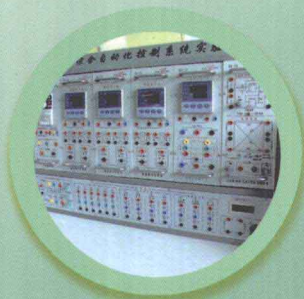
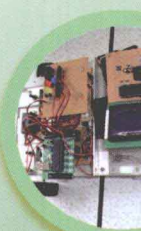
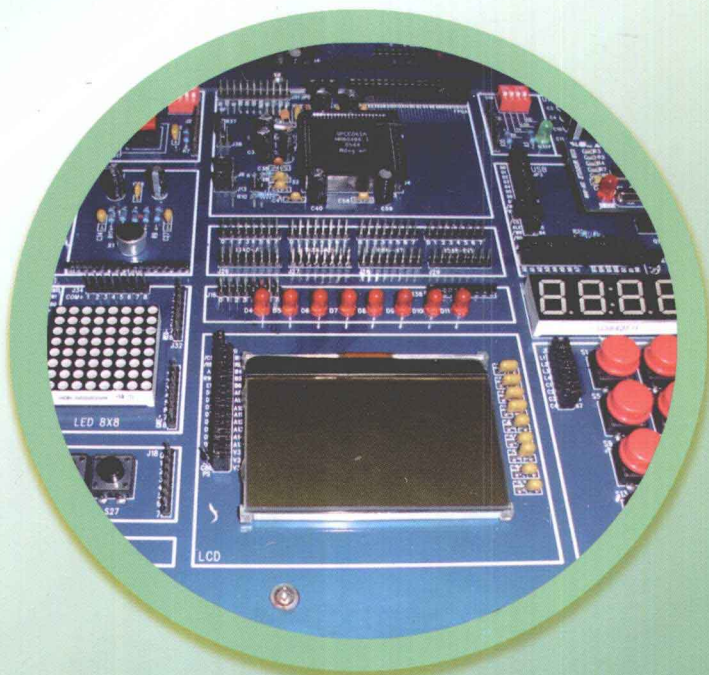


高等院校培养应用型人才电子技术类课程系列规划教材

控制系统课程设计

张 丹 吴新开 主编



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

高等院校培养应用型人才电子技术类课程
系列规划教材

控制系统课程设计

主 编 张 丹 吴新开
副主编 李晓峰 王南兰 祖国建
张福阳 余建坤



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

控制系统课程设计/张丹,吴新开主编. —长沙:中南大学出版社,
2012.6

ISBN 978-7-5487-0508-6

I. 控... II. ①张... ②吴... III. 控制系统 - 课程设计 -
高等学校 - 教材 IV. TP273 - 41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 048527 号

控制系统课程设计

主编 张 丹 吴新开

☐责任编辑 邓立荣

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙市宏发印刷厂

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 9.75 ☐字数 240 千字

☐版 次 2012 年 6 月第 1 版 ☐2012 年 6 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0508-6

