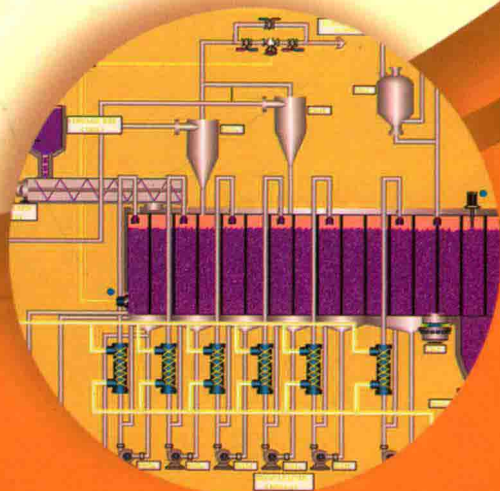




高等职业教育“十二五”规划教材
电气自动化技术专业系列

自动控制原理及应用

● 主 审 阎勤劳
主 编 郝建豹 徐 超



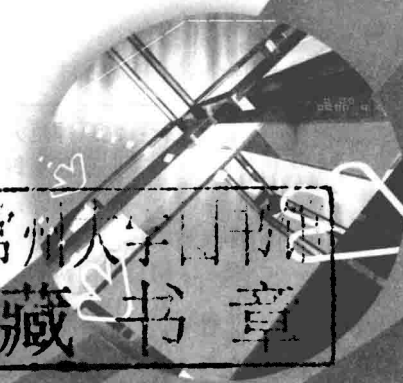
北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社



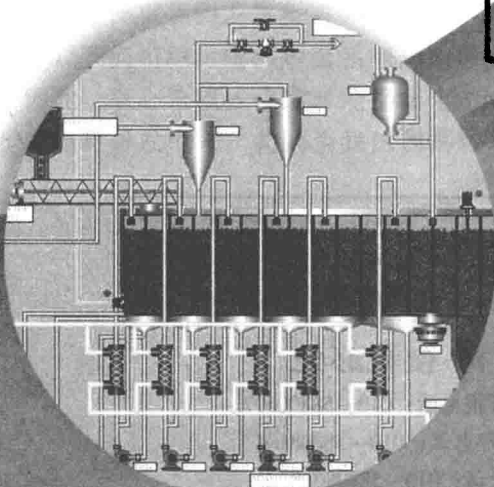
高等职业教育“十二五”规划教材
电气自动化技术专业系列

自动控制原理及应用

● 主 审 阎勤劳
主 编 郝建豹 徐 超
副主编 黄信兵 黄晓华
丁俊健 冯 杨



常州大学图书馆
藏书章



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理及应用 / 郝建豹, 徐超主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2011.8

(高等职业教育“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-303-13033-7

I. ①自… II. ①郝…②徐… III. ①自动控制理论—
高等职业教育—教材 IV. ①TP13

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第137691号

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街19号

邮政编码: 100875

印刷: 保定市中国画美凯印刷有限公司

经销: 全国新华书店

开本: 184 mm × 260 mm

印张: 13.5

字数: 290千字

版次: 2011年8月第1版

印次: 2011年8月第1次印刷

定价: 24.80元

策划编辑: 庞海龙

责任编辑: 庞海龙

美术编辑: 高霞

装帧设计: 弓禾碧工作室

责任校对: 李菡

责任印制: 孙文凯

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010—58800697

北京读者服务部电话: 010—58808104

外埠邮购电话: 010—58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010—58800825

出版说明

为贯彻落实教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高〔2006〕16号)精神,“十二五”期间,北京师范大学出版社将组织出版高等职业教育“十二五”系列规划教材。在组织教材编写的过程中,我们始终坚持科学发展观,紧紧围绕高等职业教育的培养目标,从满足社会发展对高素质劳动者和技能型人才的需求出发,坚持以就业为导向,以能力为本位,以学生为中心,以工作过程为导向的课程改革与教材建设理念,着力打造反映教学改革最新精神的职业教育教材。为此,我们邀请了全国职业教育的专家、有关高职院校的骨干教师,共同编写了本套系列规划教材。

经过众多专家、老师的努力,本套教材在教材体系、内容组织、图文表现等各方面都有所创新与发展,形成了鲜明的编写风格:

