

自动控制原理

- ◆ 自动控制基础知识
- ◆ 控制系统的数学模型
- ◆ 控制系统的时域分析法
- ◆ 控制系统的根轨迹法
- ◆ 控制系统的频率响应法
- ◆ 控制系统的校正
- ◆ 非线性控制系统
- ◆ 离散控制系统



徐国凯 主编
韩志敏 张涛 副主编



高等院校计算机应用技术系列教材

自动控制原理

徐国凯 主编

韩志敏 张涛 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统全面地介绍了经典控制理论的基本内容,着重于基本概念、基本理论和基本方法的论述。全书共分 8 章:绪论、控制系统的数学模型、控制系统的时域分析法、根轨迹法、频率响应法、控制系统的校正、非线性控制系统、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,每章都列举了一定数量的例题和习题。另外,在每章都加入了 Matlab 的具体应用实例。

本书的一个重要特点是适合渗透式双语教学。在每节中都为重要的技术术语加注了英文解释,每章末都加入了重点概念和术语的中英文对照表,便于教师在课堂上对学生进行专业词汇的渗透,使学生在 学习本课程的同时逐步增加专业词汇量,方便学生更好地阅读外文专业书籍和文献,进而切实提高双语教学水平。

本书可作为自动化专业本科生的教科书,也可作为其他与控制有关的专业本科生与研究生以及科技与工程人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/徐国凯 主编;韩志敏,张涛 副主编. —北京:清华大学出版社,2007.9
(高等院校计算机应用技术系列教材)

ISBN 978-7-302-16025-0

I. 自… II. ①徐… ②韩… ③张… III. 自动控制理论—高等学校—教材 IV.TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 133537 号

责任编辑:刘金喜 高晓晴

装帧设计:康 博

责任校对:胡雁翎

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:22.25 字 数:514 千字

版 次:2007 年 9 月第 1 版 印 次:2007 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~5000

定 价:32.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:026273-01

前 言

随着工业生产和科学技术的发展,自动控制技术已广泛应用于制造业、农业、交通、航空航天和国防等领域。“自动控制理论”是专门研究有关自动控制系统的基本概念、基本原理和基本方法的一门课程,也是高等院校自动化及其相关专业学生必修的基础课之一。

本书系统地介绍了经典控制理论的基本内容。主要内容包括:自动控制基础知识、控制系统的数学模型、控制系统的时域分析法、根轨迹法、频率响应法、控制系统的校正、非线性控制系统、离散控制系统。这些内容都是国内外公认的关于自动控制理论的基本内容。为了便于读者深入理解本书所述的重要概念,每章都列举了一定数量的例题和习题。

本书的一个重要特点是适合渗透式双语教学。在每节中都为重要的技术术语加注了英文词汇,每章末都加入了重点概念和术语的中英文对照表,便于教师在课堂上对学生进行专业词汇的渗透,使学生在学本课程的同时逐步增加专业词汇量,方便学生更好地阅读外文专业书籍及文献,进而切实提高双语教学水平。

本书由大连民族学院徐国凯教授主编。参加编写的有陈晓云副教授(第1章)、张艳讲师(第2章)、宋鹏讲师(第3章)、谢春利讲师(第4章)、徐国凯教授(第5章)、杜海英助教(第6章)、张涛讲师(第7章)和韩志敏副教授(第8章)。本书由王培昌教授主审。

