

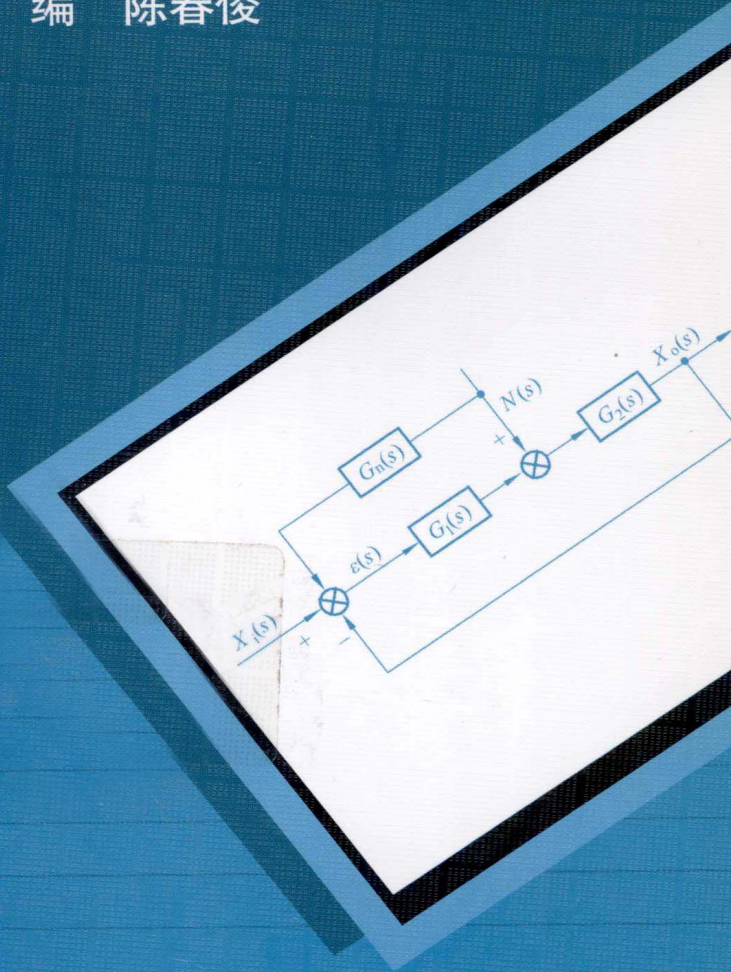


高等院校网络教育精品教材
机械类

控制工程基础

KONGZHI GONGCHENG JICHU

主 编 陈春俊



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

内 容 简 介

自动控制技术已广泛地深入到机械工程、热能与动力工程、仪器科学与技术等领域。本书是为适应这一发展需要而编写的机械类、近机械类及其他非电类专业本科生教材。本书从工程应用角度出发,阐述了经典控制理论的原理,其主要包括控制系统的基本概念、控制系统数学模型、线性系统的时域分析、线性系统的频率特性分析、线性系统的稳定性分析与校正、非线性系统分析及线性离散控制系统。本书重点在于突出基本概念、基本原理、基本方法及工程背景。为便于学习,本书各章配有一定的例题和习题,以帮助读者加深对重点内容的理解和应用。

本书可作为高等院校、成教及网络教育等相关专业的学生教材,也可作为有关专业老师与科技人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

控制工程基础 / 陈春俊主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2011.3
高等院校网络教育精品教材. 机械类
ISBN 978-7-5643-1101-8

I. ①控… II. ①陈… III. ①自动控制理论—高等学校—教材 IV. ①TP13
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 029627 号

高等院校网络教育精品教材——机械类

控制工程基础

主编 陈春俊

*

责任编辑 李芳芳

特邀编辑 罗在伟

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都勤德印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 11.125

字数: 276 千字

2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-1101-8

定价: 22.00 元

图书如有印装质量问题,本社负责退换
版权所有,盗版必究,举报电话: 028-87600562

前 言

自动控制作为一门科学技术，不仅广泛地运用于航空航天、地面交通、水上航运、工农业生产、国防装备和智能家电等领域，而且已应用于政治、经济等领域。因此，自动控制理论已不仅仅是高等院校自动化专业主修的专业基础课，同时也是机械类、近机械类及仪器仪表类等专业的必修专业基础课程。为了适应广大高校机械工程自动化、车辆工程、热能与动力工程、仪器科学与技术等专业的需求，我们编写了《控制工程基础》一书。本书主要介绍经典控制理论，即控制理论的基本概念、基本原理、基本分析和设计方法，控制理论在相关行业中的融合与应用。