1. 目标驱动。关注的焦点放在通过任务的完成所获得的成果上面。通过成果的获得,激发学生学习的兴趣,激励学生勇于探索,不断进步。

2. 任务引领。每个项目分为若干个子任务,在任务的完成中学习相关知识、技能,实现学生的全面发展。

3. 学生为本。教材的设计以学生为中心,在教材组织的各个环节突出学生的主体地位,引导学生明确应该怎么做、做到什么程度。

4. 图文并茂。考虑到高等职业院校学生的心理和生理特点,本套教材尽量采用图形化、表格化和步骤化的呈现方式,便于学生学习。

5. 立体化开发。在组织教材编写的过程中,配套研发与教材相应的电子教案、课件、实训指导材料等助教、助学资源库,以便教师授课和学生学习使用。

当然,任何事物的发展都有一个过程,职业教育的改革与发展也有一个过程,同样,我们组织出版的本套系列规划教材也需要在教学实践的过程中不断完善,因此,衷心希望各位读者能提出宝贵的意见和建议,并积极参与到我们进一步的教材研发中来,共同为我国的高等职业教育教学改革和教材建设做出贡献。

北京师范大学出版社职教分社

内容简介

本书是高等职业教育“十二五”规划教材。根据高职教育教学改革的最新要求，并结合职业岗位的工作要求，本书以自动化领域中常用的直流电动机调速系统为对象，采用了“任务驱动，项目导向”的工学结合的教材编写模式。

本书以直流电机调速系统引出自动控制系统的基本概念，并介绍到日常生活中的多种自动控制系统，其中包括控制系统的数学模型、动态性能及稳态性能分析方法、性能改进措施等主要内容。本书在每个项目模块中都结合了 MATLAB/Simulink 仿真工具，简化了当前大多数自动控制原理教材中关于经典图解方法的叙述，突出了现代仿真工具的基本思想和用途。

本书可作为高职高专院校电气、自动化及机电类等专业的教材；也可以作为成人高校相关专业的教材或供相关专业人士自学。

前 言

为适应高职高专等应用型技术人才的培养工作,结合行业需求和高职学生的知识结构,我们编写了自动化类专业的一门核心基础理论课程——《自动控制原理及应用》。

自动控制原理是自动化学科的重要理论基础,是专门研究有关自动控制系统中基本概念、基本原理和基本方法的一门课程,是高等学校机电一体化、自动化、电气工程及其自动化等专业的一门核心基础理论课程。学好自动控制理论对掌握自动化技术有着重要的作用。

本书采用“任务驱动,项目导向”的工学结合的教材编写模式。为了充分体现任务引领、实践项目导向课程思路,本书以自动化领域中常用的直流电机调速系统的建模、性能分析、故障分析、排除技术及维护为主线,以高职学生必须具备的岗位职业能力为依据,遵循高职学生认知规律、将理论和实践内容完全融合,确定本教材的项目模块。同时以项目模块为单位组织,引出相关专业理论知识,使学生在完成各个项目训练的过程中,逐渐展开对专业知识的认识以及对技能的理解和应用,以培养学生的综合职业能力,满足学生职业生涯发展的需要。

本书在编写过程中,特别注重课程的体系结构,以自动控制为主线,强调自动控制的基本概念、基本原理和基本分析方法。本书内容精练,重点突出,淡化烦琐的理论推导,注重理论与实际的结合。充分考虑到高职学生的特点,在理论完整的前提下,内容力求深入浅出,注重学生能力的培养,帮助学生树立工程意识。并注意将传统控制理论与计算机的应用相结合,引入了MATLAB软件,不仅介绍了该软件在控制系统的辅助分析,还结合仿真结果进行了分析。并且在每个项目后,对本项目的主要内容也作了很好的总结。

本书编写团队成员有丰富的实际工作经验,在自动控制领域工作多年。他们除积极参加教学改革和教学研究外,还根据高技能人才培养要求,与广东省科学院自动化设备研制中心等行业企业一起进行,改革教学理念、教学内容、教学方法和教学手段,注重培养学生职业能力和职业素养。本书由广东交通职业技术学院郝建豹、徐超担任主编,郝建豹编写项目1、3、5及附录,黄信兵编写项目4、6,广东省南方高级技工学校黄晓