本书可作为自动化专业本科生的教科书,也可作为电子信息类或其他与控制有关专业的本科生、研究生以及工程技术人员的参考书。

由于编者水平有限,错误或不当之处在所难免,期望广大读者批评指正。服务邮箱:
wkservice@tup.tsinghua.edu.cn。

编 者

2007年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 自动控制系统的概念	1
1.2 自动控制系统的分类	4
1.2.1 开环系统和闭环系统	4
1.2.2 定值、伺服和程序控制系统	6
1.2.3 线性与非线性控制系统	7
1.2.4 连续与离散控制系统	7
1.3 自动控制理论的发展概况	8
1.4 自动控制系统的性能要求	10
本章小结	11
习题	11
第 2 章 控制系统的数学模型	13
2.1 列写系统微分方程式的一般方法	13
2.1.1 典型元件系统微分方程的建立	14
2.1.2 控制系统微分方程的建立	16
2.2 非线性数学模型的线性化	20
2.3 传递函数	23
2.3.1 传递函数的定义	23
2.3.2 传递函数的基本性质	26
2.3.3 控制系统的典型环节及传递函数	27
2.4 框图和系统的传递函数	33
2.4.1 框图的组成	33
2.4.2 系统框图的建立	34
2.4.3 框图的等效变换	36
2.4.4 自动控制系统的传递函数	40
2.5 信号流图和梅逊公式的应用	44
2.5.1 信号流图的术语和性质	45
2.5.2 梅逊增益公式	47
2.6 Matlab 在本章中的应用	49
本章小结	51
习题	51

第 3 章 控制系统的时域分析法	54
3.1 控制系统的时域性能指标.....	54
3.1.1 典型输入信号.....	54
3.1.2 时域性能指标.....	57
3.2 一阶系统的时域响应.....	59
3.2.1 一阶系统的数学模型.....	59
3.2.2 单位阶跃响应.....	60
3.2.3 单位斜坡响应.....	61
3.2.4 单位脉冲响应.....	62
3.2.5 单位加速度响应.....	62
3.3 二阶系统的时域响应.....	63
3.3.1 二阶系统的数学模型.....	63
3.3.2 二阶系统的单位阶跃响应.....	65
3.3.3 欠阻尼二阶系统的动态过程分析.....	69
3.3.4 二阶系统的单位脉冲响应.....	73
3.4 线性系统的稳定性分析.....	74
3.4.1 系统稳定的充要条件.....	74
3.4.2 系统稳定的必要条件.....	76
3.4.3 劳斯稳定判据.....	76
3.4.4 赫尔维兹判据.....	80
3.5 控制系统的稳态误差.....	81
3.5.1 稳态误差的定义.....	82
3.5.2 系统类型.....	83
3.5.3 扰动作用下的稳态误差.....	87
3.5.4 提高系统稳态精度的方法.....	88
3.6 Matlab 在控制系统时域分析中的应用.....	88
3.6.1 控制系统的传递函数.....	88
3.6.2 控制系统的时域响应.....	91
本章小结.....	97
习题.....	97
第 4 章 根轨迹法	100
4.1 根轨迹法的基本概念.....	100
4.1.1 根轨迹的概念.....	100
4.1.2 根轨迹与系统性能.....	102
4.1.3 根轨迹的幅值条件和相角条件.....	102
4.2 绘制根轨迹的基本法则.....	106

4.3	参量根轨迹的绘制	119
4.4	非最小相位系统的根轨迹	123
4.4.1	正反馈回路的根轨迹	123
4.4.2	系统中含有非最小相位元件	124
4.4.3	滞后系统的根轨迹	125
4.5	用根轨迹分析控制系统	126
4.5.1	根轨迹确定系统的有关参数	126
4.5.2	指定 K_0 时的闭环传递函数	129
4.5.3	确定具有不指定阻尼比 ζ 的闭环极点和单位阶跃响应	131
4.6	Matlab 在本章中的应用	132
	本章小结	137
	习题	138
第 5 章	频率响应法	142
5.1	频率特性	142
5.1.1	频率特性的基本概念	142
5.1.2	由传递函数确定系统的频率特性	144
5.2	对数坐标图	147
5.2.1	典型因子的伯德图	147
5.2.2	绘制开环系统伯德图的一般步骤	156
5.2.3	最小相位系统与非最小相位系统	158
5.2.4	系统的类型与对数幅频特性曲线低频渐近线的对应关系	160
5.3	极坐标图	162
5.3.1	典型因子的乃氏图	162
5.3.2	极坐标图的一般形状	167
5.4	乃奎斯特稳定判据	170
5.4.1	辐角原理	170
5.4.2	乃奎斯特稳定判据介绍	172
5.4.3	乃氏判别应用于滞后系统	179
5.5	相对稳定性分析	181
5.5.1	增益裕量	182
5.5.2	相位裕量	182
5.5.3	相对稳定性与对数幅频特性中频段斜率的关系	185
5.6	频域性能指标与时域性能指标间的关系	187
5.6.1	闭环频率特性及其特征量	188
5.6.2	二阶系统时域响应与频域响应的关系	190
5.7	传递函数的实验确定	194