本书作者长期承担机械类、近机械类等本科生“控制工程基础”和“自动控制原理”等课程的教学。本书是在多年课程讲义的基础上修改、补充而成。书中系统全面地介绍了经典控制理论的基本内容，主要包括：自动控制概论、控制系统的数学模型、线性系统的时域分析法、线性系统的频率特性分析法、系统的性能分析与校正、非线性控制系统、线性离散控制系统。为了便于读者深入理解本书所述的重要概念，书中各章都选配了一定数量的习题，以供学习者练习。本书第7章和第8章可根据需要及学时情况选讲，授课学时以40~68为宜。

本书由陈春俊教授担任主编，张洁副教授和苏燕辰副教授担任副主编，陈春俊教授全面负责本书的内容安排、汇总整理。虽然编者长期从事自动控制理论与工程应用的教学与科研工作，但是由于时间仓促，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

2010年12月

主要符号说明

m	质量	$N(s)$	$L[n(t)]$
c	黏性阻尼系数	n	单独使用时一般表示转速
k	弹簧刚度	ω	角速度
R	电阻	T	时间常数或时间
C	电容	τ	延迟时间或时间
L	电感	ω_n	无阻尼固有频率
K	增益或放大系数	ω_d	有阻尼固有频率
$f(t)$	外力	ω_T	转角频率
$L[]$	Laplace 变换	ω_g	相位交接频率
$F[]$	Fourier 变换	ω_c	增益交接频率或剪切频率
$x_i(t)$	输入 (激励)	ω_b	截止频率
$X_i(s)$	$L[x_i(t)]$	ω_r	谐振频率
$x_o(t)$	输出 (响应)	ξ	阻尼比
$X_o(s)$	$L[x_o(t)]$	M_r	相对谐振峰值
$X_i(j\omega)$	$F[x_i(t)]$	M_p	超调量
$X_o(j\omega)$	$F[x_o(t)]$	K_g	增益裕度
$\delta(t)$	单位脉冲函数	γ	相位裕度
$u(t)$	单位阶跃函数	u	一般表示电压
$r(t)$	单位斜坡函数	i	一般表示电流
$\omega(t)$	单位脉冲响应函数	$\varepsilon(t)$	偏差
$G(s)$	传递函数或前向通道传递函数	$E(s)$	$L[\varepsilon(t)]$
$G(j\omega)$	频率特性	$e(t)$	误差
$H(s)$	反馈回路传递函数	$E_1(s)$	$L[e(t)]$
$H(j\omega)$	反馈回路频率特性	φ, θ	一般表示相位
$B(s)$	闭环系统反馈信号	j	印为正体字时表示 $\sqrt{-1}$
$G_K(s)$	系统的开环传递函数	$x^*(t)$	$x(t)$ 采样后的时间序列
$G_B(s)$	系统的闭环传递函数	f_s	采样频率
$G_K(j\omega)$	系统的开环频率特性	$Z[]$	Z 变换
$G_B(j\omega)$	系统的闭环频率特性	$X(z)$	$Z[x(t)]$
$n(t)$	干扰信号	$G(z)$	离散系统的传递函数 (或称脉冲传递函数)

目 录

第 1 章 自动控制概论	1
1.1 引 言	2
1.2 控制系统的基本组成	5
本章小结	9
习 题	9
第 2 章 控制系统数学模型	11
2.1 引 言	12
2.2 微分方程模型建立	12
2.3 非线性系统的线性化	16
2.4 拉氏变换及反变换	19
2.5 传递函数模型	24
2.6 典型环节的传递函数	26
2.7 方框图表示及化简	32
2.8 建模实例分析	39
本章小结	44
习 题	44
第 3 章 线性系统的时域分析法	48
3.1 引 言	49
3.2 一阶系统的时间响应分析	51
3.3 二阶系统的时间响应分析	51
3.4 动态性能指标	53
3.5 高阶系统的时间响应分析	59
3.6 误差分析与计算	61
本章小结	68
习 题	68
第 4 章 线性系统的频率特性分析	71
4.1 引 言	72
4.2 频率特性的极坐标图	76
4.3 频率特性的对数坐标图	81
4.4 闭环系统频率特性	91

4.5 频率特性的性能指标	93
本章小结	94
习 题	94
第 5 章 线性系统的稳定性分析	96
5.1 引 言	97
5.2 Routh (劳斯) 稳定性判据	99
5.3 Nyquist (奈奎斯特) 稳定判据	103
5.4 稳定裕度	108
本章小结	111
习 题	111
第 6 章 系统的性能指标与校正	113
6.1 引 言	114
6.2 系统校正	115
6.3 串联校正	117
6.4 反馈校正	120
6.5 顺馈校正	122
本章小结	124
习 题	124
第 7 章 非线性控制系统	125
7.1 引 言	126
7.2 描述函数法	130
7.3 相平面分析法	140
本章小结	147
习 题	147
第 8 章 线性离散控制系统	149
8.1 引 言	150
8.2 A/D 与 D/A	151
8.3 Z 变换和 Z 反变换	152
8.4 线性离散系统的传递函数	156
8.5 离散系统的 z 域分析	159
8.6 离散系统的校正和设计	163
本章小结	168
习 题	169
参考文献	170