华编写项目 2，广东省科学院自动化中心曹永军工程师，中山火炬职业技术学院丁俊健博士及广东交通职业技术学院冯杨博士参与了本书部分内容的编写与讨论。

本书由广东交通职业技术学院阎勤劳教授主审，他提出了许多宝贵的意见，编者在此由衷地向他表示感谢。

在本书编撰过程中参考了大量相关文献和著作，也向这些文献的作者致以诚挚的谢意。

同时，期待读者对书中的错误和不足之处提出宝贵的意见，以便进一步修改和完善。

目 录

项目 1 自动控制系统认知	1
1.1 自动控制系统认知与导读要求	1
1.1.1 基本要求	2
1.1.2 扩展要求	2
1.1.3 学生需提交的材料	2
1.2 自动控制基础知识	2
1.2.1 自动控制的定义及系统组成	2
1.2.2 控制系统的基本控制方式	6
1.2.3 控制系统的分类	7
1.2.4 控制系统的品质要求	8
1.3 自动控制扩展知识	9
1.4 MATLAB 软件认知	12
1.5 自动控制系统实例分析	19
1.6 自动控制技能训练	22
1.6.1 训练任务	22
1.6.2 训练内容	22
1.6.3 考核评价	24
项目总结	24
思考与习题	25
项目 2 自动控制系统数学模型建立	27
2.1 直流电机调速系统建模认知与导读要求	28
2.1.1 基本要求	28
2.1.2 扩展要求	28
2.1.3 学生需提交的材料	28
2.2 自动控制建模基础知识	28
2.2.1 控制系统的微分方程	29
2.2.2 控制系统的复数域数学模型(传递函数)	33
2.2.3 自动控制系统的基本环节	36
2.2.4 控制系统的结构图	37

2.2.5	控制系统的传递函数	43
2.3	直流电机调速系统参考模型建立	44
2.3.1	微分方程模型	44
2.3.2	传递函数模型	46
2.3.3	结构图模型	47
2.4	控制系统扩展知识	48
2.4.1	机电系统典型元件	48
2.4.2	梅逊公式	50
2.5	MATLAB 建模与应用	51
2.5.1	MATLAB 建立传递函数模型	51
2.5.2	Simulink 建立控制系统的结构图模型	52
2.5.3	MATLAB 在系统方框图化简中的应用	54
2.6	自动控制系统建模技能训练	55
2.6.1	训练任务	55
2.6.2	训练内容	55
2.6.3	考核评价	57
	项目总结	57
	思考与习题	58
项目 3	控制系统的时域分析	61
3.1	直流电动机调速系统时域分析认知与导读要求	61
3.1.1	基本要求	62
3.1.2	扩展要求	62
3.1.3	学生需提交的材料	62
3.2	自动控制时域分析基础知识	62
3.2.1	典型输入信号	62
3.2.2	时域性能指标	65
3.2.3	一阶系统的时域分析	67
3.2.4	二阶系统的时域分析	71
3.2.5	控制系统的稳定性分析	74
3.2.6	控制系统的稳态性能分析	78
3.3	时域分析扩展知识	84
3.4	MATLAB 时域分析	85
3.4.1	MATLAB 分析线性系统稳定性	85
3.4.2	MATLAB 分析动态性能	86
3.4.3	MATLAB 计算稳态误差	91
3.4.4	Simulink 仿真	91
3.5	自动控制系统时域分析技能训练	92

3.5.1	训练任务	92
3.5.2	训练内容	93
3.5.3	考核评价	95
	项目总结	95
	思考与习题	96
项目 4	控制系统的频域分析	98
4.1	直流电动机调速系统频域分析认知与导读要求	98
4.1.1	基本要求	99
4.1.2	扩展要求	99
4.1.3	学生需提交的材料	99
4.2	自动控制频域分析基础知识	99
4.2.1	频率特性的基本概念	99
4.2.2	典型环节的频率特性	102
4.2.3	控制系统的开环频率特性及其绘制	109
4.2.4	系统稳定性的频域分析	112
4.2.5	根据控制系统的开环频率特性分析系统的动态性能	117
4.2.6	根据控制系统的闭环频率特性分析系统的动态性能	122
4.3	频域分析扩展知识	125
4.4	MATLAB 频域分析	125
4.4.1	线性系统传递函数到频率特性的转换	125
4.4.2	控制系统频率特性分析	126
4.5	自动控制系统频域分析技能训练	128
4.5.1	训练任务	128
4.5.2	训练内容	129
4.5.3	考核评价	130
	项目总结	131
	思考与习题	131
项目 5	自动控制系统校正	134
5.1	直流电动机调速系统校正认知与导读要求	134
5.1.1	基本要求	135
5.1.2	扩展要求	135
5.1.3	学生需提交的材料	135
5.2	控制系统校正基础知识	135
5.2.1	基本概念	135
5.2.2	基本控制单元——PID 控制	138

