



普通高等学校测控技术与仪器专业规划教材



测控电路及应用

Cekongdianlu Ji Yingyong

主编 史红梅



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



普通高等学校测控技术与仪器专业规划教材

测控电路及应用

Cekongdianlù Jì Yīngyong



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

《测控电路及应用》是为适应高等学校仪器科学与技术学科本科专业教学改革的需要而编写的一本专业基础教材。本书主要介绍了工业生产和科学研究中常用的测量与控制电路。全书共10章,分别介绍了测控电路的功用、类型、组成,信号放大电路,信号转换电路,信号处理电路,信号细分与辨向电路,控制输出电路,信号传输电路,电源电路,测控电路中的抗干扰技术和测控电路应用实例。

本书以测控系统的前后向通道为主线,系统地讲述了信号的测量、控制与传输电路。在讲解基本电路的功能和原理的基础上,结合目前集成技术的发展,介绍了大量常用的典型集成芯片的使用,便于学生实际运用。同时结合工程实际,给出了科研实例和大量的应用电路图,突出了测控电路的实际应用。

本书既可作为测控技术与仪器专业、自动化、机械工程及其自动化等专业的教材或教学参考书,也可供测控领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

测控电路及应用/史红梅 主编. —武汉: 华中科技大学出版社, 2011. 1

ISBN 978-7-5609-6644-1

I. 测… II. 史… III. 电气测量-控制电路-高等学校-教材 IV. TM930.111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 199196 号

测控电路及应用

史红梅 主编

策划编辑: 万亚军

责任编辑: 余 涛

封面设计: 范翠璇

责任校对: 朱 霞

责任监印: 熊庆玉

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编: 430074 电话: (027)87557437

录 排: 武汉众欣图文照排

印 刷: 湖北恒泰印务有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 15

字 数: 389 千字

版 次: 2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 26.00 元



华中科大

本书若有印装质量问题, 请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



普通高等学校测控技术与仪器专业规划教材

编委会

主任：

钟毓宁

（湖北工业大学副校长，教育部高等学校仪器科学与技术专业教学指导委员会委员）

副主任：

孔力

（华中科技大学教授，教育部高等学校仪器科学与技术专业教学指导委员会委员）

许贤泽

（武汉大学教授，教育部高等学校仪器科学与技术专业教学指导委员会委员）

委员：（以姓氏笔画为序）

王连弟（华中科技大学出版社）

王先培（武汉大学）

史红梅（北京交通大学）

李威宣（武汉理工大学）

杨帆（武汉工程大学）

张思祥（河北工业大学）

何涛（湖北工业大学）

周荣政（江汉大学）

胡春海（燕山大学）

郭天太（中国计量学院）

康宜华（华中科技大学）

梁福平（北京信息科技大学）

董浩斌（中国地质大学）

曾以成（湘潭大学）

秘书：

刘锦 万亚军



普通高等学校测控技术与仪器专业规划教材

总 序

测控技术与仪器专业是在合并原来的11个仪器仪表类专业的基础上新设立的专业，目前设有该专业的高校已经超过250所，是当前发展较快的本科专业之一。经过两届全国高等学校仪器科学与技术教学指导委员会的努力，形成了《测控技术与仪器专业本科教学规范》（以下简称《专业规范》）。《专业规范》颁布后，各高校开始构建面向21世纪的测控技术与仪器本科专业的课程体系，并进行教学改革，以更好地满足科学技术和国民经济发展的需要。

华中科技大学出版社邀请多位全国高等学校仪器科学与技术教学指导委员会委员和具有丰富教学经验的专家编写了这套“普通高等学校测控技术与仪器专业规划教材”，这对于满足各高校测控专业建设需要，加强高校测控专业的建设，进一步落实《专业规范》精神，具有积极的作用。

这套教材基本涵盖了测控技术与仪器专业的专业基础课程和部分专业课程，编写定位清晰，内容适应了加强工程教学的趋势，注重了教材的实用性和创新性教育的推进。这套教材的出版，是测控专业教学领域“百花齐放、百家争鸣”的一个体现，它为测控专业教学选用教材又提供了一个选择。