第1章 自动控制概论

【学习指导】

1. 学习目标

- (1) 掌握自动控制和反馈的基本概念、反馈控制的本质。
- (2) 掌握反馈控制系统的典型组成框图及各环节的功能。
- (3) 掌握反馈控制系统的基本分类方法及控制系统的基本要求。
- (4) 学会用系统论、信息论的观点分析反馈控制系统的工作过程及绘制原理框图。
- (5) 了解控制系统的产生及其发展过程。

2. 学习建议

- (1) 学习时间：3 小时。
 - 1.1 节建议学习时间：90 分钟。
 - 1.2 节建议学习时间：90 分钟。
- (2) 学习方法：
 - ① 课堂上认真听讲或点播学习网络课件。
 - ② 用反馈控制的思想分析你日常生活中遇到的一些现象。
 - ③ 完成本章的习题。

3. 学习重点和难点

- (1) 反馈控制系统的调节过程分析及控制系统原理方框图的绘制。
- (2) 控制系统输入量、控制量、被控变量及干扰信号的含义。

1.1 引言

“控制工程基础”是一门主要阐述自动控制理论与技术的专业基础课程。自动控制，是指在没有人直接参与的情况下，利用控制装置，使机器、设备或生产过程的某个工作状态或参数，自动地按照预定的规律运行。例如，数控车床按照预定的程序自动地对工件进行切削加工；焊接机器人按工艺要求对流水线上的各个机械部件进行焊接；化学反应炉的温度或压力自动地保持稳态；雷达和计算机组成的导弹发射和制导系统自动地将导弹引导到预定目标；无人驾驶飞机按照预定的航迹自动升降和飞行；人造卫星准确地进入预定的轨道运行并回收等。这些例子都是依赖于自动控制理论与技术。

当今，自动控制理论与技术已广泛地运用于航空航天、地面车辆、水上航运、军事武器、工农业生产、智能建筑、家电产品等各个领域。可以说，自动控制理论与技术已成为现代社会活动中不可缺少的重要组成部分。

作为研究自动控制系统共性规律的控制理论，不单是一门极为重要的工程技术科学，还是人们分析问题和解决问题的科学方法论之一。

1.1.1 自动控制系统的产生

人类的祖先在学会制作和使用石器工具以后，就逐渐开始制作和使用机械了。机械的不断发展不仅使人类从繁重的体力劳动中解放出来，而且使劳动效率和产品质量大为提高。人类认识到机械在生产中的重要作用后，便不断地改进旧机械和发明新机械来满足各种各样的劳动需要。在机械工程发展的过程中，人们一直致力于实现机械的自动化研究。下面通过蒸汽机转速的人工控制与自动控制的例子来阐述自动控制的基本原理。

图 1.1 所示为蒸汽机转速人工控制系统框图。

人工调节过程可归结如下：

- (1) 操作者用肉眼检测蒸汽机的实际转速；
- (2) 将实际转速与要求希望转速进行比较，得出偏差的大小和方向；
- (3) 根据偏差的大小和方向计算出控制量；
- (4) 大脑指挥手进行控制。

人工控制过程中，信号的流程如图 1.2 所示。

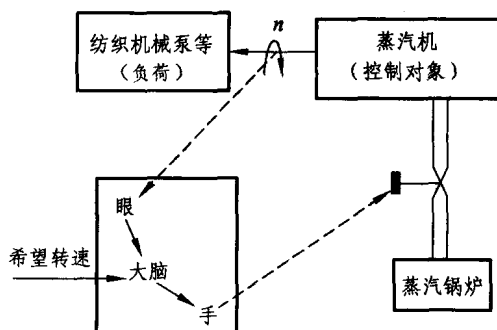


图 1.1 蒸汽机转速人工控制系统

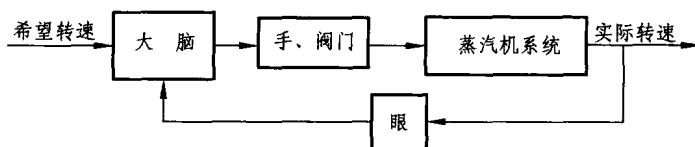


图 1.2 蒸汽机转速人工控制系统框图

人工控制是指某个主体使其他对象按照一定的目的来动作。人的活动体现出反馈控制的原理。反馈就是将输出信号部分或全部返回输入端，并与输入信号进行比较的过程。只要这个偏差存在，控制过程就要反复进行，直到偏差减小为零。人工控制的本质是“检测偏差，用偏差纠正偏差的过程”。