☐定 价 25.00 元

图书出现印装问题,请与出版社调换

高等院校培养应用型人才 电子技术类课程系列规划教材编委会

丛书主编：吴新开

丛书副主编：张一斌 郭照南

编委会人员：（排名不分先后）

吴新开(湖南科技大学)	刘安玲(长沙学院)
欧青立(湖南科技大学)	张志刚(长沙学院)
沈洪远(湖南科技大学)	张 丹(长沙学院)
姚 屏(湖南科技大学)	张跃勤(长沙学院)
韦文祥(湖南科技大学)	张海涛(长沙学院)
陈 婷(湖南科技大学)	瞿 翌(长沙学院)
曾 屹(中南大学)	刘 辉(长沙学院)
张静秋(中南大学)	周继明(邵阳学院)
吕向阳(中南大学)	江世明(邵阳学院)
张一斌(长沙理工大学)	余建坤(邵阳学院)
王小华(长沙理工大学)	罗邵萍(邵阳学院)
刘 晖(长沙理工大学)	石炎生(湖南理工学院)
贺科学(长沙理工大学)	张国云(湖南理工学院)
夏向阳(长沙理工大学)	湛腾西(湖南理工学院)
张福阳(南昌大学)	陈日新(湖南文理学院)
郭瑞平(辽宁科技学院)	王南兰(湖南文理学院)
吴舒铎(中南林业科技大学)	伍宗富(湖南文理学院)
朱俊杰(中南林业科技大学)	周志刚(湖南文理学院)
李 颖(中南林业科技大学)	熊振国(湖南文理学院)
任 嘉(中南林业科技大学)	王 莉(湖南商学院)
曹才开(湖南工学院)	何 静(湖南商学院)
汤群芳(湖南工学院)	蒋冬初(湖南城市学院)
罗雪莲(湖南工学院)	雷 蕾(湖南城市学院)
刘海波(湖南工学院)	尹向东(湖南科技学院)
郭照南(湖南工程学院)	田汉平(湖南人文科技学院)
陈爱萍(湖南工程学院)	朱承志(湘潭职业技术学院)
孙胜麟(湖南工程学院)	祖国建(娄底职业技术学院)
余晓霏(湖南工程学院)	刘理云(娄底职业技术学院)

前 言

本书是中南大学出版社推出的“高等院校培养应用型人才电子技术类课程系列规划教材”之一。随着自动化技术的不断发展,控制系统课程设计越来越受到人们的重视。为适应21世纪企业对应用型人才的能力要求,培养学生的系统综合运用能力,提高学生在控制系统方面的开发与设计本领,系统地掌握控制系统的设计方法,我们集湖南省各高等院校的教学改革与实践经验,编写了控制系统课程设计指导教材。

全书共分3章。第1章介绍了控制系统的基本要求、设计原则和设计方法,第2章介绍了控制系统的基本控制技术,第3章介绍了控制系统的常用设计实例。

本书编写力求简明实用,贴近生产实践,有利于培养应用型人才。它可作为高等院校自控类、电气类、电子类和机电类专业控制系统课程设计的教材,也可供有关工程技术人员参考。

本书由长沙学院张丹、湖南科技大学吴新开等编写,张丹担任了本书的总策划和统稿工作。参加本书编写工作的有李晓峰、王南兰(第1章)、张丹(第2章的2.1~2.4、第3章的3.1~3.4)、吴新开(第2章的2.5、第3章的3.5~3.7),祖国建、张福阳、余建坤参加了本教材的提纲讨论、部分章节内容的审阅。

在本书的编写过程中,得到了丛书编委会人员的支持与帮助及参编院校的大力支持,在此致以衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者
2012年5月于长沙

总 序

随着我国科学技术不断地发展、完善，以及教育体系不断地更新，社会用人单位对高校人才培养模式提出了更高更新的要求，复合型、创新型、实用型人才日益受到用人单位的青睐。这种发展趋势必将会使高校的人才培养模式面临着新的挑战，这就意味着如何提高高等学校毕业生的实际工作能力显得尤为重要。诚然，除了努力加强实践教学之外，还应着力加强和推进理论教学及其教材的建设与更新，显然，它是提高高等学校教学质量的一个必不可少的重要环节。根据教育部、财政部《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》的文件精神，启动“万种新教材建设项目，加强新教材和立体化教材建设”工程，积极组织好教师编写新教材。

鉴于此，中南大学出版社特邀请湖南省及外省部分高等学校从事电工电子技术教学、实验和应用研究的教授、专家和教学第一线的骨干教师、高级实验师组成教材编委会，编写了电工电子技术等系列教材。

本系列教材的主要特点为：

1. 充分吸取了教学改革、课程设置与教材建设等方面的经验成果，在内容的选材上(如例题和习题)力求理论紧密联系实际、注重实用技术的讲解和实用技能的训练。同时也能较好地反映出电子

