

高等职业教育“十三五”规划教材
高职高专课程改革项目研究成果



自动控制原理与系统

(第3版)

叶明超 黄海◎主编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业教育“十三五”规划教材
高职高专课程改革项目研究成果

自动控制原理与系统

(第3版)

主 编 叶明超 黄 海
副主编 邢 扬
主 审 包丽琴

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书介绍了经典控制理论的基本概念、基本理论和控制系统的基本分析方法及实际应用。主要内容有：自动控制的基本概念、拉普拉斯变换及其应用、自动控制系统的数学模型、控制系统的时域分析法、控制系统的频域分析法、自动控制系统的校正、直流调速系统、PWM 直流脉宽调速系统、位置随动系统、异步交流电动机变频调速系统等。各章均配有内容提要、小结和大量习题。

本书中给出了大量的应用实例，并针对实例中的问题由浅入深地给出了解决方法。全书力求突出物理概念、定性分析，回避烦琐的数学推导，叙述深入浅出，通俗易懂。

本书可作为高职高专电气自动化技术、机电一体化技术以及电子信息工程技术等电类相关专业学生的教学用书，也可作为从事自动化工作的工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

自动控制原理与系统 / 叶明超, 黄海主编. —3 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2019. 8 (2019. 9 重印)

ISBN 978-7-5682-7494-4

I. ①自… II. ①叶… ②黄… III. ①自动控制理论-高等学校-教材 ②自动控制系统-高等学校-教材 IV. ①TP13 ②TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 186205 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 15.5

字 数 / 365 千字

版 次 / 2019 年 8 月第 3 版 2019 年 9 月第 2 次印刷

定 价 / 40.00 元

责任编辑 / 王艳丽

文案编辑 / 王艳丽

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

随着科学技术的发展,自动控制技术的应用领域日益广阔。自动控制技术的广泛应用,不但使生产设备及生产过程实现了自动化,大大提高了生产效率和产品质量,改善了劳动条件,而且在人类征服自然、改善居住条件、提高生活水平等方面也发挥了非常重要的作用。

“自动控制原理与系统”是自动化类专业一门重要的专业基础课。高职高专院校及成人院校人才培养的模式与教学体系与本科院校是有很大不同的,学生基础也不一样。高职高专教育培养的是生产一线的应用型人才,落脚点是技术应用,不求理论的系统 and 完整,只求必需、够用。所以,在编写此书时,我们力求做到理论联系实际,注重方法论的叙述,强调基本概念、基础理论和基本分析方法,回避烦琐的数学推导,叙述深入浅出,方便自学,以期学生对自动控制原理的应用和对实际控制系统的分析、调试有一个完整的概念。因此,我们在根据高职高专教育模式和教学体系特点的基础上,结合学生实际情况编写了本书。

本书主要介绍了经典控制理论的基本概念、基本理论及基本分析方法,并以较大篇幅通过对几个典型控制系统实例的分析引导学生深入思考,掌握分析系统的方法。全书共 10 章,具有以下特点。

(1) 本书针对高职高专教育特点,突出理论联系实际,强调学生正确应用公式和结论能力的培养,减少了非重点公式和结论理论推导过程。

(2) 本书讲述理论从应用角度入手,重点内容讲清来龙去脉,辅助内容触类旁通,概念准确,条理清楚,叙述通俗易懂。

(3) 本书在例题选择上力求典型、简明、有说服力,并尽量结合实际。

(4) 参与本书编写的同志,全部是长期讲授高职高专“自动控制原理”课的教师,他们熟悉教学大纲,经验丰富,力图通过对此书的学习使学生掌握基本控制理论,熟悉分析控制系统的基本方法,会用典型控制理论分析一些实际控制系统。

本书的前两版,运用经典控制理论的线性理论部分知识,以自动调速系统为主线,着重叙述了自动控制系统的工作原理、自动调节过程,并以系统分析作为理论的应用举例,使学生理解所学理论用于何处和怎样具体应用,收到了很好的效果,因此本书修订时,仍将保持这一特色。

本书由江苏联合职业技术学院无锡交通分院的叶明超(负责第 1~5 章)、邢扬(负责第 6、9 章)、黄海(负责第 7、8、10 章)共同讨论编写,包丽琴负责主审,叶明超负责全书的统稿和定稿。