5.2.3 串联校正及其特性	143
5.2.4 反馈校正及其特性	151
5.2.5 复合校正及其特性	153
5.3 控制系统校正扩展知识	155
5.4 MATLAB 频域法校正	158
5.5 自动控制系统校正技能训练	162
5.5.1 训练任务	162
5.5.2 训练内容	163
5.5.3 考核评价	164
项目总结	165
思考与习题	166
项目6 自动控制系统的工程应用	169
6.1 直流电动机调速系统设计认知与导读要求	169
6.1.1 基本要求	170
6.1.2 扩展要求	170
6.1.3 学生需提交的材料	171
6.2 自动控制系统设计的基础知识	171
6.2.1 自动化系统设计的步骤	171
6.2.2 系统固有部分的简化处理	171
6.2.3 系统预期频率特性的确定	173
6.2.4 校正装置的设计	177
6.3 系统分析和调试	179
6.3.1 自动控制系统的分析步骤	179
6.3.2 自动控制系统的调试方法	182
6.4 控制系统设计扩展知识	182
6.5 自动控制系统设计技能训练	185
6.5.1 训练任务	185
6.5.2 训练内容	185
6.5.3 考核评价	186
项目总结	187
思考与习题	188
附录A 传递函数的数学工具——拉普拉斯变换与反变换	189
附录B 自动控制的物理基础	193
部分技能训练、思考与习题参考答案	194
参考文献	204

项目1

自动控制系统认知



学

习

目

标

职业技能：掌握自动控制系统的简单分析能力。

职业知识：了解本课程学习的主要内容，掌握自动控制理论基本知识。

职业道德：培养学生对控制系统的理解能力和分析能力，并能从感性认识到理性认识过渡，认识到自动控制在我们日常生活及工业生产中的重要地位，及本课程学习与职业岗位的关系，知道通过本课程的学习能够获得哪些专业技能和专业知识，进而对该课程学习产生一定的兴趣。



教

学

内

容

及

要

求

知识要求：初步了解本课程完成的工程项目，掌握自动控制的基本概念、自动控制的任务。掌握自动控制理论的主要内容。

技能要求：掌握对于实际生活及工业生产中自动控制系统的基本分析能力。

实践内容：了解现实生活中简单控制系统的组成及类型。会使用自动控制工具软件 MATLAB 的常用功能。

教学重点：一是根据控制系统工作原理图绘制原理框图；二是控制系统性能的要求。

教学难点：控制系统性能的要求。



项

目

分

析

本项目的教学对象是对控制系统有了初步了解的学生，但他们对控制的相关知识还蒙着一层神秘的面纱。虽然他们的生活经验不是很丰富，但好奇心较强，思维活跃，根据他们现有的认知水平和认知风格还是很容易接受本项目的内容的。

1.1

自动控制系统认知与导读要求

在我们日常活动的每一个方面几乎都受到了某种控制系统的影响，从交通工具(汽车巡航控制系统使汽车自动保持在设定车速，制动防抱死系统自动防止汽车在湿滑的路面上打滑)与通信手段到衣食住与家用电器等。在工业领域如自动化生产线、机床控制、计

算机控制及机器人等。自动控制(Automatic control)系统大大改变了人们的生活方式和工作方式。为提高学习效果,学习如何找资料也便于日后自动控制学习更容易上手。现在学生可以以一个初学者的观点对自己所熟悉的某一自动控制系统提出自己初步的看法。利用学校的图书馆以及 Internet 来找寻自动控制相关书籍和资料,在阅读后,写出此门学科概论。

1.1.1 基本要求

1. 认识直流电动机调速系统装置

在实训室中,认识直流电机调速系统装置,具体要求如下:

- (1)能严格执行实训室的作业标准、安全和技术规范。
- (2)实验前认真检查实验台面的仪器设备状态及其放置位置,实验后要回归原处。
- (3)实地了解调速系统结构组成的每个部分,知道常用直流电机调速系统结构,理解基本构造及工作原理。
- (4)指导老师讲解如何连接调速系统后,学生动手把系统连接,在通电之前,应先让指导老师检查接线情况。

2. 对自己熟悉的自动控制系统提出看法

对自己所熟悉自动控制系统提出看法,具体要求如下:

- (1)此自动控制系统的任务是什么?由哪几部分组成?每一部分在系统中起何作用?
- (2)人在此控制系统中有无起作用?若有,起何作用?
- (3)此控制系统的实际效果与预期的是否一致?应怎样改善?
- (4)此控制系统有没有检测环节?