电气信息领域的最新研究成果,体现了电子电气应用领域的新知识、新技术、新工艺与新方法。

2. 根据专业特点,对传统教材的内容进行了精选、整合、优化,以满足理论教学与实验教学的需求。同时,注意到与相关课程内容之间的衔接,从而保证了教学的系统性,有利于理论教学。

3. 编写与电子技术类课程设计相配套的指导性教材,有利于实践性教学。

4. 该系列教材中,基本概念의阐述较清晰,层次分明,语言表述做到了通俗易懂,有利于学生自学。

目前,我国高等教育的模式还有赖于日趋完善,教材体系尚未完全建立,教材编写还处于不断探索的阶段,仍需要我国高等学校的广大教师持之以恒、不懈地努力、辛勤地耕耘,编写出更多更好的能满足新形势下教学需要的实用教材。

我相信并殷切地期望该系列教材的出版,它不仅会受到广大教师的欢迎,满足教学的需要,而且还将会对我国高等学校的教材建设起到积极的促进作用。最后,预祝《高等院校培养应用型人才电子技术类课程系列规划教材》出版项目取得成功,为我国高等教育事业和信息产业的蓬勃发展与繁荣昌盛培土施肥。同时,也恳切地希望广大读者、同仁对该系列教材的不足之处提出中肯的意见和有益的建议,以便再版时更正。



谨识

教育部中南地区高等学校电子电气基础课教学研究會理事长
武汉大学电子信息学院 教授/博士生导师

目 录

第 1 章 控制系统课程设计基础	(1)
1.1 自动控制系统的定义与构成	(1)
1.2 自动控制系统的分类方法	(1)
1.3 控制系统的基本要求	(2)
1.4 控制系统的设计原则及设计步骤	(3)
1.4.1 设计的基本原则	(3)
1.4.2 设计步骤	(3)
1.4.3 成绩评定	(4)
1.5 控制系统课程设计的一般方法	(5)
第 2 章 控制系统的基本控制技术	(7)
2.1 信号转换与调理技术	(7)
2.1.1 电桥	(7)
2.1.2 放大器	(9)
2.1.3 调制电路	(11)
2.1.4 滤波电路	(13)
2.1.5 采样/保持器	(15)
2.1.6 信号转换电路	(16)
2.2 控制系统中的干扰抑制技术	(18)
2.2.1 干扰来源	(18)
2.2.2 干扰的传播	(20)
2.2.3 干扰抑制技术	(22)
2.3 常见误差的处理	(32)
2.3.1 测量误差	(32)
2.3.2 误差处理	(35)
2.4 传感器的选用	(37)
2.4.1 传感器概述	(37)

2.4.2	传感器的性能要求	(40)
2.4.3	传感器选用原则	(41)
2.5	反馈控制器的选择与设计	(42)
2.5.1	控制器的分类	(42)
2.5.2	控制系统的指标	(42)
2.5.3	反馈调节器的选择	(44)
2.5.4	反馈调节器的参数设计	(51)
2.5.5	数字控制器的设计	(52)

第3章 控制系统常用设计 (55)

3.1	电梯逻辑控制系统设计	(55)
3.1.1	基本结构及控制要求	(55)
3.1.2	系统总体设计	(57)
3.1.3	系统硬件设计	(59)
3.1.4	程序设计	(62)
3.2	水温控制系统的设计	(64)
3.2.1	设计任务与要求	(64)
3.2.2	总体论证	(65)
3.2.3	系统设计	(66)
3.2.4	硬件开发	(68)
3.2.5	软件开发	(74)
3.3	加热炉温度测控系统的设计	(77)
3.3.1	温度测控系统的设计要求与组成	(78)
3.3.2	温度测控系统的硬件电路	(79)
3.3.3	温度测控系统的软件设计	(83)
3.4	双闭环系统的工程设计	(86)
3.4.1	双闭环系统的设计技术要求	(86)
3.4.2	双闭环系统的稳态设计	(86)
3.4.3	双闭环系统的动态结构框图	(87)
3.4.4	电流调节器的设计	(88)
3.4.5	转速调节器的设计	(91)
3.5	直线步进电机控制系统设计	(95)
3.5.1	两相混合式直线步进电机的电磁原理	(95)
3.5.2	两相混合式直线步进电机的数学模型	(96)
3.5.3	控制系统硬件电路设计	(97)