由于时间所限，这套教材可能存在这样那样的问题。随着这套教材投入教学使用和通过教学实践的检验，它将不断得到改进、完善和提高，为测控专业人才的培养做出积极的贡献。

谨为之序。

全国高等学校仪器科学与技术教学指导委员会主任委员

胡心唐

2009年7月

前 言

1998年,教育部颁布新的本科专业目录,把原专业目录中仪器仪表类的11个专业合并为一个大专业——测控技术与仪器专业。“测控电路”是测控技术与仪器专业的一门专业基础课。

测量电路与控制电路统称测控电路。测控系统的性能在很大程度上取决于测控电路。近年来随着微电子技术、计算机技术和通信技术的飞速发展,测控电路的设计思想和方法也发生了很大变化。在华中科技大学出版社的组织下,北京交通大学、北京信息科技大学、武汉理工大学、华北水利水电学院长期从事测控技术与仪器专业教学的老师联合编写了《测控电路及应用》这本教材。

全书共分10章,包括绪论、信号放大电路、信号转换电路、信号处理电路、信号细分与辨向电路、控制输出电路、信号传输电路、电源电路、测控电路中的抗干扰技术和测控电路应用实例。每一章都附有习题与思考题。

本课程的先修课程为模拟电路、数字电路、微机原理及接口技术、传感器原理及应用。各种电子器件和集成电路的工作原理、构成及内部电路分析已在先修课程模拟和数字电子技术中讲述,本课程只注重讲述它们的外特性、应用,以及如何构成所需的功能电路。本书最后一章对科研中实际用到的各种测控电路的实例进行了分析,使学生可以加强对测控电路的理解和应用。

全书由北京交通大学史红梅主编。北京信息科技大学刘国忠、北京交通大学陈广华和郭保青、武汉理工大学陈祯、华北水利水电学院宋小娜参与了编写工作。其中第1章、第2章由史红梅编写,第3章由宋小娜编写,第4章由陈祯编写,第5章、第7章由刘国忠编写,第6章、第9章由郭保青编写,第8章由陈广华编写,第10章由史红梅、郭保青编写。全书由史红梅统稿。

本书在编写过程中,力求深入浅出,内容新颖,贴近工程实际,但由于电子技术发展迅速,新技术、新型集成芯片不断出现,加之编者专业知识有限,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2010年11月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 测控电路的功用	(1)
1.2 测控电路的类型和组成	(2)
1.3 对测控电路的要求	(4)
1.4 测控电路的发展趋势	(5)
1.5 本课程的主要内容及学习方法	(6)
思考题与习题	(8)
第 2 章 信号放大电路	(9)
2.1 集成运算放大器基础	(9)
2.2 反相运算放大器	(11)
2.3 同相运算放大器	(12)
2.4 电荷放大器	(14)
2.5 仪用放大器	(18)
2.6 隔离放大器	(20)
2.7 程控增益放大器	(24)
思考题与习题	(27)
第 3 章 信号转换电路	(28)
3.1 电压电流转换电路	(28)
3.2 电压/频率转换电路	(35)
3.3 模拟数字转换电路	(42)
思考题与习题	(55)
第 4 章 信号处理电路	(56)
4.1 电压比较器	(56)
4.2 峰值与绝对值检测电路	(62)
4.3 调制与解调电路	(64)
4.4 滤波电路	(86)
思考题与习题	(104)
第 5 章 信号细分与辨向电路	(105)
5.1 直传式细分电路	(105)
5.2 平衡补偿式细分电路	(112)
思考题与习题	(123)
第 6 章 控制输出电路	(125)
6.1 功率开关驱动电路	(125)
6.2 继电器	(131)

6.3	直流电机驱动电路	(138)
6.4	步进电机驱动电路	(141)
6.5	LED显示驱动电路	(149)
	思考题与习题	(156)
第7章	信号传输电路	(157)
7.1	电流环电路	(157)
7.2	RS-232通信接口	(164)
7.3	RS-485通信接口	(166)
7.4	USB通信接口电路	(172)
	思考题与习题	(175)
第8章	电源电路	(176)
8.1	电源基本知识	(176)
8.2	基准电压源	(178)
8.3	线性直流稳压电源	(181)
8.4	开关直流稳压电源	(187)
8.5	应用实例	(197)
	思考题与习题	(204)
第9章	测控电路中的抗干扰技术	(205)
9.1	电磁干扰	(205)
9.2	抗干扰技术	(207)
	思考题与习题	(213)
第10章	测控电路应用实例	(214)
10.1	电流输出型温度传感器 AD590 的温度测量电路	(214)
10.2	高精度铂电阻测温电路	(215)
10.3	楼群水暖温度控制系统	(218)
10.4	无刷直流电动机电梯门机防夹控制电路	(221)
10.5	通用单片微机光栅测控电路	(222)
10.6	压力同步采集测量电路	(224)
	思考题与习题	(227)
	参考文献	(228)