在本书的编写过程中,编者学习并参考了兄弟院校的优秀教材。在此,向所有为本书的编写和出版给予帮助的同志致以衷心的感谢。

限于编者水平有限,加上时间仓促,本书的谬误与不足之处在所难免。编者期望广大师生和读者不吝指教,提出批评建议,我们由衷欢迎与感谢。

编 者

目 录

第 1 章 自动控制的基本概念	1
1.1 自动控制理论概述	1
1.2 简要历史	2
1.3 自动控制系统的组成	3
1.3.1 人工控制与自动控制	3
1.3.2 自动控制的基本概念与组成	3
1.3.3 系统术语	4
1.3.4 自动控制系统的方框图表示	4
1.4 自动控制系统的分类	5
1.4.1 开环控制系统和闭环控制系统	5
1.4.2 定值、随动和程序控制系统	7
1.4.3 线性和非线性控制系统	7
1.4.4 连续和离散控制系统	8
1.4.5 单变量和多变量控制系统	8
1.5 自动控制系统举例	8
1.5.1 温度控制系统	9
1.5.2 位置随动系统	10
1.5.3 自动调速系统	11
1.6 自动控制系统的的基本要求	12
1.7 本课程的学习任务与学习要求	13
本章小结	14
习题 1	14
第 2 章 拉普拉斯变换及其应用	16
2.1 拉氏变换的概念	16
2.2 拉氏变换的运算定理	20
2.3 拉氏反变换	25



2.4 拉氏变换应用举例	27
本章小结	32
习题2	33
第3章 自动控制系统的数学模型	34
3.1 控制系统的微分方程	34
3.1.1 控制系统微分方程的建立	35
3.1.2 控制系统微分方程的求解	36
3.2 传递函数	37
3.2.1 传递函数的定义	37
3.2.2 传递函数的求取	38
3.2.3 传递函数的性质	40
3.3 控制系统的动态结构图	40
3.3.1 动态结构图的组成与建立	40
3.3.2 动态结构图的等效变换及化简	42
3.3.3 用公式法求传递函数	48
3.4 典型环节的数学模型及阶跃响应	50
3.4.1 典型环节的数学模型	50
3.4.2 典型环节的传递函数及阶跃响应	53
3.5 控制系统的传递函数	57
本章小结	60
习题3	61
第4章 控制系统的时域分析法	63
4.1 典型控制过程及性能指标	63
4.1.1 典型初始状态	63
4.1.2 典型输入信号	64
4.1.3 阶跃响应的性能指标	66
4.2 一阶系统的时域分析	67
4.3 二阶系统的时域分析	68
4.4 系统稳定性分析	74
4.4.1 稳定的基本概念	74
4.4.2 线性系统稳定的充分必要条件	75
4.4.3 劳斯稳定判据	76
4.4.4 两种特殊情况	77
4.4.5 劳斯稳定判据在系统分析中的应用	78
4.5 稳态性能的时域分析	79
4.5.1 稳态误差的基本概念	79
4.5.2 系统类型	80

4.5.3 参考输入信号作用下的稳态误差	80
4.5.4 扰动输入信号作用下的稳态误差	82
本章小结	84
习题4	84
第5章 控制系统的频域分析法	87
5.1 频率特性的概念	87
5.1.1 频率特性的基本概念	87
5.1.2 频率特性与传递函数的关系	88
5.1.3 频率特性的性质	89
5.1.4 频率特性的图形表示方法	89
5.2 典型环节的伯德图	90
5.2.1 比例环节	90
5.2.2 积分环节	91
5.2.3 微分环节	91
5.2.4 惯性环节	92
5.2.5 比例微分环节	94
5.2.6 振荡环节	94
5.2.7 一阶不稳定环节	96
5.2.8 最小相位系统的概念	97
5.3 系统开环对数频率特性曲线的绘制	100
5.3.1 系统开环对数频率特性曲线绘制的一般步骤	100
5.3.2 开环对数频率特性曲线绘制举例	101
5.4 系统稳定性的频域分析	106
5.4.1 对数频率稳定判据	106
5.4.2 稳定裕量	107
5.5 动态性能的频域分析	109
5.5.1 三频段的概念	109
5.5.2 典型系统	112
本章小结	114
习题5	115
第6章 自动控制系统的校正	118
6.1 常用校正装置	118
6.1.1 无源校正装置	118
6.1.2 有源校正装置	119
6.2 串联校正	120
6.2.1 串联比例校正	121
6.2.2 串联比例微分校正	122