英国人瓦特于 1788 年发明的蒸汽机离心调速器便是一个典型的自动控制系统，其结构如图 1.3 所示。该系统中，由离心机构组成的检测装置对输出转速进行检测，并把它反馈给控制装置，对蒸汽流量进行控制。控制的目的是使蒸汽机的转速 n 保持在一个恒定数值上，这个恒定数值称为控制系统的目标值，转速 n 称为控制系统的被控量或控制系统的输出量。如果给蒸汽机通入额定的蒸汽流量，负荷为额定负荷且保持不变，又没有其他干扰，则蒸汽机的转速即可维持在额定转速 n ，即目标值。但在负荷变化的情况下，蒸汽机的转速必然跟着变化。为了控制系统的被控量 n ，保持转速为目标值，采用离心机构检测被控量 n 。离心机构连接飞锤的连杆张开角度的大小取决于飞锤离心作用的大小，蒸汽机的转速越大，飞锤离心作用越大，所产生的张开角度越大，所以离心机构称为控制系统的检测装置。检测被控量的检测装置是自动控制系统必须有的部分。

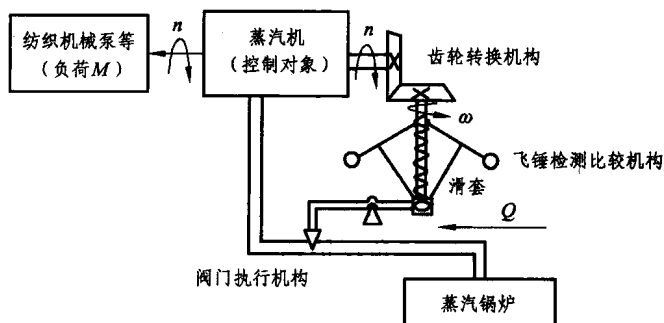


图 1.3 蒸汽机离心调速控制系统

如果负荷 M 减小，转速 n 提高，飞锤机构旋转速度增大，增加了飞锤连杆的张开角度，使离心机构下部的滑块位置向上移动，通过转换机构减小阀门的开度，从而减小蒸汽量，将降低蒸汽机的转速 n ；反之，如果负荷 M 增大，转速 n 变小，飞锤机构旋转速度减小，使离心机构连接飞锤的连杆的张开角度变小，离心机构下部的滑块位置向下移动，通过由杠杆构成的转换机构增加阀门打开的程度，从而加大蒸汽量，提高蒸汽机的转速 n 。图 1.4 所示是蒸汽机转速自动控制系统方框图。

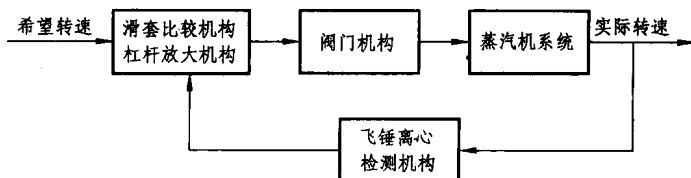


图 1.4 蒸汽机离心调速控制系统方框图

1.1.2 自动控制的发展

虽然在几百年前，人类就开始运用自动控制的原理初步进行生产劳动，但控制系统的设

计如果没有理论指导,很难有效地设计出性能令人满意的控制系统。

1788年,瓦特的蒸汽机离心调速系统引起了人们对自动控制理论的广泛关注。1868年,J.C.Maxwell基于微分方程的描述,从理论上给出了稳定性条件,但只限于4阶以下系统,并发表《论调速》一文,提出了“反馈控制”的概念。1887年E.J.Routh和1895年A.Hurwitz分别独立给出了高阶线性系统的稳定判据。1892年,A.M.Lyapunov给出了非线性系统的稳定性判据。1922年,米罗斯基(N.Minorsky)给出了位置控制系统的分析,并对PID三作用给出了控制运算公式。1934年,哈仁(H.L.Hazen)给出了伺服机构的理论研究结果。1932年,H.Nyquist给出了负反馈系统的频域稳定性判据。1940年,H.Bode进一步研究通信系统频域方法并给出了频率响应的对数坐标图描述方法。1942年,齐格勒(J.G.Zigler)、尼科尔斯(Nichols)给出了PID控制器的最佳参数整定法。

第二次世界大战期间,当时军事技术和工业生产中都出现了许多亟待解决的系统控制问题,要求涉及的系统工作要稳定、响应要迅速,并且精度要高。这就需要对系统做深入的理论研究,揭示系统内部运动的规律,即系统性能与系统结构以及参数之间的关系。尤其是对高性能武器系统的要求,例如,自动跟踪雷达和自动定位高射炮相结合的系统,对系统整体的研究以及对统一分析设计方法的研究取得进展。美国MIT伺服机构实验室等对以往自动控制器与反馈放大器作了总结,提出了反馈控制的数学基础。