第 1 章 绪 论

1.1 测控电路的功用

随着现代工业的超大型化、高参数化、工况复杂化,测量与控制技术已成为现代生产和高科技中一项必不可少的核心技术,测试装备和控制系统也已成为重大装备不可分割的重要组成部分。

在科学研究和工程实践的过程中,“测量”和“控制”是认识客观事物的两大主要任务。其中“测量”是“控制”的基础,是采用各种方法获得反映客观事物或对象的运动属性的各种数据,对数据进行记录并进行必要的处理。科学始于测量,没有测量就没有科学。“控制”是采取各种方法支配或约束某一客观事物或对象的运动过程以达到一定的目的。在科学技术高度发达的今天,测量与控制已经渗透到工业、农业、国防、科学研究等现代社会生活的各个领域。

“测控系统”是测量与控制系统的简称。广义的测控系统包括测量系统、控制系统和测控系统三种类型。测控系统的基本任务是借助专门的传感器感知对象信息并将其传输到计算机系统,在计算机系统中,通过信号处理方法对对象信息进行处理与数据分析,得到控制对象的有效状态信息和测试结果,进而将这些对象的控制信息传输给控制环节进行对象的行为控制,并将测试结果通过显示装置输出。现代测控系统的基本组成如图 1-1 所示。

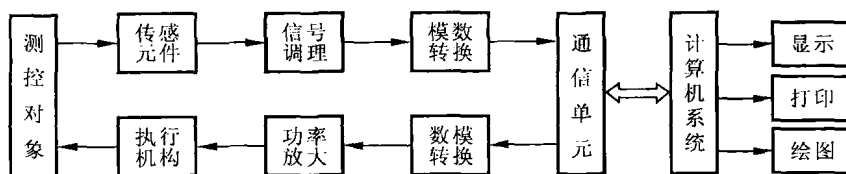


图 1-1 现代测控系统的基本组成

测控系统的最前级为传感元件,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;信号调理电路的作用是将传感器输出的微弱信号进行放大、滤波、整形、电平转换等,使之成为后续电路易于处理的信号;模数转换电路的作用是将信号调理电路变换过来的连续变化的模拟信号转换成离散的数字信号,供计算机识别及处理;通信单元的作用是为了在测控系统节点之间有一个统一的通信方式与计算机系统之间进行信息交换,常用的标准通信接口有 GPIB、VXI、USB 及 RS-232 等接口;计算机系统的作用是对数字化了的被测信号进行计算、定标、误差校正或自动校准等处理,可以是工业 PC(IPC),也可以是嵌入式系统或单片机系统,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功率放大电路或驱动电路驱动执行机构来控制测控对象的某些参数。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。

由前所述,测控电路一方面担负着信号二次变换的重任,其实质是电位或波形变化,其主要功能是抑制传感器输出信号中的噪声,放大有用信号,将放大后的信号进行数字化;另一方面担负着实现控制功能的输出驱动信号的作用。由于被测和被控物理量及其相应传感器和驱动器的多样性,与此相应的测控电路必然具有多样性,因此测控电路在设计上灵活性很强。从测量准确度的角度来说,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 测控电路的类型和组成

测控电路的组成随被测参数、信号类型与控制系统的功能和要求不同而异,其类型也相应有多种。下面分别按测量电路和控制电路的类型和组成进行叙述。

1. 测量电路的类型和组成

按照传感器输出的信号是模拟信号(如电压、电流信号等)和数字信号(如开关信号、频率信号等)的不同,可以将测量电路分为模拟测量电路和数字测量电路两大类,其基本组成分别如图 1-2(a)、(b)所示。