5.8 Matlab 在本章中的应用	196
5.8.1 用 Matlab 绘制伯德图	196
5.8.2 用 Matlab 绘制乃奎斯特图	201
本章小结	204
习题	204
第 6 章 控制系统的校正	209
6.1 引言	209
6.1.1 受控对象	209
6.1.2 性能指标	210
6.1.3 系统带宽的确定	210
6.1.4 系统校正	211
6.1.5 基本控制规律	213
6.2 串联校正	216
6.2.1 超前校正	216
6.2.2 滞后校正	219
6.2.3 滞后—超前校正	221
6.3 反馈校正	224
6.3.1 利用反馈校正改变局部结构和参数	225
6.3.2 利用反馈校正取代局部结构	227
6.4 前置校正	228
6.4.1 稳定与精度	229
6.4.2 抗扰与跟踪	232
6.5 根轨迹法在系统校正中的应用	232
6.5.1 串联超前校正	233
6.5.2 串联滞后校正	235
6.6 Matlab 在本章中的应用	238
本章小结	247
习题	248
第 7 章 非线性控制系统	251
7.1 非线性控制系统概述	251
7.1.1 研究非线性控制理论的意义	251
7.1.2 非线性系统的特征	253
7.1.3 非线性系统的分析与设计方法	256
7.2 常见非线性及其对系统运动的影响	257
7.2.1 非线性特性的等效增益	257
7.2.2 常见非线性因素对系统运动的影响	259

7.3 非线性元件的描述函数	262
7.3.1 描述函数的基本概念	262
7.3.2 非线性元件描述函数的举例	264
7.3.3 用描述函数法分析非线性控制系统	270
7.4 非线性系统的相平面分析	274
7.5 Matlab 在本章中的应用	281
本章小结	286
习题	286
第 8 章 离散控制系统	289
8.1 引言	289
8.2 信号的采样与复现	292
8.2.1 采样过程	292
8.2.2 采样定理	294
8.2.3 零阶保持器	296
8.3 z 变换与 z 反变换	298
8.3.1 z 变换	299
8.3.2 z 变换的基本性质	303
8.3.3 z 反变换	306
8.4 脉冲传递函数	308
8.4.1 串联环节的脉冲传递函数	309
8.4.2 闭环系统的脉冲传递函数	311
8.5 差分方程	317
8.5.1 差分的定义	317
8.5.2 差分方程	318
8.5.3 用 z 变换法求解差分方程	319
8.5.4 用迭代法求解差分方程	321
8.6 离散控制系统的性能分析	322
8.6.1 离散控制系统的稳定性分析	322
8.6.2 闭环极点与瞬态响应的关系	326
8.6.3 离散系统的稳态误差	330
8.7 Matlab 在离散控制系统分析与设计中的应用	332
8.7.1 利用 Simulink 分析和设计离散控制系统	332
8.7.2 利用控制系统工具箱分析和设计离散控制系统	338
8.7.3 利用 SISO 分析工具分析和设计离散控制系统	338
本章小结	340
习题	340

第1章 绪 论

随着生产和科学技术的发展,自动控制技术在国民经济和国防建设中所起的作用越来越大。从最初的机械转速或位置的控制到工业过程中温度、压力或流量的控制,从远洋巨轮到深水潜艇的控制,从飞机自动驾驶、神州飞船的返回控制到“勇气”号、“机遇”号的火星登陆控制,自动控制技术的应用几乎无所不在。从航空航天、电气、机械、化工、生物工程到经济管理,自动控制理论和技术已经渗入到许多学科,渗透到各个工程领域。所以许多工程技术人员和科学工作者都希望具备一定的自动控制知识,根据任务需要设计自动控制系统。

本章重点内容:

- 自动控制系统的组成
- 自动控制系统的分类
- 自动控制理论的发展历史
- 自动控制系统的性能要求

1.1 自动控制系统的一般概念

自动控制(automatic control)就是在没有人直接参与的情况下,利用控制器使被控对象(如机器、设备和生产过程)的某些物理量(或工作状态)能自动地按照预定的规律运行(或变化)。自动控制是一门理论性很强的科学技术,一般泛称为“自动控制技术”。把实现自动控制所需的各个部件按一定的规律组合起来,去控制被控对象,这个组合体叫做“控制系统”。分析与设计自动控制系统的理论称为“控制理论”。

自动控制系统的种类较多,被控制的物理量也各种各样,如温度(temperature)、压力(pressure)、流量(flucency)、电压(voltage)、转速(rotate speed)、位移(distance)和力(force)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却相类同,且一般都是通过机械、电气、液压等方法来代替人工控制。为了了解自动控制系统的结构,下面我们分析一下图 1-1 所示的液面控制系统。

图中 F_1 为放水阀(drain valve), F_2 为进水阀(intake valve),控制要求液面的希望高度等于 h_0 。当人参与控制时就要不断地将实际液面高度 h_1 与希望液面高度 h_0 作比较,根据比较的结果,决定进水阀 F_2 的开度(aperture)是增大还是减小,以达到维持液面高度不变的目的。图 1-2 为人参与该系统的框图。由该图可见,人在参与控制中起了以下三方面的作用。

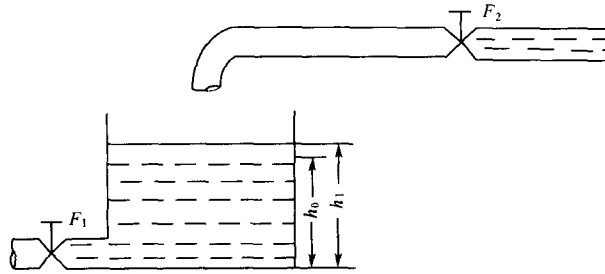


图 1-1 水池液面控制系统

- (1) 测量实际液面高度 h_1 ——用眼睛。
- (2) 将测得的实际液面高度 h_1 与希望液面的高度 h_0 相比较——用脑。
- (3) 根据比较的结果，即按照偏差的正负去决定阀的开度——用手。

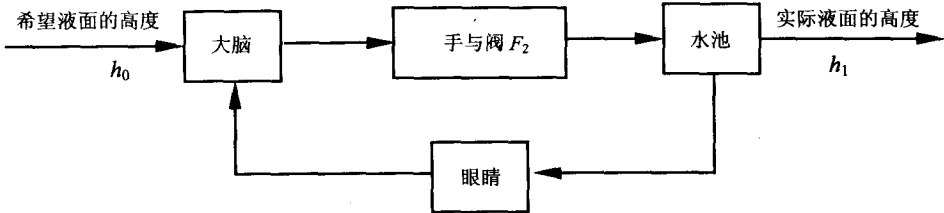


图 1-2 液面人工控制系统的框图

显然，如果用自动控制去代替上述的人工控制，那么在自动控制系统中必须具有上述三种职能机构，即测量机构、比较机构和执行机构。不言而喻，用人工控制不能保证系统所需的控制精度(control accuracy)，也不能减轻人的劳动强度。如果将图 1-1 改为图 1-3 所示的自动控制系统，就可以实现当满足 $F_1 < F_2$ 这个约束条件时，不论放水阀 F_1 输出的流量如何变化，系统总能自动维持其液面高度在允许的偏差范围(error range)之内。假设水池液面的高度因放水阀 F_1 的开度的增大而稍有降低，系统立即产生一个与降落液面成比例的误差电压 u ，该电压经放大器放大后供电给进水阀的拖动电动机，使阀 F_2 的开度相应地增大，从而使水池的液面恢复到所希望的高度。