6.2.3 串联比例积分校正	123
6.2.4 串联比例积分微分校正	125
6.3 反馈校正	127
6.4 前馈控制的概念	129
本章小结	130
习题6	131
第7章 直流调速系统	132
7.1 直流调速系统概述	132
7.1.1 直流调速系统的基本概念	132
7.1.2 直流调速的三种方式	133
7.1.3 调压调速的三种主要形式	134
7.1.4 直流调速系统的性能指标	137
7.2 单闭环直流调速系统	140
7.2.1 闭环调速系统常用调节器	140
7.2.2 单闭环直流调速系统	145
7.2.3 无静差调速系统概述及积分控制规律	151
7.3 带电流截止负反馈的闭环调速系统	152
7.3.1 电流截止负反馈的引入	152
7.3.2 带电流截止负反馈的闭环调速系统静特性	153
7.3.3 带电流截止负反馈的闭环调速系统启动过程	154
7.4 闭环调速系统设计实例	155
本章小结	159
习题7	160
第8章 PWM 直流脉宽调速系统	162
8.1 直流脉宽调制电路的工作原理	163
8.1.1 不可逆、无制动力 PWM 变换器	163
8.1.2 不可逆、有制动力 PWM 变换器	164
8.1.3 可逆 PWM 变换器	165
8.2 脉宽调速系统的控制电路	169
8.2.1 直流脉宽调制器	169
8.2.2 逻辑延时电路	170
8.2.3 基极驱动电路和保护电路	170
8.3 PWM 直流调速装置的系统分析	171
8.3.1 总体结构	171
8.3.2 PWM 脉宽调制变换器的传递函数	172
8.3.3 系统分析	172
8.4 由 PWM 集成芯片组成的直流脉宽调速系统实例	172

8.4.1 SG1731 芯片简介	172
8.4.2 由 SG1731 组成的直流调速系统	173
本章小结	174
习题 8	175
第 9 章 位置随动系统	176
9.1 位置随动系统组成及其基本特征	176
9.1.1 位置随动系统的组成	176
9.1.2 位置随动伺服系统的分类	178
9.1.3 随动伺服系统的控制方式	179
9.2 位置伺服系统的部件功能及工作原理	180
9.2.1 位置检测元件	180
9.2.2 执行元件	183
9.2.3 相敏整流与滤波电路	185
9.2.4 放大电路	187
9.3 位置随动伺服系统的控制特点与实例分析	187
9.3.1 系统组成原理图	187
9.3.2 系统组成框图	189
9.3.3 系统自动调节过程	189
9.4 位置伺服系统的控制性能分析与校正设计	189
9.4.1 系统的稳态性能分析	190
9.4.2 系统的动态性能分析	191
本章小结	191
习题 9	192
第 10 章 异步交流电动机变频调速系统	193
10.1 交流变频调速的基本概念	193
10.1.1 交流调速系统简介	193
10.1.2 交流变频调速的基本控制方式	195
10.2 标量控制的变频调速系统	198
10.2.1 控制输出电压的方式	198
10.2.2 U/f 比例控制方式	201
10.2.3 转差频率控制方式	202
10.3 矢量控制的调速系统	205
10.3.1 基于转差频率控制的矢量控制方式	205
10.3.2 无速度传感器的矢量控制方式	206
10.4 脉宽调制型交流变频调速系统	207
10.4.1 PWM 型变频器工作原理	208
10.4.2 PWM 型变频调速系统的主电路	210