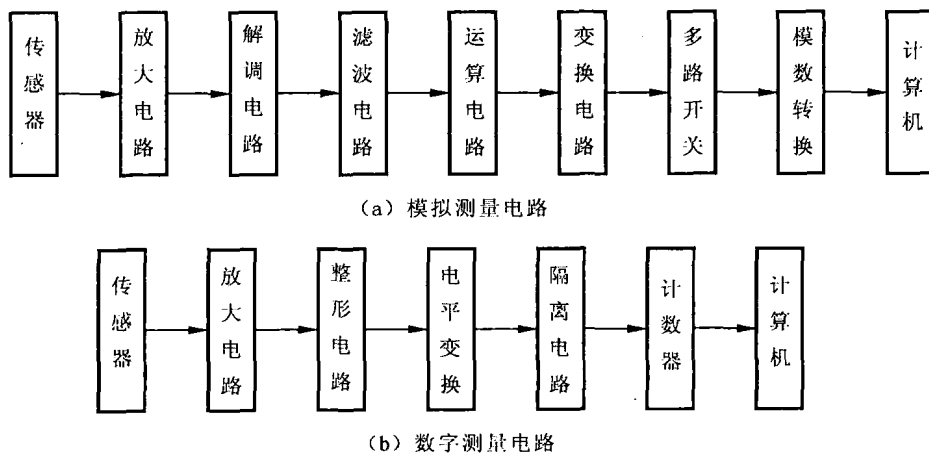


图 1-2 测量电路的类型和基本组成

图 1-2 中传感器将被测非电量转换为电信号,被测信号一般比较微弱,通常需要先进行放大。有的传感器(如电感式、电容式和交流应变电桥等)输出的是调制过的模拟信号,因此,还需要解调电路解调。被测信号中混杂有各种干扰,常常要用滤波器来滤除。有些被测参数比较复杂,往往要进行必要的运算,才能获取被测量。为了便于远距离传送、显示或 A/D 转换,常常需要将电压、电流、频率三种形式的模拟电信号进行相互转换。如图 1-2(a)所示通道中,被测信号一直是模拟形式存在和传送的,在进入计算机前经过模数转换电路变成数字信号,对于多路模拟信号,可以先经过多路转换开关,分时复用模数转换电路。通常模拟信号都要经过以上几个环节进行调理,因此又将模拟测量电路称为信号调理电路。相对模拟测量电路,数字测量电路要简单一些,如图 1-2(b)所示,主要完成波形整形、电平变换,如将非 TTL 电平变换为 TTL 电平,对于开关信号进行防抖处理,对于有干扰的环境进行信号隔离等,再经过计数器电路或 I/O