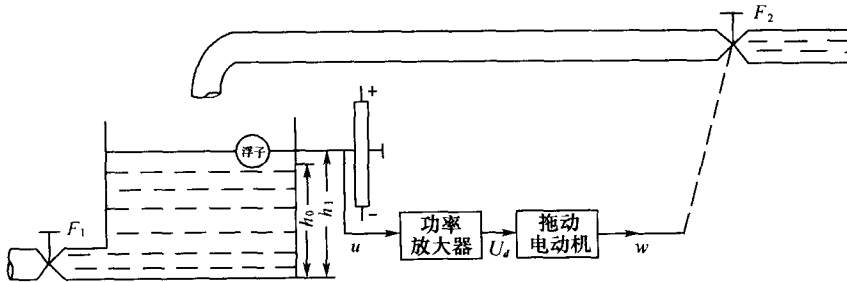


图 1-3 液面自动控制系统

图 1-3 所示的液面自动控制系统由以下五个部分组成。

- (1) 被控对象(controlled plant)——水池。

(2) 测量元件(measure element)——浮子。

(3) 比较机构(comparer)——求浮子的希望位置与实际位置之差。

(4) 放大机构(amplifier)——当测量元件测得的信号与给定信号比较后得到的误差信号(error signal)不足以使执行元件动作时，一般都需要放大元件。

(5) 执行元件(actuator)——它的职能是直接驱动被控对象，以改变被控制量。

以上五个部分也是一般自动控制系统的组成单元。此外，为了改善控制系统的动、静态性能通常还在系统中加上某种形式的校正装置(corrective device)。

为了使控制系统的表示既简单又明了，在控制工程中一般均采用方框表示系统中的各个组成部件，在每个方框中填入它所表示的部件的名称或功能函数表达式(function expression)，不必画出它们的具体机构。根据信号在系统中的传递(transfer)方向，用有向线段依次把它们连接起来，就求得了整个系统框图(system diagram)。控制系统的框图由以下三个基本单元组成。

(1) 引出点(leading-out point)，如图 1-4(a)所示。它表示信号的引出，箭头表示信号的传递方向。

(2) 比较点(summing junction)，如图 1-4(b)所示。它表示两个或两个以上的信号在该处进行的运算，“-”表示信号相减，“+”表示信号相加。

(3) 部件的方框，如图 1-4(c)所示。输入信号(input signal)置于方框的左端，方框的右端为其输出量，方框内填入部件名称。

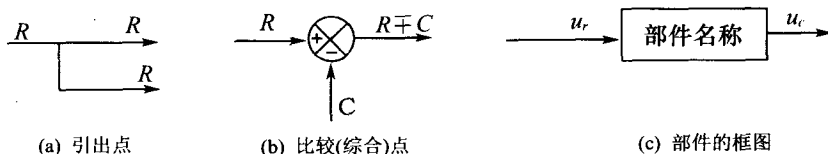


图 1-4 系统框图的基本组成单元

据此可把图 1-3 所示液面控制系统的原理改用图 1-5 所示的方框图来表示。显然，后者的表示不仅比前者简单，而且信号在系统中的传递过程也更为清晰。因此在以后的讨论中控制系统一般均以框图的形式表示。

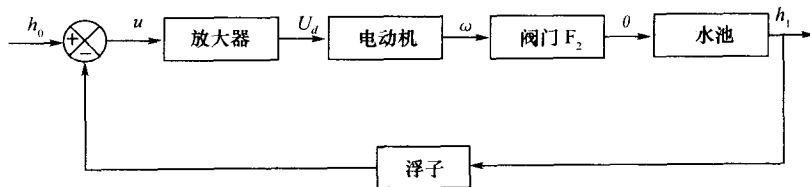


图 1-5 图 1-3 所示系统的框图

WORDS AND PHRASES

自动控制	automatic control
被控对象	controlled plant
测量元件	measure element
比较机构	comparer
放大机构	amplifier
执行元件	actuator

1.2 自动控制系统的分类

实际工程中，尽管控制系统的控制有其基本规律，然而控制系统因其工作环境、被控对象、变化规律不同，它的种类也不同。因此，介绍控制系统的各种类型，从而分门别类地掌握不同类型的控制系统的具体规律，对于控制系统的分析和设计是很有必要的。

1.2.1 开环系统和闭环系统

按照信息传递路径的不同来分类，控制系统可以分为开环系统、闭环系统和复合系统三种类型。

1. 开环系统(又称开环控制系统、无反馈系统)