10.4.3 PWM 型变频调速系统的控制电路	214
本章小结	218
习题 10	219
附录	220
附录一 自动控制原理虚拟实验系统的开发与应用	220
附录二 自动控制技术常用术语中、英文对照	229
参考文献	237

第 1 章 自动控制的基本概念

内容提要

本章概括地介绍了自动控制理论的形成和发展、自动控制系统的基本组成、自动控制系统的分类和自动控制系统的性能指标，并简单介绍了自动控制的发展历史和研究方向。

1.1 自动控制理论概述

自动控制理论是研究各种自动控制过程共同规律的技术科学。它发展的初期，是以反馈理论为基础的自动调节理论，随着科学技术的进步，现已发展成为一门独立的学科——控制论，包括工程控制论、生物控制论、经济控制论和社会控制论。其中，工程控制论是控制论中最成熟的分支，主要研究工程领域自动控制系统中的信息分析、变换、传送的一般理论与设计应用；自动控制理论是工程控制论的一个分支，它只研究自动控制系统分析和设计的一般理论。根据自动控制技术发展的不同阶段，自动控制理论相应地分为“经典控制理论”和“现代控制理论”两大部分。

经典控制理论是指 20 世纪 50 年代末期所形成的理论体系。它主要是研究单输入-单输出线性定常系统的分析和设计问题。其理论基础是描述系统输入-输出关系的传递函数，主要采用复频域分析方法。

现代控制理论是在 20 世纪 60 年代初期，为适应宇航技术发展的需要而出现的新的控制理论，适用于研究具有高性能、高精度的多输入-多输出、线性或非线性、定常或时变系统的分析和设计问题，如最优控制、最优滤波、自适应控制等。描述系统的方法是基于系统状态这一内部特征量的状态空间法，本质上是一种时域方法。

信息技术特别是大规模信息网络技术的发展对控制理论提出了新的需求，现代应用数学、大系统理论、人工智能理论和计算机技术的进步则为控制理论的发展提供了强有力的支持。因此，现代控制理论正向大系统控制理论和智能控制理论等方向深入发展。

经典控制理论和现代控制理论构成了全部的控制理论。控制理论的发展促进了自动控制技术和相关学科的发展。生产、管理、流通、军事等各个领域自动化的要求，推动现代自动

控制技术在机械、冶金、石油、化工、电力、航空、航海、核反应堆、通信、交通运输、生物学及工业管理等领域应用越来越普遍。自动控制理论与技术的发展前景十分广阔。

1.2 简要历史

控制理论发展初期,众多杰出的学者做出了重大贡献。1788年英国科学家詹姆斯·瓦特(James Watt)为控制蒸汽机速度而设计的离心调节器,可以誉为自动控制领域的第一项重大成果。为了克服当时调节器的振荡现象,麦克斯韦(James Clerk Maxwell)在1868年对微分方程系统稳定性进行了分析;后来又出现了劳思(E. J. Routh)和霍尔维茨(A. Hurwitz)分别于1874年和1895年对稳定性的研究成果;1892年,李雅普诺夫对调节理论做出了重要贡献,提出了几个重要的稳定性判据;1922年,迈纳斯基(Minorsky)研制出船舶操纵自动控制器,证明了从描述系统的微分方程确定系统稳定性的方法;1932年,奈奎斯特(Nyquist)提出了一种可以根据稳态正弦输入的开环响应确定闭环系统稳定性的简便方法。1934年,海森(H. L. Hazen)提出了用于位置控制系统的伺服机构的概念。

为了设计满足性能指标要求的线性闭环控制系统,20世纪40年代发展了系统的频域分析方法,它是在奈奎斯特、伯德(Bode, 1945)等早期的关于通信学科的频域研究工作的基础之上建立起来的。1942年哈里斯(Harris)提出的传递函数的概念,首次将频域分析方法应用到了控制领域,构成了控制系统领域法理论研究的基础。20世纪40年代末到50年代初,伊万思(W. R. Evans)提出并完善了线性反馈系统的根轨迹分析技术,并成为那个时代的另一个里程碑。

频域分析法和根轨迹法是经典控制理论的核心。采用这两种方法可以设计出稳定的并满足一定性能指标要求的系统。但是,通过这两种方法设计出的系统还不是最优系统。因此,从20世纪50年代开始,控制系统设计问题的研究重点转移到最优系统的设计上。苏联学者庞特里亚金(Pontryagin)于1956年提出的极大值原理、贝尔曼(Bellman)于1957年提出的动态规划和卡尔曼(Kalman)于1960年提出的状态空间分析技术,开创了控制理论研究的新篇章,他们的理论当时被统称为“现代控制理论”。从那个时期以后,控制理论研究中出现了线性二次型最优调节器(Kalman, 1959),最优状态观测器(Kalman, 1960)以及线性二次型高斯(Linear Quadric and Gaussian, LQG)问题的研究。