新兴学科控制论的奠基人维纳在第二次世界大战期间参加了火炮自动控制的研究工作。他把火炮自动打飞机的动作与人狩猎的行为做了对比,认识到稳定活动的方法之一是把活动结果所决定的一个量作为信息的新的调节部分,再反馈到控制仪器中。这一过程就是反馈。即使驾驶一辆车的简单人类活动,都是由负反馈调节着。人们不是按着固定的模式来操纵车上的驾驶盘,而是发现靠左了,就向右边做一个校正,反之亦然。因此他认为,目的性行为可以用反馈来代替,把目的性行为这个生物所特有的概念赋予机器。于是,维纳等人在1943年发表了《行为,目的和目的论》,并总结了火炮自动控制研制的成功经验。1948年,维纳所著《控制论》的出版,标志着这门学科的正式诞生。1950年,W.R.Evans提出了根轨迹技术,进一步充实了经典控制理论。

20世纪50年代以后是控制论的发展期,一方面,火炮及导弹控制技术极大地发展,数控、电力、冶金自动化技术突飞猛进;另一方面,控制理论也日渐成熟。控制系统理论从军用逐步转向于民用生产部门,控制理论得到了进一步应用,在化工、炼油、冶金等部门实现了对过程的控制。

1954年,我国科学家钱学森在美国运用控制论的思想和方法,发表了《工程控制论》这一著作,把控制论推广到工程技术领域,为控制工程这一学科技术奠定了理论基础。此后,又相继出现了生物控制论、经济控制论和社会控制论。这个阶段是古典控制理论蓬勃发展的时期。古典控制理论的内容是以传递函数为基础,主要研究单输入、单输出这类控制系统的分析和设计问题。

20世纪50年代末至20世纪60年代初,在古典控制理论的基础上,发展了现代控制理论。现代控制理论主要是在时域内利用状态空间分析,来解决多输入多输出系统的最优控制问题。它成功地解决了导弹、航空航天制导等方面的问题,并逐步用于民用生产。

20世纪70年代,先进控制理论得以形成发展,它包括自适应控制、模糊控制、神经网络

络控制、预测控制、专家控制等理论。近年来,由于电子计算机技术和现代应用数学研究的迅速发展,又使现代控制理论在大系统理论和模仿人类智能活动的人工智能控制等方面有了重大发展。

1.2 控制系统的基本组成

1.2.1 控制系统的基本组成

一个典型的反馈控制系统基本组成可用如图 1.5 所示的方框图表示。图中, $\otimes$ 代表比较元件,它将检测变送环节检测到的被控量与给定环节的输入量进行比较,“-”表示两者符号相反,即负反馈;“+”表示两者符号相同,即正反馈。

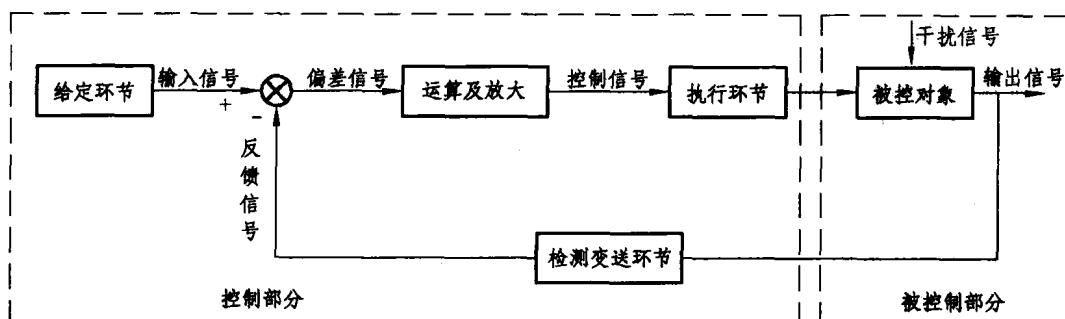


图 1.5 典型控制系统的组成方框图

一般,加到反馈控制系统上的外作用有两种类型:一种是有用输入,另一种是扰动。有用输入决定系统被控量的变化规律;而扰动是系统不希望有的外作用,它破坏有用输入对系统的控制。在实际系统中,扰动总是不可避免的,而且它可以作用于系统中的任何元部件上,也可能一个系统同时受到几种扰动作用。电源电压的波动,环境温度、压力以及负载的变化,飞行中气流的冲击,航海中的波浪等,都是现实中存在的扰动。反馈控制方式是按偏差进行控制的,其特点是不论什么原因使被控量偏离期望值而出现偏差时,必定会产生一个相应的控制作用去减小或消除这个偏差,使被控量与期望值趋于一致。