如果系统的输出量没有与其参考输入相比较，即系统的输出与输入量间不存在反馈的通道，这种控制方式叫做开环控制(open-loop control)。图 1-6 为开环控制系统的框图。由图可见，这种控制系统的特点是结构简单、所用的元器件少、成本低，系统一般也容易稳定。然而，由于这种控制系统既不要对被控制量进行检查，又没有将被控制量反馈到系统的输入端和参考输入相比较，所以当系统受到干扰(disturbance)作用后，被控制量一旦偏离了原有的平衡状态(balanced state)，系统就没有消除或减小误差的功能，这是开环系统的一个“致命”缺点。正是这个缺点，大大限制了这种系统的应用范围。



图 1-6 开环控制系统

图 1-7(a)为一个开环直流调速系统(DC open-loop speed regulation)，图 1-7(b)为它的框图。图中 U_g 为给定的参考输入。

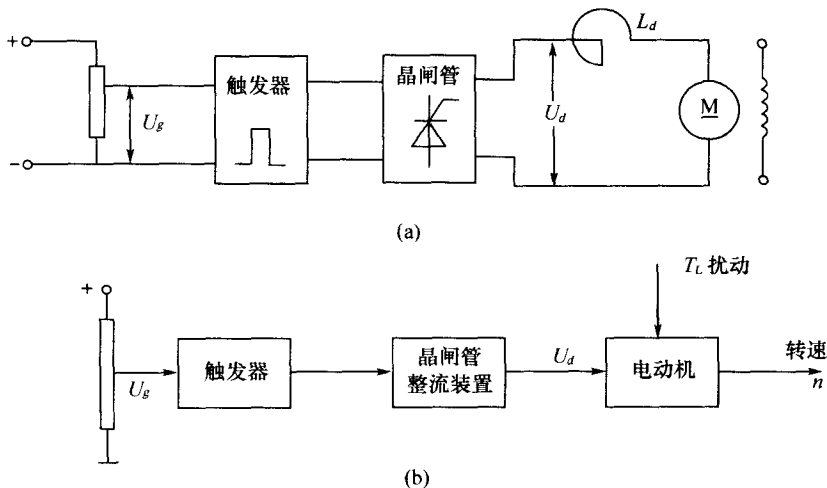


图 1-7 开环直流调速系统

它经触发器(trigger)和晶闸管整流装置(thyristor rectifier)转变为相应的直流电压 U_d , 并供电给直流电动机(DC motor), 使之产生一个 U_g 所期望的转速 n 。但是当电动机(motor)的负载、交流电网(AC network)的电压以及电动机的励磁(energization)有变化时, 电动机的转速就会随之变化, 不能再维持 U_g 所期望的转速。

2. 闭环系统(又称闭环控制系统, 反馈控制系统)

若把系统的被控制量反馈到它的输入端, 并与参考输入相比较, 这种控制方式叫做闭环控制(close-loop control)。由于这种控制系统中存在着被控制量经反馈环节至比较点的反馈通道, 故闭环控制又称反馈控制(feedback control)。闭环系统的特点是: 连续不断地对被控制量进行检测, 把所测得的值与参考输入作减法运算(subtract operation), 求得的误差信号经控制器的变换运算和放大器的放大后, 驱动(drive)执行元件, 以使被控制量能完全按照参考输入的要求去变化。这种系统如果受到来自系统内部和外部干扰信号的作用, 通过闭环控制系统的作用, 能自动地消除或削弱干扰信号对被控制量的影响。闭环控制系统具有良好的抗扰动性能(anti-interference function), 因而它在控制工程中得到了广泛的应用。

如果把图 1-7 所示的开环调速系统改接为图 1-8 所示的闭环系统, 则它就具有自动抗扰动的功能。例如当电动机的负载转矩 T_L 增大时, 流经电动机电枢(armature)中的电流便相应地增大, 电枢电阻上的压降(voltage drop)也变大, 从而导致电动机转速的降低; 而转速的降低使测速发电机(measuring speed generator)的输出电压 U_f 减小, 误差电压 Δu 相应地增大, 经放大器放大后, 使触发脉冲(triggering pulse)前移, 晶闸管(thyristor)整流装置的输出电压 U_d 增大, 从而补偿了由于负载转矩(load torque) T_L 的增大或电网电压 u 的减小而造成的电动机转速的下降, 使电动机的转速近似地保持不变。上述的调节过程, 也可用如下的因果图来表示。