接口完成频率采集或开关信号的采集, 传送给计算机。

通常, 大部分传感器输出的信号是电压、电流、频率、开关信号, 图 1-3 所示为针对这些输出信号常用的一些测量电路的结构。

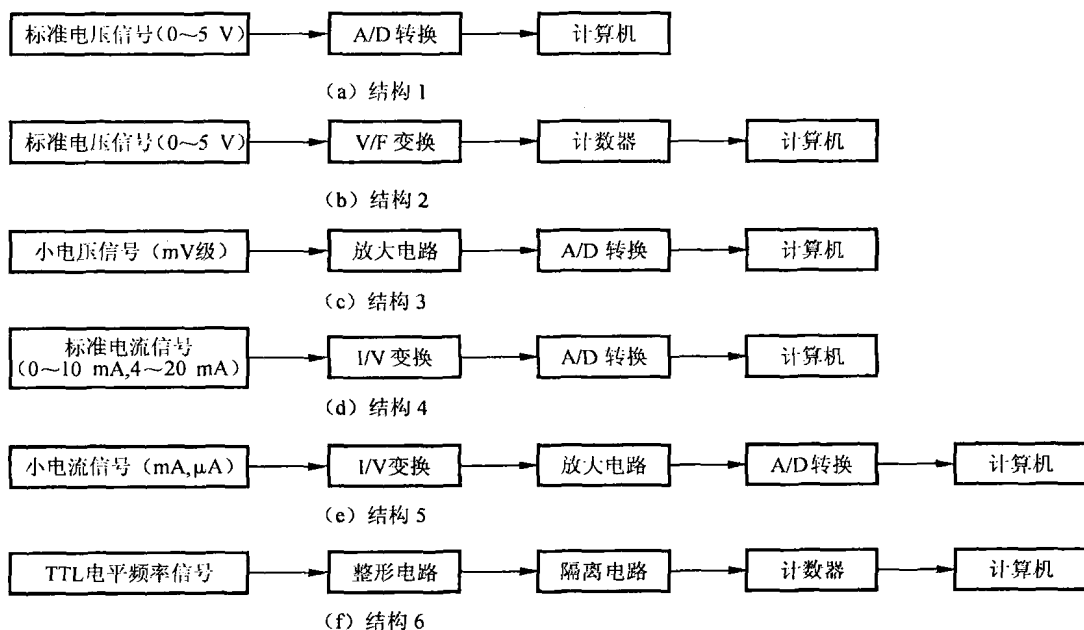


图 1-3 常用的一些测量电路的结构

2. 控制电路的类型和组成

在微机化测控系统中, 按照输出到被控设备的控制信号的形式, 控制电路可分为模拟量控制电路和开关量控制电路两大类。模拟量控制是控制输出信号(如电压、电流等)的幅度, 使被控设备在零到满负荷之间运行。而开关量控制则是通过控制设备处于“开”或“关”状态的时间达到运行控制的目的。

模拟量控制电路和开关量控制电路的基本组成分别如图 1-4(a)、(b)所示。在图 1-4(a)中, 计算机输出的数字量代表与输出量大小成正比的一组二进制数码, 经数模转换变为模拟控制电压。而在图 1-4(b)中, 计算机“输出”的只是代表“开”或“关”的一位数码“1”或“0”。由于驱动被控设备需要一定的电压和电流, 因此, 在控制电路输出端上都设置有能满足驱动功率要求的直流功放驱动电路或功率开关驱动电路。由于控制对象多为大功率的电气(强电)设备, 容易产生各种干扰, 所以, 控制电路中大多采用光电耦合器进行输入、输出信号的隔离。

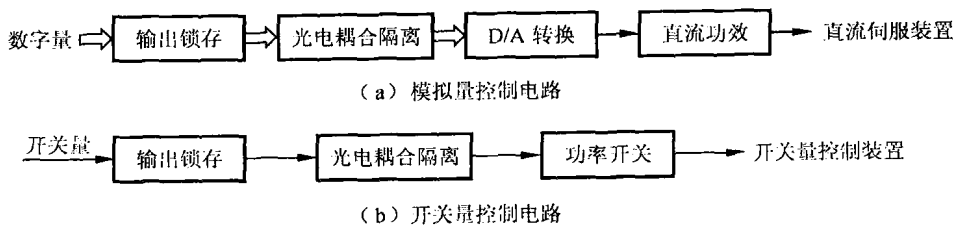


图 1-4 控制电路的类型和基本组成

1.3 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、快速响应和高可靠性等。

1. 高精度

所谓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。这是指采取各种手段抑制无用信号,放大有用信号。在精密测量中,要精确测得被测参数的微小变化,必须要求测量电路具有低噪声和高抗干扰能力,包括选用低噪声器件,合理安排电路,采用具有高共模抑制比的电路,合理布线与接地,采取适当的隔离与屏蔽等。另外,对信号进行调制,合理安排电路的通频带,使其与无用信号的频带不同,对抑制干扰也有重要作用。

(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,使得电路输出会受环境温度的影响,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,没有稳定性,精确性也就无从谈起,因此低漂移、高稳定性是高精度的必备条件。为了减小漂移,首先应选择温漂小,即对温度不敏感的元器件,其次应尽量减小电路中的电流,让大功率器件远离前级电路,同时设计散热电路等。

(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,是指电路实际输入-输出曲线与理论直线之间的偏差程度。从理论上讲,仪器的输入与输出之间可以按非线性函数关系定标,传递函数的非线性并不影响仪器的精度。但是,通常要求仪器或系统的输入与输出之间具有线性关系,这是因为:① 线性定标容易读出;② 在换挡时只是改变分度值而不必另行定标;③ 记录曲线波形不失真;④ 进行模/数转换、细分、伺服系统控制跟踪时均不必考虑非线性因素,比较方便。