1.2.2 控制系统的分类

1.2.2.1 对广义系统按有无反馈情况划分

1. 开环控制系统

系统的输出端和输入端之间不存在反馈回路,输出量对系统的控制作用没有影响,这样的系统就称为开环控制。图 1.6 所示的电机转速控制系统即为开环控制系统。

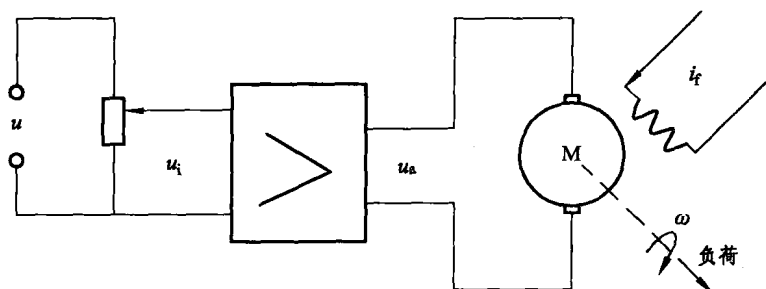


图 1.6 电机转速控制系统

按给定量控制的开环控制系统，其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相对应，控制精度完全取决于所用的元件及校准的精度。目前，用于国民经济各部门的一些自动化装置，如自动售货机、自动洗衣机、产品生产自动线、数控车床以及指挥交通的红绿灯的转换等，一般都是开环控制系统。

2. 闭环控制系统

系统输出端和输入端之间存在反馈回路，输出量对控制过程产生直接影响，这种系统称为闭环控制系统。图 1.7 所示的直流电机转速闭环控制系统即为闭环控制系统。

3. 开环控制与闭环控制比较

开环控制：这类控制系统没有纠错能力，比如电机负载变化时，转速也将变化。由于其结构简单、成本低，在精度要求不高或扰动影响较小的情况下，这种控制方式还有一定的实用价值。

闭环控制：利用反馈来减小偏差。其优点是精度高，不管什么原因引起被控量偏离给定值时，都会通过反馈作用减小这一偏差。

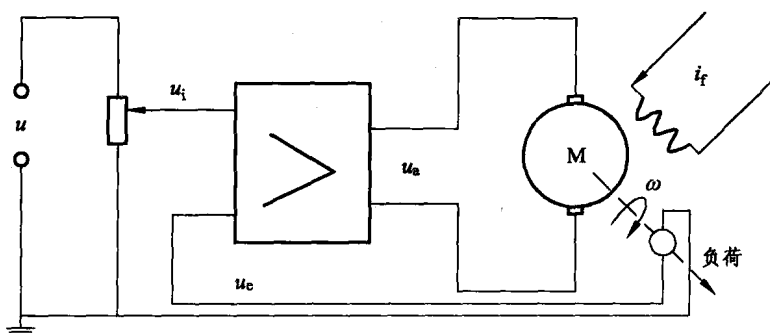


图 1.7 直流电机转速闭环控制系统

1.2.2.2 按给定值的运动规律划分

1. 定值控制系统

控制系统的输入量是一个恒定值，在整个运行过程中不存在改变（可定期校准或更改输入量）。

定值控制系统的任务是保证在任何干扰作用下，输出量维持恒定不变。

在工业控制中，如果被控量是温度、流量、液位、压力等生产过程参数量时，这种控制系统则称为过程控制系统，它们大多数都属于定值控制系统。

2. 随动控制系统

系统的控制量不是常数，而是事先难以确定的随机变化量。要求系统能排除各种干扰因素，控制被控量，从而迅速平稳地复现和跟踪输入信号的变化。

例如，雷达天线的自动跟踪系统、高炮自动瞄准系统就是典型的随动控制系统。在随动系统中，如果被控量是机械位置或其导数时，这类系统称之为伺服系统。

3. 程序控制系统

这种系统输入量不为常量，但其变化规律是预先知道或确定的。机械加工使用的数字程序控制机床便是一例，在该机床中预先将输入量的变化规律编成程序，由该程序发出控制命令，使被控对象按指令的要求而动。

近年来，由于微处理器的发展，更多的数字程序控制系统投入使用。

1.2.2.3 按控制器实现方式划分

1. 连续控制系统

连续控制系统指控制系统中的所有信号在时间上为连续的控制系统。控制器是由模拟部件（如模拟调节仪表）实现的控制系统为连续控制系统。

2. 离散控制系统

控制器是由计算机来实现的控制系统为离散控制系统。系统的某处或多处的信号为脉冲序列或数码形式，因而信号在时间上是离散的。典型的计算机控制系统的结构框图如图 1.8 所示。