1.1.2 扩展要求

- (1)你认为应该从哪几个方面评价此自动控制系统?
- (2)如何有效地描述此控制系统?
- (3)完成的自动控制系统基本概论的内容应包括自动控制与本专业的关系以及未来展望等。

1.1.3 学生需提交的材料

- (1)自动控制系统认识报告书一份。
- (2)自动控制系统基本概论一篇。

1.2 自动控制基础知识

1.2.1 自动控制的定义及系统组成

直流电动机具有很好的调速性能,而且直流电动机的启动转矩大。直流电动机在精

密机床、自动化设备、电工机械、工业机器人、自动武器及雷达跟踪等多个领域得到广泛应用。在应用的过程中,速度控制是直流电动机经常遇到的问题之一。

直流电动机速度控制系统如图 1-1 所示,其控制目标是控制直流电动机以恒定的转速带动负载工作。系统的工作原理是:调节电位器 R 的滑臂,使其输出给定参考电压 u_r 。 u_r 经电压放大和功率放大后成为 u_a ,送到电动机的电枢端,用来控制电动机转速。在负载恒定的条件下,直流电动机的转速 ω_m 与电枢电压 u_a 成正比,只要改变给定电压 u_r ,便可得到相应的电动机转速 ω_m 。

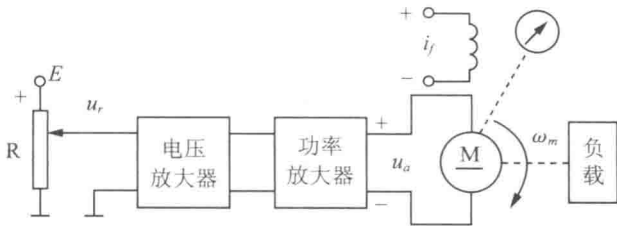


图 1-1 直流电动机速度控制系统

如果负载恒定,电动机及放大器参数也不变化,那么,如果给定电压 u_r 不变,电动机转速也不会变。但这只是理想情况,电动机负载实际上是经常变化的,电动机、放大器的参数也会漂移,因此,即使保持给定电压不变,电动机转速也会变化,不能达到控制的目的。如果用人工控制,则可以观测转速表的指示值,调节电位器 R 的滑臂,从而使电动机转速保持在期望值运行。例如,当负载增大速度下降时,控制人员则调节触点位置,增大 u_r ,使 u_a 增大,从而使电动机转速回升;反之,亦然。

此系统是由人工控制的,可以看出,人在控制过程中起以下三个作用。

- (1) 观测:用眼睛去观测转速表的指示值。
- (2) 比较与决策:人脑把观测得到的转速与要求的转速相比较,并进行判断。
- (3) 执行:根据控制量用手具体调节,如改变触点位置。

可见,在此系统中人起着非常重要的作用,显然,在负载变化较慢的情况下,采用人工控制是可以完成任务的。但若负载变化较快,人就会跟不上变化而达不到控制的目的。也就不能准确和迅速地进行控制了。另外,在某些场合,即使人工控制可以满足要求,但工作十分繁重、单调、工作条件差,为了提高生产率,提高产品质量,改善劳动条件,亦要求将人从这些单调、繁重的劳动中解放出来,去从事更高级的创造性的劳动。所以,此时要求用一些设备来代替人的功能,进行自动控制。

为解决这个问题,我们加入一台测速发电机,测速发电机与被测机构同轴联接时,只要检测出输出电动势,就能获得被测机构的转速,故又称速度传感器。测速发电机广泛用于各种速度或位置控制系统。并对电路稍作改变,便构成了如图 1-2 所示的直流电动机转速自动控制系统。

测速发电机输出电压与直流电动机转速成正比,当电动机转速比期望值大时, u_f 变大, $\Delta u = u_r - u_f$ 变小, u_a 变小,从而使电动机转速降低;反之,当电动机转速比期望值小