3.5.4 控制系统软件设计	(105)
3.6 空调室内无刷直流电机控制系统的设计	(107)
3.6.1 无刷直流电机的工作原理	(107)
3.6.2 空调室内无刷直流电机控制系统硬件设计	(109)
3.6.3 空调室内无刷直流电机控制系统软件设计	(117)
3.7 PDP 电源的 MCU 控制系统设计	(119)
3.7.1 表面放电式彩色 PDP 电源系统组成	(119)
3.7.2 表面放电式彩色 PDP 电源系统工作时序	(120)
3.7.3 基于微控制器的 PDP 电源系统硬件设计	(122)
3.7.4 基于微控制器的 PDP 电源系统软件设计	(133)
参考文献	(144)

第1章 控制系统课程设计基础

自动控制系统已被广泛应用于人类社会的各个领域。

在工业方面,对于冶金、化工、机械制造等生产过程中遇到的各种物理量,包括温度、流量、压力、厚度、张力、速度、位置、频率、相位等,都有相应的控制系统。在此基础上通过采用数字计算机还建立起了控制性能更好和自动化程度更高的数字控制系统,以及具有控制与管理双重功能的过程控制系统。在农业方面的应用包括水位自动控制系统、农业机械的自动操作系统等。

在军事技术方面,自动控制的应用实例有各种类型的伺服系统、火力控制系统、制导与控制系统等。在航天、航空和航海方面,除了各种形式的控制系统外,应用的领域还包括导航系统、遥控系统和各种仿真器。

此外,在办公室自动化、图书管理、交通管理乃至日常家务方面,自动控制技术也都有着实际的应用。随着控制理论和控制技术的发展,自动控制系统的应用领域还在不断扩大,几乎涉及生物、医学、生态、经济、社会等各个领域。

1.1 自动控制系统的定义与构成

自动控制系统(automatic control systems)是在无人直接参与下可使生产过程或其他过程按期望规律或预定程序进行控制的系统。自动控制系统是实现自动化的主要手段,简称自控系统。

自动控制系统由执行元件、测量元件和控制元件三部分组成。

(1)执行元件用于改变被控量,如电机作为执行元件可以改变机械臂的角度。

(2)测量元件用于测量被控量,如采用旋转变压器或者码盘等角位置测量元件可以检测机械臂的转角。

(3)控制元件用于实现闭环控制,改善被控系统性能,一般采用模拟电路、DSP、PLC或者计算机等部件实现,可以校正被控对象,改变系统开环传递函数,使闭环系统满足一定的性能指标要求。

1.2 自动控制系统的分类方法

自动控制系统的分类有两种,即按原理或按给定信号的方法分类。

1)按控制原理分类

按此法自动控制系统分为开环控制系统和闭环控制系统。

(1) 开环控制系统

在开环控制系统中,系统输出只受输入的控制,控制精度和抑制干扰的特性都比较差。开环控制系统中,基于按时序进行逻辑控制的称为顺序控制系统,它由顺序控制装置、检测元件、执行机构和被控工业对象所组成,主要应用于机械、化工、物料装卸运输等过程的控制以及机械手和生产自动线。

(2) 闭环控制系统

闭环控制系统是建立在反馈原理基础之上的,利用输出量同期望值的偏差对系统进行控制,可获得比较好的控制性能。闭环控制系统又称反馈控制系统。

2) 按给定信号分类

按此法自动控制系统可分为恒值控制系统、随动控制系统和程序控制系统。

(1) 恒值控制系统

给定值不变,要求系统输出量以一定的精度接近给定希望值的系统。如生产过程中的温度、压力、流量、液位高度、电动机转速等自动控制系统属于恒值系统。

(2) 随动控制系统

给定值按未知时间函数变化,要求输出跟随给定值的变化,如跟随卫星的雷达天线系统。

(3) 程序控制系统

给定值按一定时间函数变化,如程控机床。

1.3 控制系统的基本要求

工程上对控制系统的基本要求:

- (1) 稳(基本要求)。要求系统要稳定。
- (2) 准(稳态要求)。系统响应达到稳态时,输出跟踪精度要高。
- (3) 快(动态要求)。系统阶跃响应的过渡过程要平稳、快速。

1. 稳定性

一个控制系统能正常工作的首要条件是系统必须是稳定的。由于控制系统是具有反馈作用的闭环系统,因此,系统有可能趋向振荡或不稳定,不稳定的系统是无法工作的。

稳定的控制系统在阶跃信号或扰动信号的作用下,其响应的暂态过程应该是收敛的。如果系统设计不当,则在阶跃信号或扰动信号的作用下,相应的幅值振荡可能成为等幅振荡,甚至成为振幅逐渐增大的发散振荡,发生这种情况的系统称为不稳定系统。

系统稳定性包括两个方面的含义:

- (1) 系统稳定,称为绝对稳定,即通常所说的稳定性。
- (2) 输出响应振荡的强烈程度,称为相对稳定性。

例如系统是绝对稳定的,但是在阶跃信号作用下,响应振荡很强烈,而且振荡的衰减很慢,则该系统虽然属于稳定系统,但相对稳定性差。

2. 准确性

对于控制系统的准确性要求是控制系统设计中需要考虑的指标之一,要求系统准确性(稳态精度)高,一般采用稳态误差来表示。系统在输入信号的作用下,其响应经过暂态过程进入稳态后,系统的输出量与希望值之间的误差,称为稳态误差。

3. 快速性

在实际控制过程中,不仅要求系统稳定,而且要求被控量能迅速按照输入信号所规定的形式变化,即要求系统具有一定的响应速度。由于系统中总包含一些惯性元件,因此在输入信号作用下,系统的响应总要经过暂态过程之后才能达到稳态。

1.4 控制系统的设计原则及设计步骤

1.4.1 设计的基本原则

课程设计的主要目的是让学生接触工程实际问题,初步培养学生工程设计和实践的能力。因此,组织课程设计应遵循以下基本原则:

(1)选题尽量靠近工程实际的原则。课程设计题目选择得是否合适,直接关系到它的教学效果。因此,必须认真而又慎重地选择好课程设计的具体任务。首先,题目要符合培养方案的要求,使学生能够运用本课程所学基本知识,进行基本技能的训练;其次,又要尽量接近工程实际,将书本知识深化和扩展,便于学生了解工程设计的基本方法;再次,题目不宜过大,课题指标应能使学生通过努力而可以达到,并能让不同接受程度的学生通过努力都能完成设计任务,得到收获;最后,题目内容还应当尽量反映检测与控制系统的最新水平和成果,反映新材料、新器件的运用,以利于激发学生设计的兴趣和热情。

(2)学生独立思考的原则。为了保证课程设计效果,在整个课程设计教学环节中,要始终鼓励和引导学生独立思考。包括独立查阅文献资料、独立查找器件手册、独立完成方案论证、独立教学电路设计、独立搭建装配系统、独立调试、独立完成设计报告(说明书)等。

(3)初步培养团队协作精神原则。在设计过程中要求学生独立完成整个设计任务,是指教师尽量不要干预学生的设计。但是学生之间可以进行问题的讨论和辩论,可以协作完成某些重点和难点环节的工作。这样可以培养学生对团队协作完成设计工作的能力,为毕业后的实际工作打下基础。

1.4.2 设计步骤

按照本科教学培养方案,控制系统课程设计通常安排2~3周时间集中进行。具体课程设计,通常可分为三个阶段进行。

第一,设计计算阶段(约占总时间的40%)。包括如下三个步骤:

(1)拟定设计任务。教师向学生布置设计任务书,规定设计技术指标和其他要求。课程设计任务书应包含:①题目;②主要技术指标和要求;③给定条件和原始数据;④所用仪器设备;⑤参考文献。教师应讲授必要的系统原理和设计方法,着重帮助学生明确任务,掌握工程设计的基本方法。

(2) 查阅文献资料。学生在接受设计任务后,应根据任务要求和教师指定参考资料进行文献查阅;必要时可以组织一些专业性的调研或参观活动,以增加学生的感性认识,启发设计思路;最终按要求确定设计方案。

(3) 设计计算与编程。初步方案确定后,学生应着手进行分单元的电路原理图和系统图的设计与绘制,进行电路参数的计算和选择,进行系统控制策略的编程和软件设计。设计中应注意帮助学生掌握工程估算的方法,掌握电气保护的基本要求和设置方法。

第二,安装调试阶段(约占总时间的40%)。包括如下两个步骤:

(1) 搭建、组装电路。设计方案经过指导教师审查通过后,即可开始进行系统电路的搭建、组装(或制板、焊接)。此时,指导教师应向学生介绍实验室的相关设备和使用方法、实验室工作注意事项等。

(2) 系统电路单元测试。检测与控制系统搭建(或制作)完成后,应由学生自己进行调试实验。运用电子仪表检查、测量系统电路的工作状态。排除电路中的故障,调整元器件,改进系统电路性能,使之达到设计技术指标要求。实验结果或做出的成品,需经教师验收合格,方可结束实验调试工作。

实验调试往往是课程设计的重点和难点所在。因此,这一阶段安排的时间较长,辅导工作也应加强。因为设计出的电路,由于多种因素的影响,安装成系统后可能出现各种异常现象或故障,需要在教师的指导与帮助下,让学生按照设计图纸进行测量、查找原因、调整电路,再重复测量调整、解决电路问题,逐步修正设计。通过这一阶段的实验调试,可以锻炼和提高学生实际动手解决问题的能力。

第三,总结报告阶段(约占总时间的20%)。

学生对设计的全过程作出系统总结报告,按照统一格式写出设计说明书。编写设计说明书(报告),能训练学生编制科研报告或技术资料的能力,同时也能使设计从理论上进一步得到总结和提高。因此,设计说明书(报告)必须独立完成。

课程设计说明书(报告)应包括的主要内容为:

(1) 设计任务及主要技术指标要求。

(2) 设计方案的选择论证及系统电路的工作原理。

(3) 单元电路的设计计算、元器件选择、电路图。

(4) 实际系统电路性能指标测试结果。它包括实测记录、整理和分析。注意要尽可能用图、表加以说明,还应注明测试方法和仪器种类、型号规格等。对调试中出现的主要问题也应作出分析,从理论和实践的相结合上讲清故障原因及改进的方法和效果。

(5) 按照国家标准画出系统整机电路图,列出元器件明细表。

(6) 对设计成果作出评价,说明本设计的特点和存在的问题,提出改进设计意见,还可以谈谈通过课程设计的收获和心得体会。

1.4.3 成绩评定

控制系统课程设计的成绩评定可以按照以下要求进行:

(1) 课程设计单独计一门成绩。

(2) 评定成绩主要依据学生的课程设计成果(说明书或报告及设计图、系统调试结果等),并参考设计过程中学生专业理论知识掌握程度、独立工作能力、学习态度以及遵守纪律

等方面的表现。

(3) 课程成绩分为优秀、良好、中等、及格、不及格五个等级。成绩分布要求合理，其中优秀的比例 $\leq 20\%$ ，及格和不及格的总比例 $\geq 10\%$ ，课程成绩不及格的学生应重做课程设计。

(4) 缓做课程设计和重做课程设计的成绩按照缓考和补考成绩记载，按照学校有关规定履行相关手续。

1.5 控制系统课程设计的一般方法

为了保证能顺利完成控制系统课程设计的任务，在整个设计过程中可按以下步骤进行。

(1) 拟定工作计划。学生应该养成制定计划并严格按照计划实施的工作习惯。这就要求学生在接受课程设计任务后，应该根据设计要求和应完成的设计内容，拟订设计任务书和工作进度计划，将设计过程分解成数个进程或阶段，确定设计各阶段应完成的工作量，妥善安排时间。其课程设计过程可参照表 1-1 的方式进行划分。