保真度是由视听设备中借用过来的一个概念,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特性所引起的。为了保证测量数据、记录图形反映被测量原貌,不仅要求系统的非线性失真小,而且要求由幅频特性、相频特性带来的失真小。显然,线性和保真度越好,电路的精度就越容易得到保证。

(4) 合理的输入与输出阻抗。即使电路完全没有计算误差,但应用于测控系统时,由于输入-输出阻抗的不合理,仍可能给系统带来误差。若测量电路的输入阻抗太低,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信号,引起运算误差;而输入阻抗越高越易引入噪声等干扰,因此应使测控电路的输入阻抗与前级的输出阻抗相匹配。对于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

$$k = \frac{\Delta U_{\text{out}}}{\Delta U_{\text{in}}} \quad (1-1)$$

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。这里所说的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,因此

高灵敏度是以高分辨力为前提的。

3. 快速响应

由于被测对象及仪器的工作原理不同,对电路的频率特性要求也各不相同。随着科学技术的发展,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、快速响应的特性。如果测量电路没有良好的频率特性、高的响应速度,就不能准确地测出被测对象的运动状况,无法对被测系统进行准确控制。

4. 转换灵活

为适应各种工况下测量与控制的需要,要求测控电路有灵活地进行各种转换的能力。

(1) 模数与数模的转换。自然界的被测物理量多为模拟量,为满足计算机化测控的要求,要将模拟信号转换成数字信号;而为了驱动执行机构,又要将数字信号转换成模拟信号。

(2) 信号形式的转换。为了信号处理与传输上的需要,经常进行交流-直流转换,电压与电流之间的转换,幅值、相位、频率与脉宽之间的转换。

(3) 量程的转换。被测信号的大小千差万别,对于小信号要求高增益,对于大信号要求低增益,为了适应测量、控制不同大小量值的需要,而不引起饱和与显著的失真,电路应能根据信号的大小进行量程的变换。

(4) 信号的选取。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。

(5) 信号的处理与运算。在测控系统中常需要对信号进行处理与运算,如求平均值、差值、峰值、绝对值、导数、积分等,也包括线性化处理、误差补偿、逻辑判断。

5. 可靠性

可靠性指的是系统、设备或元器件在规定的条件下,在规定的时间内,完成规定功能的能力。可靠性是对一定的时间而言的,一般用可靠度和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。

如果一个系统测控电路部分由5个模块组成,每个模块又由100个元器件组成,设每个元器件的可靠度为0.9999,则每个模块的可靠度为 $0.9999^{10} = 0.9901$,而整个测控电路部分的可靠度为 $0.9901^5 = 0.9515$ 。如果模块更多或者组成每个模块的元器件增多,可靠性会继续降低。为了提高系统的可靠性,除了可以提高每一部分的可靠性,选用高可靠性的元器件以外,还可以通过减少组成环节、增加冗余度来提高可靠性。

1.4 测控电路的发展趋势

测控电路的发展日新月异,其主要发展趋势可概括为以下几个方面。

1. 优质化

随着科学技术的发展,电子器件的性能不断得到完善。一些低噪声、高稳定性、高输入阻抗、高频响、宽频带的电子器件不断出现,一些精度高、响应快、灵敏度高并能满足各种使用要求的电路相继问世,并且性能指标不断提高、功能日益完善、价格不断下降。但是科技与生产又不断对它们提出新的要求,一般来说,一个器件、一种电路不可能在功能、性能、可靠性、价格上同时满足最佳要求,而要根据使用要求合理选择。

2. 集成化

集成化是电路发展的一个重要趋势。一方面是集成度越来越高,单个晶体管的尺寸已做到亚微米级,在一块芯片上集成几十万只、上百万只晶体管已成为现实,限制集成度的主要因素是引脚的安排;另一方面是集成范围越来越宽,集成电路的品种越来越多,各种集成块相继出现。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,缩小了体积,简化了测控电路的设计,并且其性能指标和可靠性大大提高,成为今后测控电路发展的主流方向。

集成电路不仅体积小、功耗小,而且引线短、寄生因素小,容易达到较高精度与频响。集成电路的一个特点是有源元件容易制作,无源元件难以制作,电感、变压器等更难制作;另一个特点是参数不易精确,但一致性较好,因此采用差动电路较多。