时, u_f 变小, $\Delta u = u_r - u_f$ 变大, u_a 变大, 从而使电动机转速增加。因此, 无论负载变化使电动机的速度增加还是减少, 此系统都能使电动机保持期望转速运行。

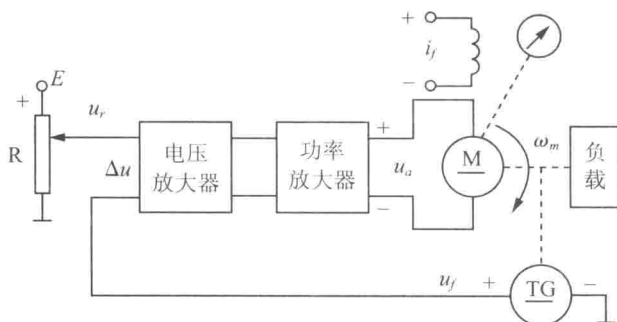


图 1-2 直流电动机转速自动控制系统

在此修改后的控制系统中, 人不必直接参与控制, 完全靠系统本身来完成控制功能。由此可见, 所谓自动控制, 是指在没有人直接参与的情况下, 利用控制装置使被控对象的某些物理量(或状态)自动地按照预定的规律去运行。而自动控制系统, 就是指能够对被控对象的工作状态进行自动控制的系统。

自动控制系统的种类较多, 被控制的物理量有各种各样, 如温度、压力、流量、电压、转速、位移和力等。组成这些控制系统的元、部件虽然有较大的差异, 但是系统的基本结构比较相似, 并且一般都是通过机械、电子、液压或气动装置代替人工控制。概括起来, 自动控制系统一般由如下基本环节(元件)组成。

1) 被控对象

被控对象是指要进行控制的设备。它是控制系统的主体。控制系统所要控制的就是被控对象中的某个物理量, 这个物理量也被称为被控量, 也就是系统的输出。对直流电动机转速控制系统中的电动机就是被控对象, 而电动机的转速就是被控量。

2) 执行机构

执行机构由传动装置及调节机构组成, 其功能是直接推动被控对象, 改变其被控物理量, 使输出量与期望值趋于一致。伺服电动机、液压/气动伺服马达、阀门等都可作为执行机构。执行机构相当于人工控制时人手的功能部件。

3) 给定装置

给定装置又称为给定元件, 用于产生被控量的给定值, 也就是系统的输入。

4) 检测装置

检测装置又称为测量元件即传感器, 用来测量被控量, 并将被控量转化成与给定量相同的物理量, 以便于在输入端进行比较。检测装置的精度与性能, 直接影响控制的质量。检测装置一般有热电偶、测速发电机以及各类传感器。检测装置相当于人工控制时眼睛的功能部件。

5) 比较环节

比较环节将检测装置的输出与给定值进行叠加, 得到偏差。比较环节常采用集成运

算放大器、电桥等来实现。比较环节相当于人工控制时人脑的功能部件。

6) 放大环节

由于偏差信号一般都较小,不足以驱动执行机构,故需要放大元件。有些情形下甚至需要几个放大器,电压放大器(或电流放大器)、功率放大器等。放大元件的增益通常要求可调。

7) 校正环节

校正环节也叫补偿元件,控制的效果或质量不理想时,需要校正环节,它是结构与参数便于调整的元件,以串联或反馈的方式联接在系统中,完成所需的运算功能,以改善系统的性能。最简单的校正元件是由电阻、电容组成的无源或有源网络,复杂的则用电子计算机。另外,在工业生产中广泛采用的PID控制也属于校正环节。关于校正环节将在项目五中详细论述。

对于以上控制系统的环节,有时又把起综合、分析、比较、判断和运算作用的环节,即比较环节、校正环节、放大环节合在一起称为控制装置或控制器。

在研究自动控制系统的工作原理时,为了清楚地表示系统的结构和组成,说明各环节间信号传递的因果关系,我们在分析系统时常采用方框加环节特征说明的方式来表示。并用箭头标明各环节之间信号(能量或作用量)之间的传递情况。系统的这种表示方法称为原理框图。

下面是原理框图的绘制原则。

◆ 组成系统的每一环节(或元件)用一方框表示,符号为“□”。

◆ 环节间用带箭头的线段“→”联接起来,此线段称为信号线(或作用线),箭头的方向表示信号的传递方向,即作用方向,信号只能单方向传递。一个环节的输入信号是环节发生运动的原因,而其输出信号是环节发生运动的结果。