表 1-1 课程设计进程(安排)表

进程	任务分配	要 求	日期
第一阶段	熟悉设计任务、参观、查阅文献资料	参观相关设备或类似设备，阅读实际工程图纸，了解实际元器件，查阅元器件的性能和参数	
第二阶段	方案讨论	调研，提出设计思路和方案，讨论，修改	
第三阶段	电路设计(包括元器件选型、测试电路、控制电路、拖动系统、主线路和控制线路等)	依据实际元件搭建绘制并不断完善和改进	
第四阶段	绘制全部或选定工程图	运用 EDA、Protel、电气 CAD 出图	
第五阶段	制作或搭建模拟系统	制作 PCB 板、元器件焊接或搭建模拟仿真系统	
第六阶段	调试	对制作或搭建的仿真系统上电调试	
第七阶段	编写设计报告、使用或实验情况说明书		
第八阶段	其他		

表 1-1 中的第五阶段和第六阶段可根据课程设计计划时间长短和大纲要求进行取舍。

(2) 确定控制方案。在方案确定过程中，应主动提出问题，以取得指导教师的帮助。在此阶段提倡广泛讨论，做到思路开阔，依据充分。在具体的设计过程中，要求多思考、多比较。主要参数的确定要经过计算论证。

(3)绘制电路图。绘制电路图(或电气原理图)时必须符合国家有关标准,包括线条、图形符号、项目代号、回路标号、技术要求、标题栏、元件明细表以及图纸的折叠和装订等。

(4)编写设计说明书(报告)。编写的说明书(报告)要求文字通顺、简练、字迹端正、整洁。

(5)设计总结。对自己的设计系统路线要进行调试、实验分析,并考虑进一步改进的可能。

第2章 控制系统的基本控制技术

2.1 信号转换与调理技术

被测物理量通过信号检测传感器后转换为电参数或电量,如电阻、电感、电容、电荷、频率等需要进一步转换为电压或电流等电参数。一般情况下,电压、电流还需要放大,这些功能都由中间转换电路来实现。因此,中间转换电路是信号检测传感器与测量记录仪表和计算机之间的重要桥梁。它的主要作用是:

- (1) 将信号检测传感器输出的微弱信号进行放大、滤波,以满足测量、记录仪表的需要。
- (2) 完成信号的组合、比较、系统间阻抗匹配及反向等工作,以实现自动检测和控制。
- (3) 完成信号的转换。

在信号检测技术中,常用的中间转换电路有电桥、放大器、滤波器、调谐电路、阻抗匹配电路等。本章主要介绍它们的工作原理和使用方法。

2.1.1 电桥

电桥是将电阻、电感、电容等参数的变化转换为电压或电流输出的一种测量电路。由于电桥电路具有灵敏度高、测量范围宽、容易实现温度补偿等优点,因此被广泛采用。

电桥根据电源的性质可分为直流电桥和交流电桥两类。

2.1.1.1 直流电桥

图2-1所示是直流电桥的基本形式。它的4个桥臂由电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 组成。AB两端接直流电源 E ,CD两端接二次仪表。

1. 直流电桥的平衡条件

由图2-1可知

因为

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_2}, I_2 = \frac{E}{R_3 + R_4}$$

所以

$$U = U_C - U_D = I_1 R_1 - I_2 R_4 = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} E \quad (2-1)$$

测量前,必须使电桥平衡,即输出电压为零,则

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \quad (2-2)$$

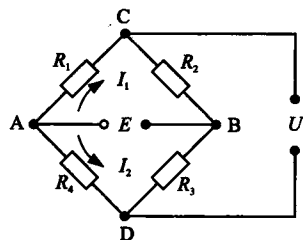


图2-1 直流电桥