3. 数字化

数字电路不仅读数方便、客观,能较好地解决量程与分辨力之间的矛盾,而且易于集成化,抗干扰能力强,便于记忆保存,便于与计算机连接,在测控电路中应用越来越广。但是数字电路不可能完全代替模拟电路。

4. 通用化、模块化

通用化具有以下三个方面的含义。

(1) 在一个电路中尽量采用相同的单元电路,这给元器件的订购、电路调试、电路集成化都带来方便。

(2) 整个系统的构成采用电路模块化、积木化。

(3) 推广通用仪器使用。

为了使仪器与测控系统具有更强的柔性,便于按需要扩展功能,同时有利于降低成本,要求电路通用化、模块化。

5. 网络化

随着计算机技术、网络技术和通信技术的高速发展与广泛应用,建立开放的、互操作的、模型化的、可扩展的网络化测控系统成为可能。现代测控系统网络化有利于降低系统的成本,有利于实现远距离测控和资源共享,有利于实现测控设备的远距离诊断与维护。其中网络接口电路成为现代测控系统网络化的重要组成部分。

6. 自动化与智能化

不仅要求现代控制系统能自动控制,而且要求它能在复杂的情况下自行判断,具有自学习、自诊断故障、自动排除故障、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。

1.5 本课程的主要内容及学习方法

本课程是测控技术与仪器专业的一门专业基础课,主要阐述如何利用电子技术解决测量和控制中的任务,实现测控的总体思想,围绕精、快、灵和测控任务的其他要求来选用和设计电路。

本书共分 10 章,主要介绍工业生产和科学研究中常用的测量与控制电路,包括测控电路的功用和对它的主要要求、测控电路的类型与组成、测控电路的发展趋势、信号放大电路、信号转换电路、信号处理电路、信号细分与辨向电路、控制输出电路、信号传输电路、电源电路、测控电

路中的抗干扰技术,最后通过若干典型测控电路实例对电路进行分析。

近些年来集成电路技术发展得很快,很多原来由分立元件构成的功能电路都已由集成芯片或模块代替,性能得到提高,同时也简化了应用。因此,本书在介绍基本的测量控制电路的基础上,在各章节重点介绍了相应的集成芯片和模块的使用。

由于传感器输出的信号一般都很微弱,本书第2章首先介绍放大电路,在介绍了集成运算放大器的基础知识、反相运算放大器、同相运算放大器的基础上,讲述了各种功能放大器的原理和应用,如与压电传感器配合使用的电荷放大器、具有高共模抑制比的仪用放大器、输入电路、输出电路、与电源之间没有直接电路耦合的隔离放大器,以及可通过编程控制增益的程控增益放大器。

第3章主要介绍了信号转换电路,包括电压/电流转换、电压/频率转换、模拟数字转换。本章在讲述了各转换电路基本的转换原理后,重点介绍了集成芯片在各种转换电路中的应用。

第4章介绍了常用的一些信号处理电路的内容,包括电压比较电路、峰值与绝对值检测电路、调制解调电路、滤波电路及信号隔离电路。

第5章讲述了信号细分与辨向电路,介绍了如何利用电路实现对周期性的测量信号进行插值以提高仪器和系统的分辨力,并以位移传感器的输出为例,介绍了细分电路和辨向电路的应用。

第6章介绍了控制输出电路,包括功率开关驱动电路,如控制指示灯的“亮”与“灭”,以及继电器与电磁阀驱动电路、直流电机驱动电路、步进电机驱动电路、LED显示驱动电路。本章在介绍了常用的驱动电路外,在直流电机、步进电机驱动和LED显示驱动电路的应用中,还介绍了近年来常用的驱动芯片的使用。

第7章介绍了信号传输电路,信号的传输方式是测控系统中非常重要的组成部分。在本章中主要介绍目前常用的几种方式,如电流环电路、RS-485、RS-232通信接口电路、USB通信接口电路。