◆ 信号的比较点用“⊗”表示,它有对几个信号进行求(代数)和的功能。一般在多个输入信号的信号线旁边标以“+”或“-”,表示各输入信号的极性。

自动控制系统一般组成可由图1-3表示。

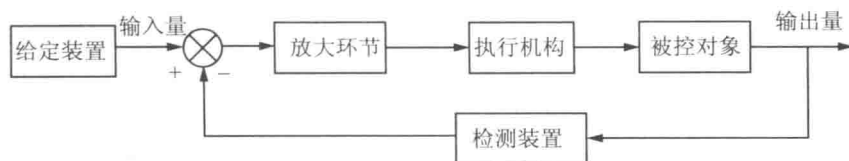


图 1-3 典型控制系统的基本组成框图

用原理框图表示的优点就在于,避免去画复杂的系统图形,可以把系统主要环节之间的相互作用关系简单明了地表达出来。经过简单抽象,我们就可以把一个实际系统变换成为一个满足某种控制规律便于理论分析的原理系统。

为了描述控制系统,我们还需要定义一些附加的术语。

(1) 反馈: 将检测出来的输出量送回到系统的输入端,并与输入量比较的过程称为反馈。通过检测元件将输出量转变成与给定信号性质相同且数量级相同的信号为反馈量。

如直流电动机转速控制系统中的测速发电机的输出电压就是反馈量。

(2) 扰动量：扰动量又称干扰或“噪声”(Noise)，是一种对系统的输出量产生不利影响的信号。如直流电动机转速控制系统中的负载的变化、电网电压的波动都属于扰动。干扰信号是系统不期望的信号，它可能来自系统的内部或系统的外部，它们进入系统的作用点也可能不同，但都是影响系统控制质量的不利因素。当扰动产生于系统的外部时，则此时的扰动为系统的输入量，应加以利用或消除。

(3) 中间变量：指系统中各环节之间的作用量。它是前一环节的输出量，也是后一环节的输入量。如图 1-2 中的 Δu , u_a 等就是中间变量。

1.2.2 控制系统的基本控制方式

自动控制的基本方式有 3 种：开环控制、闭环控制及将二者结合的复合控制。每种控制方式都有各自的特点及不同的适用场合。本部分只讨论开环控制与闭环控制。

1. 开环控制

开环控制是一种最简单的控制形式，其特点是，在控制器与被控对象之间只有正向控制作用，没有反馈控制作用。控制系统的输出量对系统没有控制作用，这种系统是开环控制系统。其系统框图如图 1-4 所示。在图 1-1 所示电动机转速控制系统中，如果没有人参与，就是开环控制系统。这时，系统仅受控制量的控制，输出对系统的控制没有作用，这也是开环控制系统的特点。

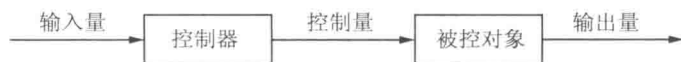


图 1-4 开环控制系统

在任何开环控制中，系统的输出量都不被用来与参考输入进行比较，因此，对应于每一个参考输入量，便有一个相应的固定工作状态与之对应，这样，系统的精度便决定于校准的精度，为了满足实际应用的需要，开环控制系统必须精确地予以校准，并且在工作过程中保持这种校准值不发生变化。当出现扰动时，开环控制系统就不能实现既定任务了，如果输入量与输出量之间的关系已知，并且不存在内扰与外扰，则可以采用开环控制。沿着时间坐标轴单向运行的任何系统，都是开环控制系统。例如：采用时基信号的交通管制。洗衣机也是开环控制系统的例子。浸湿、洗涤和漂清过程，在洗衣机中是依次进行的，在洗涤过程中，无需对其输出信号，即衣服的清洁程度进行测量。

开环控制系统的优点是无反馈环节，一般结构简单，调整方便，系统稳定性好，成本低。缺点是控制过程受到各种扰动因素影响时，将会直接影响输出量，而系统不能自动进行补偿。特别是无法预计的扰动因素使输出量产生的偏差超过允许的限度时，开环控制系统便无法满足技术要求。所以开环控制系统一般应用在输出量和输入量之间的关系固定，且内部参数或外部负载等扰动因素不大，或这些扰动因素产生的误差可以预先确定并能进行补偿。