1960—1980年这段时间,人们对确定系统和随机系统的最优控制、复杂系统的自适应控制和学习控制进行了充分的研究。大约从1960年起,电子计算机开始应用于控制系统的研究与设计。

从1980年到现在,现代控制理论的研究主要集中于Robust(鲁棒)控制等相关的课题,其中鲁棒控制是控制系统设计中又一个令人瞩目的研究领域。1981年,美国学者查默斯(Zames)提出了基于哈代(Hardy)空间范数最小化方法的鲁棒最优控制理论。1992年,多依尔(Doyle)等提出了最优控制的状态空间数值解法,为该领域的发展作出了重要的贡献。

目前,自动控制理论正向以控制论、信息论和人工智能为基础的智能控制理论方向发展;同时,由于大规模信息网络管理控制的需要,自动控制理论也在向大系统控制理论方向前进。



1.3 自动控制系统的组成

1.3.1 人工控制与自动控制

在日常生活和生产过程中，人工控制和自动控制的应用非常广泛，现举一些具体的例子以加深对“人工控制”和“自动控制”的理解。

1. 人工控制举例

- (1) 人的体温控制。天冷时加衣服，天热时减衣服。
- (2) 自行车速度控制。根据马路的交通情况，人为地加快骑行速度或减慢骑行速度。
- (3) 汽车驾驶控制。转动方向盘改变方向；加油门，刹车等改变速度。
- (4) 收音机音量控制。调节音量旋钮，改变声音的强、弱程度。
- (5) 普通洗衣机的控制。人们根据衣服的多少及脏的程度来控制加水和加洗衣粉的量、洗的次数、甩干时间等。

2. 自动控制举例

- (1) 电饭煲温度的自动控制。根据人们事先设计好的顺序，自动进行定时加温、保温。
- (2) 空调器的温度控制。根据人们设定的温度自动开关冷气机或调节电动机转速以保持室内为一定的温度。
- (3) 汽轮机的转速控制。汽轮机的转速高于或低于额定转速时，自动关小或开大主汽阀门，自动维持汽轮机的转速为额定值。
- (4) 声控、光控的路灯。根据脚步声开灯、关灯，根据天亮天黑程度关灯、开灯等。
- (5) 导弹飞行控制。飞行姿态控制、自动纠正方向、自动导向目标等。
- (6) 人造卫星、宇宙飞船控制。包括正确进入预定轨道；姿态控制，使太阳能电池板一直朝向太阳，无线电天线一直指向地球，卫星或飞船内部的环境条件适当；使它所携带的各种测试仪器自动地工作等。

1.3.2 自动控制的基本概念与组成

所谓自动控制，就是在没有人直接参与的情况下，利用控制装置操纵被控对象（被控量），使其按照预定的规律运动或变化。

被控对象是控制系统的主体，是在系统中要求对其参数进行控制的设备或过程，如温度控制系统中的加热炉，转速控制系统中的拖动电动机，过程控制系统中的化学反应炉等。

控制装置一般由以下三部分组成。

①自动检测装置。包括测量元件和变送元件，起自动检测被控对象的作用，如转速控制系统中的测速发电机，温度控制系统中的热电偶等。

②自动调节装置。起综合、分析、比较、判断和运算的作用，并能按一定的规律发出控制信号或指令。

③执行装置。起具体执行控制信号或指令的作用，给被测对象施加某种作用，使其改变输入量。

对控制系统的组成进行详细分类,其还可以由下列各部分组成。

- ①测量、变送元件:属于反馈元件,其职能是把被控物理量测量出来。
- ②设定元件:职能是给出被控量应取的数值信号,即是设定给定值的元件。
- ③比较元件:职能是将测量信号与给定信号进行比较,并得到差值(偏差信号),起信号综合作用。
- ④放大元件:职能是对差值信号进行放大,使其足以推动下一级工作。
- ⑤执行元件:职能是直接推动被控对象,改变其被控物理量,使输出量与希望值趋于一致。
- ⑥校正元件:职能是改变由于结构或参数的原因而引起的性能指标的不适应。
- ⑦能源元件:职能是为系统提供必要的能源。