第8章介绍了在测控电路中使用的各种电源电路,包括直流稳压电源的各种指标、基准源电路、线性直流稳压电源、单片电源变换电路。

抗干扰技术是使测控系统工作可靠、稳定的关键性技术,因此在第9章中重点介绍了测控电路中常用的抗干扰技术,包括干扰源、干扰的耦合方式及各种硬件抗干扰技术,如接地技术、屏蔽技术等。

本书最后一章对科研中实际用到的各种测控电路的实例进行了分析,以加强学生对测控电路的理解和应用。

“测控电路”是一门实践性很强的课程,在学习时应注意以下几个方面。

(1) 各种电子元件和集成电路的工作原理、构成、内部电路分析在先修课程模拟和数字电子技术中讲述,本课程只注重讲述它们的外特性、应用,以及如何构成所需的功能电路。

(2) 不仅要学习电路的分析,还要学习电路的综合设计,要考虑前、后级电路的关系,以及单元电路在系统中的作用。

(3) 电路设计不仅要选择元器件常数以确保电路的功能和参数符合要求,还要设计和选择合适的电路形式、使用环境条件、工艺性和成本等因素。

(4) 多阅读科技期刊上的文献,掌握一些实际应用及新原理、新器件,开阔视野和思路。

(5) 注重课程的实践环节,重视课内实验,认真准备,并分析实验结果。

(6) 注意与其他课程如传感器、微机原理及接口技术、模拟电路、数字电路的衔接。

思考题与习题

- 1-1 查找资料说明两个测控系统的工作原理。
- 1-2 画图说明现代测控系统的组成,并说明测控电路在整个测控系统中起着什么作用。
- 1-3 测控电路的类型有哪些?

第 2 章 信号放大电路

信号放大电路是为了将微弱的传感器信号,放大到足以进行各种转换处理或推动指示器、记录器及各种控制机构。由于传感器输出的信号形式和大小各不相同,传感器所处的环境条件、噪声对传感器的影响也不一样,因此所采用的放大电路的形式和性能指标也不同。在有的情况下还要求对增益能够程控,对噪声背景下的信号放大能够隔离,即采用隔离放大电路。

随着集成技术的发展,集成运算放大器的性能不断完善,价格不断降低,完全采用分立元件的信号放大电路已被淘汰,主要是用集成运算放大器组成的各种形式的放大电路,或专门设计并制成具有某些性能的单片集成放大器。但在功率放大电路中,晶体管仍有相当应用。

2.1 集成运算放大器基础

1. 集成运算放大器的定义及表示

集成运算放大器是一种高增益的、以直流差动放大器为基础而构成的多级直接耦合放大器。20 世纪 60 年代初,随着现代电子技术的不断发展,出现了崭新的半导体集成工艺,它能把晶体管、电阻、电容及内部连线所构成的具有特定功能的电路,集中制作在很小一块硅材料基片上,形成一个不可分割的密集整体,称这种电路为集成电路。集成运算放大器(简称集成运放)就是以集成电路为基础构成的。

1) 集成运放的组成框图及封装

虽然不同型号集成运算放大器的内部电路各不相同,但原则上它们都由输入级、中间放大级、低阻输出级及偏置电路组成,如图 2-1 所示。

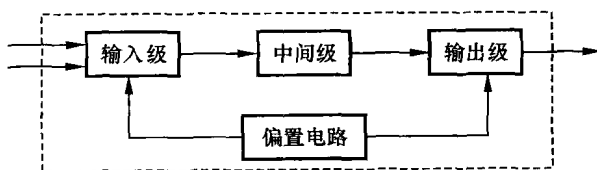


图 2-1 集成运算放大器的组成框图

集成运算放大器的封装形式有三种:圆壳式、双列直插式和扁平式。

2) 集成运放的电路符号

集成运放作为一个电路器件,它在电路图中常用一个方形的符号表示,如图 2-2 所示。

图中: $U_o = A_v(U_+ - U_-)$; A_v 表示运放的电压放大倍数; \triangleright 代表传输方向。

注意:实际运放都要接电源,但在符号图中,一般不标出来。另外,图中“+”、“-”并不意味着“+”端的电位一

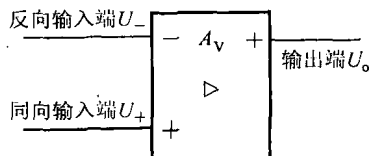


图 2-2 集成运算放大器的电路符号