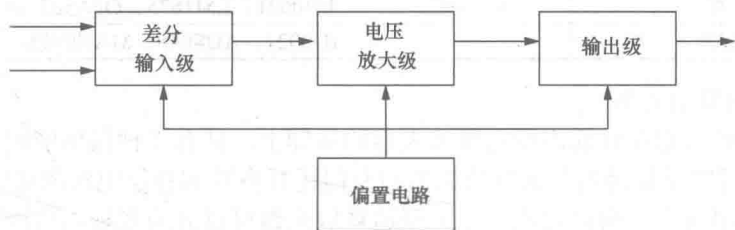


图 2.1.1 通用运算放大器的内部组成结构图

(1) 差分输入级: 由差分放大器组成, 获得低零点漂移及高共模抑制比、高输入阻抗, 并可实现差动输入信号的放大。

(2) 电压放大级: 通常起双端变单端 (将差动放大器的双端输入变换成单端输出) 和电平移动的作用。这一级是通用型运算放大器的主要电压增益级。

(3) 偏置电路: 为各级放大电路设置合适的静态工作点 (主要包括电压偏置电路、恒流源和有源负载等)。

(4) 输出级: 输出以零电平为中心有一定电流大小的正负电压, 一般由电压跟随器或互补电压跟随器组成, 以降低输出电阻, 提高带负载能力。

2. 运算放大器的分类

传统运放的分类是针对通用型运放而言的。由于集成电路制造技术的飞速发展, 出现了大量的具有特殊运算功能的芯片, 从本质上讲, 这些芯片仍然属于运算放大器, 所不同的是它们的集成度高、运算功能具有较强的针对性。据此, 运算放大器应分为通用型运算放大器和专用型运算放大器两大类。

1) 通用型运算放大器

通用型运算放大器是指传统意义上的运算放大器, 通过对通用型运算放大器的不同组合, 再配合外部元件, 可构成各种运算电路。在制造时重点使某一项或某几项技术指标趋于理想, 就产生了某些特殊的通用型运算放大器, 因而通用型运算放大器又可细分为以下几种。

- ① 宽带高速型运算放大器。
- ② 高输入阻抗、低偏置电流型运算放大器。
- ③ 低失调、低漂移型运算放大器。

④ 低失调、低噪声型运算放大器。

⑤ 高压型运算放大器。

⑥ 大功率型运算放大器。

⑦ 轨至轨 (rail to rail) 型运算放大器, 又称为“满摆幅”放大器, 是指输入或输出电压范围与电源电压近似相等的运算放大器。

表 2.1.1 给出了各种通用型运算放大器的典型常用芯片, 具体技术指标可查阅各大半导体芯片制造公司的技术手册。

表 2.1.1 各种通用型集成运算放大器典型芯片

类型	典型芯片型号
宽带高速型	MAX4223、MAX4104
高输入阻抗、低偏置电流型	MAX4038、MAX9637、AD8065/8066
低失调、低漂移型	MAX4238、OP07、ICL7650、ADA4051、AD8624
低失调、低噪声型	OP37、ICL7652、AD844、MAX4476
高压型	LM334、LM344、HA2645
大功率型	LH0021、LM1875、OPA567
轨至轨型	AD8027、AD8646、MAX9915

2) 专用型运算放大器

专用型运算放大器是在通用型运算放大器的基础上, 针对某种具体应用, 专门设计集成的运算放大器, 其实质是通用型运算放大器与专门运算电路和补偿电路的集成。其功能单一, 适合某种专门应用场合。根据功能, 专用型运算放大器可以分为多种, 举例如下。

① 集成乘法和除法运算放大器。

② 集成对数和反对数运算放大器。

③ 集成仪用放大器。

④ 集成隔离放大器。

⑤ 集成有源滤波器。

⑥ 集成真有效值运算放大器。

⑦ 集成采样/保持放大器。

⑧ 集成比较放大器。

⑨ 具有冷端补偿功能的集成热电偶放大器。

表 2.1.2 给出了几种专用型集成运算放大器的典型常用芯片, 具体技术指标可查阅各大半导体芯片制造公司的技术手册。

表 2.1.2 各种专用型集成运算放大器典型芯片

类型	典型芯片型号
集成乘法和除法放大器	AD534、AD835、AD538
集成对数和反对数放大器	AD606、AD640、LOG101、LOG102、TL441
集成仪用放大器	AD620、AD624、AD521、INA115、INA101
集成隔离放大器	AD277、AD289、AD201、ISO100、ISO106、ISO124
集成有源滤波器	MAX280、MAX263/264
集成真有效值运算放大器	AD536、AD636、AD736、AD637
集成采样/保持放大器	LF198、AD684、AD585、AD386
集成比较放大器	LM111、LM319、AD790、AD8611
具有冷端补偿功能的集成热电偶放大器	AD594/595

以上是部分专用型运算放大器。由于各种不同的应用需要,新型的专用运算放大器不断出现,目前已经出现将敏感器件、调理电路及补偿电路集成于一体的专用集成测量电路,这种专用芯片的出现使测控系统的研制过程大大简化。尽管专用运算放大器种类繁多,但它们都是以通用型运算放大器为基础的,掌握了通用型运算放大器的原理及应用,就能很好地应用专用型运算放大器。因此,必须充分认识通用型运算放大器技术的基础地位。

2.1.3 运算放大器的参数

当选用运算放大器设计应用电路时,需要根据不同的应用需要及要求,选用不同类型的运算放大器以充分发挥其性能特点,为此,需要了解并掌握运算放大器的参数,运放参数是运放的选型依据。