1.3.3 系统术语

为了便于研究自动控制系统,通过长期的实践,人们逐渐形成了一整套约定的名词和术语,下面就分别介绍之。

①被控量(被控参数):要求被控对象保持恒定或是按一定规律变化的物理量。通常是决定被控对象工作状态或产品产量、质量的主要变量,如加热炉的温度,电动机的转速,流体的流量、压力等。被控量一般是输出量,是时间的函数。

②给定信号(参考输入信号):控制系统的输入信号,是时间的函数。

③偏差信号:是比较元件的输出信号,即给定信号与反馈(测量)信号之差。

④误差信号:系统被控量的希望值与实际值之差。在单位反馈系统中偏差信号等于误差信号,在非单位反馈系统中,两者虽然都反映了系统被控量的希望值与实际值之差,但它们的信号类型与量纲是不同的,这一点一定要引起重视。

⑤干扰信号:破坏系统平衡,导致系统的被控量偏离其给定值的因素,称为干扰信号。干扰信号是系统不希望的信号,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。

⑥反馈信号:从系统的输出端引入,经过变换(或直接)回送至输入端与给定信号进行比较的信号,成为反馈信号。此信号是为了达到控制目的而有意识地从输出端回送到输入端的信号。

1.3.4 自动控制系统的方框图表示

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,说明各元件间信号传递的因果关系,我们分析系统时常采用方框图(块图)的方式表示。方框图的绘制原则如下。

①组成系统的每一环节(或元件)用一方框表示,符号为“□”。

②环节间用带箭头的线段“→”连接起来,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。

③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。

图 1-1 所示为一控制系统方框图的示例。当被控对象受到扰动时，被控对象的输出量（被控量）就要发生变化，被控量 y 的变化值经过测量、变送元件测量与变换成电量后送入比较元件与给定值 r 进行比较，产生了偏差值 $e=r-y$ 。偏差信号 e 送入控制器，在控制器中进行控制规律的运算后，输出控制信号 u ，控制量 u 再作用到被控对象，使被控对象的被控量 y 恢复到给定值。

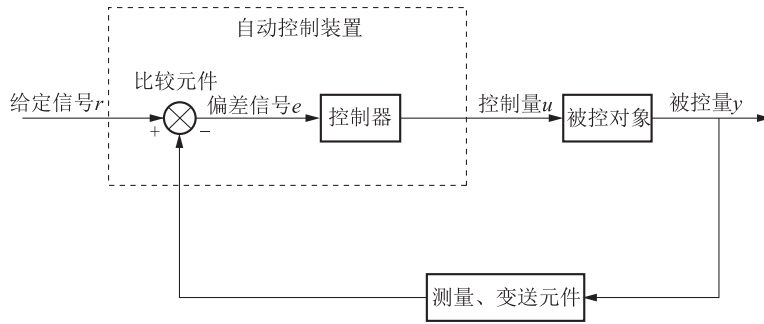


图 1-1 自动控制系统方框图的举例

1.4 自动控制系统的分类

由于自动控制系统应用的广泛性，以及控制理论本身发展的需要，使得自动控制系统具有各种各样的分类形式。为了便于学习和研究，下面重点讨论几种分类方法。

1.4.1 开环控制系统和闭环控制系统

1. 开环控制系统

如果控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程，称这种控制方式为开环控制，相应的系统为开环控制系统。图 1-2 所示的直流电动机转速控制系统就是一个开环控制系统。图中电动机是电枢控制的直流电动机，要求带动负载以一定的转速转动。

输入量是给定电压 u_r ，输出量（被控制量）是电动机转速 ω 。调整给定电位器滑臂的位置，可得到不同的给定电压 u_r 和电枢电压 u_a ，从而控制了电动机的转速 ω 。上述的控制过程可用方框图简单直观地表示成图 1-3 的形式。当负载转矩不变时，给定电压 u_r 和电动机转速 ω 有一一对应的关系。因此，可由给定电压直接控制电动机转速。如果出现扰动如负载转矩增加（减少），电动机转速便随之降低（增高）而偏离给定值。若要维持给定转速不变，操作人员必须经过判断，相应地调整电位器滑臂的位置来提高（降低）给定电压，使电动机转速恢复到原给定值。