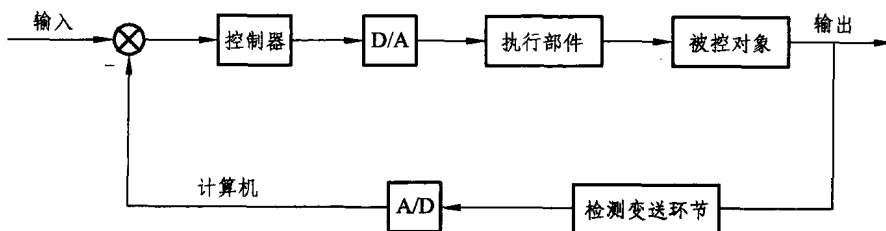


图 1.8 计算机控制系统的结构框图

1.2.3 对控制系统的基本要求

自动控制理论是研究自动控制共同规律的一门学科。尽管自动控制系统有不同的类型，控制对象纷繁复杂，对每个系统也都有不同的特殊要求，但从控制工程的角度来看，对控制系统却有一些共同的要求，一般可归结为稳定性、快速性和准确性三个方面。

1. 稳定性

稳定性乃是保证控制系统正常工作的先决条件。

对于稳定的定值控制系统，被控量因扰动而偏离期望值后，经过一个过渡过程时间，被控量应恢复到原来的期望状态；对于稳定的随动系统，被控量应能始终跟踪参考输入量的变化。不稳定的控制系统无法实现预定的控制任务。

线性自动控制系统的稳定性是由系统结构所决定的，与外界因素无关。这是因为控制系统中一般含有储能元件或惯性元件，如绕组的电感、电枢转动惯量、电炉热容量、物体质量等储能元件的能量不可能突变，因此，当系统受到扰动或有输入量时，控制过程不会立即完成，而是有一定的延缓，这就使得被控量恢复期望值或跟踪参数量有一个时间过程，称为过渡过程。例如，在反馈控制系统中，由于被控对象的惯性，会使控制动作不能瞬时纠正被控量的偏差；控制装置的惯性则会使偏差信号不能及时完全转化为控制动作。这样，在控制过程中，当被控量已经回到期望值而使偏差为零时，执行机构本应立即停止工作，但由于控制装置的惯性，控制动作仍继续向原来方向进行，致使被控量超过期望值又产生符号相反的偏差，导致执行机构向相反方向动作，以减小这个新的偏差；另一方面，当控制动作已经到位时，又由于被控对象的惯性，偏差并未减小为零，因而执行机构继续向原来方向运动，使被控量又产生符号相反的偏差，如此反复进行，致使被控量在期望值附近来回摆动，过渡过程呈现振荡形式。如果这个振荡过程是逐渐减弱的，系统最后可以达到平衡状态，控制目的得以实现，我们称为稳定系统；反之，如果振荡过程逐步增强，系统被控量将失控，则称为不稳定系统。

2. 快速性

控制系统仅仅满足稳定性要求是不够的，还必须对其过渡过程的形式和快慢提出要求，一般称为动态性能。图 1.9 所示为某系统的阶跃响应，对控制系统过渡过程的时间 t_s （即快速性）一般有具体要求。

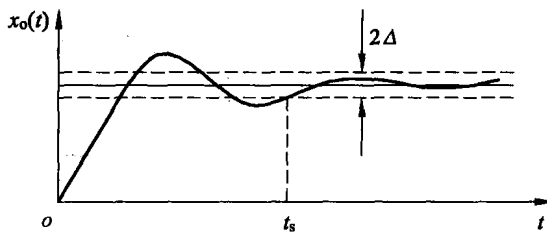


图 1.9 系统的阶跃响应

例如，对用于稳定高射炮射角随动系统，虽然炮身最终能跟踪目标，但如果目标变动迅速，而炮身跟踪目标所需过渡过程时间过长，就不可能击中目标。

3. 准确性

在理想情况下，当过渡过程结束后，被控量达到的稳态值（即平衡状态）应与期望值一致。但实际上，由于系统结构、外作用形式以及摩擦、间隙等非线性因素的影响，被控量的稳态值与期望值之间会有误差存在。准确性是指在过渡过程结束后，输出量与给定信号的偏差，又称为静态偏差或稳态偏差。

准确性也是衡量系统工作性能的重要标准，在技术指标中一般都有具体要求。

由于受控对象的具体情况不同，各种系统对稳、快、准的要求各有侧重，例如，随动系统对快速性要求较高，而调速系统对稳定性提出较严格的要求。同一系统稳、快、准是相互制约的。快速性好，可能会有强烈振荡；改善稳定性，控制过程又可能过于迟缓，精度也可能变坏。分析和解决这些矛盾，也是本学科讨论的重要内容。对于机械动力学系统的要求，首要的也是稳定性，因为过大的振荡将会使部件过载而损坏，此外还要防止自振、降低噪声、增加刚度等。这些都是控制理论研究的中心问题。

本章小结

本章主要介绍了自动控制系统的产生、发展过程及发展趋势；控制系统的基本概念、反馈的本质、控制系统的典型组成、基本分类及其评价方法。学会用系统论、信息论的观点分析反馈控制系统的工作过程及绘制原理框图。