1. 静态技术指标

1) 输入失调电压 V_{os}

(1) 定义:在室温(25°C)及标称电源电压下,为使运放的输出电压为零而在输入端加的补偿电压。

(2) 输入失调电压 V_{os} 产生的原因:运算放大器的输入级为差动输入放大器,由于制造工艺的原因,晶体管的特性不可能完全一致,这种由基-射级的正向偏置电压 V_{be} 的失配导致的电压差 $V_{be1} - V_{be2}$ (如图 2.1.2 所示)就是输入失调电压,即 $V_{os} = V_{be1} - V_{be2}$ 。

(3) 输入失调电压的调零:弄清楚输入失调电压的产生原因,就可设法采用一些电路来调零,使运放输入为零,输出也为零。

① 基极调零:如图 2.1.3 (a) 所示,通过调节电位器 R_p , 改变 VT_1 的基极电位,从而改变基极和集电极电流 I_{b1} 和 I_{c1} , 最终使

$$V_o = V_{c1} - V_{c2} = (E_p - I_{c1}R_c) - (E_p - I_{c2}R_c) = -I_{c1}R_c + I_{c2}R_c = 0 \quad (2.1.1)$$

② 集电极调零:如图 2.1.3 (b) 所示,通过调节电位器 R_p , 改变 VT_1 、 VT_2 的集电极电流,达到调零的目的。

$$V_o = -I_{c1}R_c + I_{c2}R_c = 0 \quad (2.1.2)$$

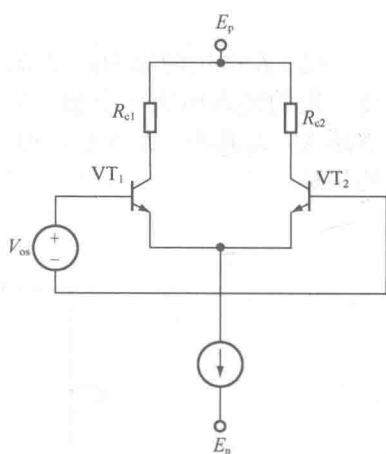
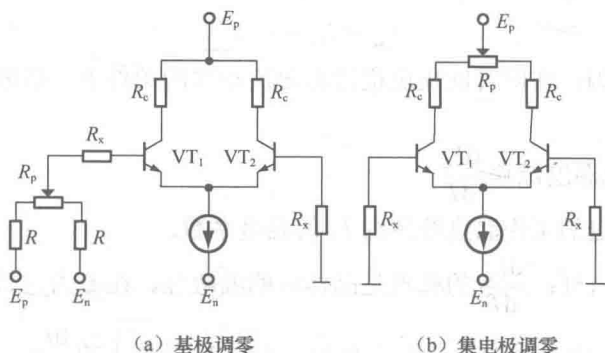


图 2.1.2 输入失调电压的定义



(a) 基极调零

(b) 集电极调零

图 2.1.3 失调电压的调零

2) 输入失调电压的温度漂移 $\frac{dV_{os}}{dT}$

(1) 定义：在规定的温度范围内输入失调电压 V_{os} 的温度系数，它是对运放电压漂移特性的量度。工程上将 $\frac{dV_{os}}{dT}$ 定义为在规定温域内 $V_{os} \sim T$ 关系曲线的平均斜率。

(2) $\frac{dV_{os}}{dT}$ 的产生原因： V_{be} 是温度的函数，而失调电压是由输入级两晶体管的 V_{be} 的不匹配引起的，因而失调电压理应是温度的函数，这就是失调电压温度漂移的原因。

需要指出的是，失调电压可以调零，而温度漂移是无法调零的，只能通过电路补偿减小。

3) 输入偏置电流 I_b

(1) 定义：在标称电源电压及室温下，集成运放输出电压为零时，两个输入端静态电流的平均值，即

$$I_b = \frac{1}{2}(I_{bn} + I_{bp}) \quad (2.1.3)$$

(2) I_b 产生的原因：集成运放的两个输入端是差分对管的基极，因此两个输入端总需要一定的输入电流（静态） I_{bn} 、 I_{bp} （如图 2.1.4 所示）。显然输入晶体管的 β 值与 I_b 有关， β 越大， I_b 越小。 I_b 越小，由于信号源内阻引起的输出电压的变化也越小，因此它是重要的指标。

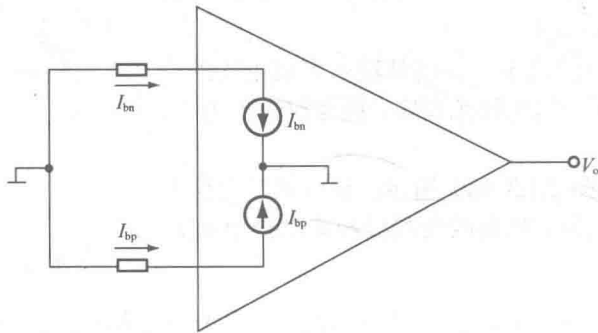


图 2.1.4 输入偏置电流

4) 输入失调电流 I_{os}

(1) 定义：在标称电源及室温下，当集成运放的输出电压为零时，流入放大器两输入端的静态基极电流之差，即

$$I_{os} = |I_{bp} - I_{bn}| \quad (2.1.4)$$

(2) I_{os} 产生的原因：在两管的集电极静态电流相等的条件下，造成电流失调的主要原因是两管的 β 值失配。

5) 输入失调电流温度漂移 $\frac{dI_{os}}{dT}$

(1) 定义：在规定的工作温度范围内 I_{os} 的温度系数。

(2) 温度漂移的机理： $\frac{dI_{os}}{dT}$ 的机理是晶体管的温敏性。在 I_c 为常数的情况下是由晶体管 β 的温度系数引起的，它与失调电流大小有关。小的 I_{os} 导致小的 $\frac{dI_{os}}{dT}$ 。同样输入失调电流漂移也无法调零。