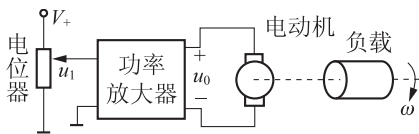


图 1-2 直流电动机转速控制系统

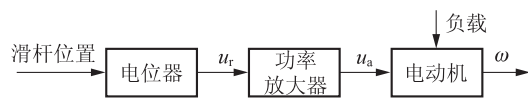


图 1-3 直流电动机转速控制方框图

这种控制方式的特点是控制作用的传递具有单向性,作用路径不是闭合的。由方框图可明显地看出控制信息的传递过程是由输入端沿箭头方向逐级传向输出端。控制作用直接由系统的输入量产生。给定一个输入量,就有一个输出量与之对应。控制精度取决于信息传递过程中所用元件性能的优劣及校准的精度。由于开环控制系统不具备自动修正被控量偏差的能力,故系统的精度低,即抗干扰能力差。但是开环控制结构简单、调整方便、成本低,在国民经济各部门均有采用,如自动售货机、自动洗衣机、产品自动生产线、数控机床及交通指挥红绿灯转换等。

2. 闭环控制系统

闭环控制是指控制装置与被控对象之间既有顺向作用又有反向联系的控制过程。图1-4所示的是一种自动调整转速的闭环控制系统。该系统在原来的基础上,增加了一个由测速发电机构成的反馈回路,用来检测输出转速,并给出与电动机转速成正比的反馈电压。将这个代表实际输出转速的反馈电压与代表希望输出转速的给定电压进行比较,所得出的偏差信号作为产生控制作用的基础,通过功率放大器来控制电机的转速。这也常称为按偏差控制。可以看出,只要偏差存在,控制作用总是存在的。控制的最终目的是减小偏差,提高控制精度。这种通过反馈构成系统闭环,按偏差产生控制作用,以减小或消除偏差的控制系统,称为闭环控制系统,或反馈控制系统。用方框图直观地把上述控制过程描述出来,可方便地进行性能分析,方框图如图1-5所示。

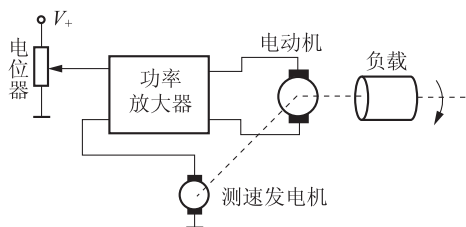


图 1-4 直流电动机转速闭环控制系统

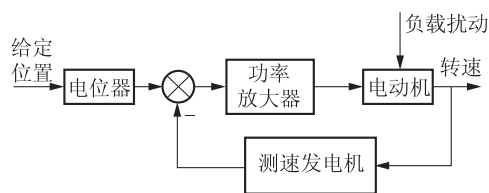


图 1-5 直流电动机转速闭环控制方框图

由方框图分析电动机转速自动调节的过程如下:当系统受到扰动影响时,例如负载增大,则电动机的转速降低,测速发电机的端电压减小。在给定电压不变时,偏差电压则会增加,电动机的电枢电压上升,使得电动机转速增加。如果负载减小,则电动机转速调节的过程与上述过程变化相反。这样,抑制了负载扰动对电动机转速的影响。同样,对其他扰动因素,只要影响到输出转速的变化,上述调节过程会自动进行,从而保证了系统的控制精度,提高了抗干扰能力。

这种控制方式的特点是控制作用不是直接来自给定输入,而是系统的偏差信号,由偏差产生对系统被控量的控制。系统被控量的反馈信息反过来又影响系统的偏差信号,即影响控制作用的大小。这种自成循环的控制作用,使信息的传递路径形成了一个闭合的环路,称为闭环。由于闭环控制能自动修复被控量偏差的能力,故控制精度高,抗干扰能力强。但是闭环控制系统不仅使用元件多、线路复杂,且因信号反馈的作用,如果未选好系统元件或系统参数配合不当时,调节过程可能变得很差,甚至出现发散或等幅振荡等不稳定情况。