习 题

1. 在给出的答案里，选择出正确的答案。

(1) 以同等精度元件组成的开环系统和闭环系统，其精度比较为_____。

(A) 开环高 (B) 闭环高 (C) 相差不多 (D) 一样高

(2) 系统的输出信号对控制作用的影响_____。

(A) 开环有 (B) 闭环有

(C) 都没有 (D) 都有

(3) 对于系统抗干扰能力_____。

(A) 开环强 (B) 闭环强

(C) 都强 (D) 都不强

(4) 作为系统_____。

(A) 开环不振荡 (B) 闭环不振荡

(C) 开环一定振荡 (D) 闭环一定振荡

2. 试比较开环控制系统和闭环控制系统的优缺点。

3. 在下列这些持续运动的过程中，都存在信息的传输，并利用反馈来进行控制，试加以说明。

(1) 人骑自行车；

(2) 人驾驶汽车。

4. 举出五个身边控制系统的例子，并指出是开环还是闭环。

5. 图 1.10 所示是两种类型的水位自动控制系统，试画出它们的方框图，说明自动控制水位的过程，指出两者的区别，并比较两者的精度。

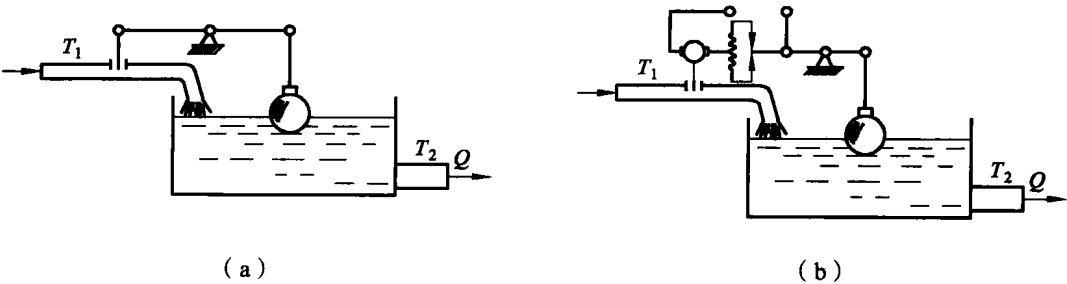


图 1.10 水位自动控制系统

6. 图 1.11 所示为角速度控制系统原理图，调速器的轴通过减速齿轮以角速度 ω 旋转，旋转的飞锤所产生的离心力被弹簧力抵消，所要求的速度由弹簧预应力调准，试画出其方框图。

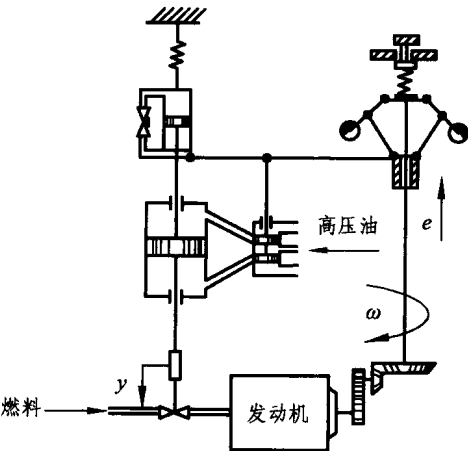


图 1.11 角速度控制系统

第2章 控制系统数学模型

【学习指导】

1. 学习目标

- (1) 掌握数学模型的基本概念、分类及建立方法。
- (2) 能够运用动力学、电工学等专业知识，列写机械系统和电气系统的微分方程。
- (3) 掌握传递函数的定义和特点。
- (4) 掌握传递函数模型建立的基本步骤及方法。
- (5) 掌握典型传环节的特点，传递函数的基本形式及其物理意义。
- (6) 掌握方框图化简的规则和复杂控制系统的化简方法。

2. 学习建议

- (1) 学习时间：15 小时。
 - 2.1 节建议学习时间：30 分钟。
 - 2.2 节建议学习时间：210 分钟。
 - 2.3 节建议学习时间：60 分钟。
 - 2.4 节建议学习时间：180 分钟。
 - 2.5 节建议学习时间：90 分钟。
 - 2.6 节建议学习时间：120 分钟。
 - 2.7 节建议学习时间：120 分钟。
 - 2.8 节建议学习时间：90 分钟。
- (2) 学习方法：
 - ① 课堂上认真听讲或点播学习网络课件。
 - ② 查阅复变函数和积分变换的相关知识。
 - ③ 完成本章的习题。

3. 学习重点和难点

- (1) 系统微分方程的列写。
- (2) 传递函数的概念、特点及列写。
- (3) 控制系统方框图的绘制及简化。