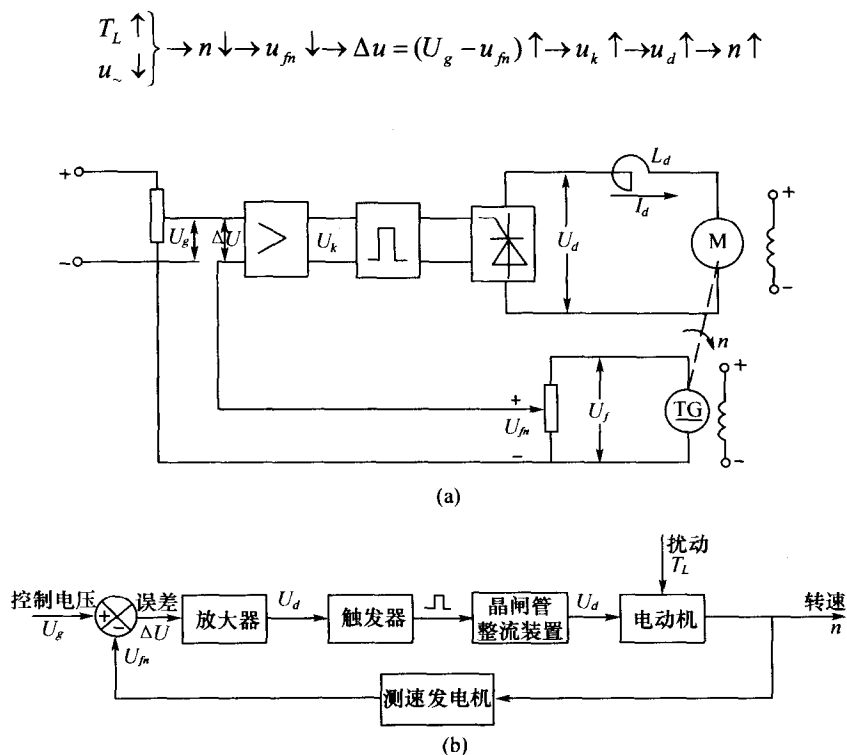


图 1-8 闭环直流调速系统

1.2.2 定值、伺服和程序控制系统

按照输入信号来分类，控制系统可以分为定值控制系统、伺服系统和程序控制系统三类。

1. 定值系统(又称恒值、镇定调节系统)

给定值为常值的控制系统称为定值控制系统。这种系统的任务是保证无论在任何扰动下，使被控参数(输出)保持恒定的、希望的数值。在过程控制系统中，一般都要求将过程参数(如温度、压力、流量、液位和成分等)维持在工艺给定的状态。

2. 伺服系统(又称随动系统、跟踪系统)

给定值(参考输入)随时间任意变化的控制系统称为伺服系统(servo control)。这种系统的任务是在各种情况下保证系统的输出以一定精度跟随参考输入的变化而变化，所以这种系统又称为跟踪系统。导弹发射架控制系统、雷达天线控制系统以及舵舵位置控制系统等都是典型的伺服系统。当被控量为位置或角度时，伺服系统又称为随动系统。

3. 程序控制系统

若给定值随时间变化有一定的规律，且为事先给定了的时间函数，则称这种系统为程

序控制系统。如耐火材料生产中的炉温程序升温、间隙生产的化学反应器温度控制以及机械加工中的数控机床等均属于此类系统。实际上,程序控制系统是随动系统的一种特殊情况,其分析研究方法也和随动系统相同。

1.2.3 线性与非线性控制系统

按照描述系统的数学表达式的特性不同来分类,控制系统可以分为线性控制系统和非线性控制系统(或线性系统和非线性系统)两类。

1. 线性控制系统

若组成控制系统的元件都具有线性特征,则称这种系统为线性控制系统(linear control system)。这种系统的输入与输出间的关系,一般用微分方程(differential equation)、传递函数(transfer function)来描述,也可以用状态空间(state space)表达式来表示。线性系统的主要特点是具有齐次(odd)性和适用叠加原理(principle of superposition)。如果线性系统中的参数不随时间而变化,则称为线性定常系统(linear time-invariant system),反之,则称为线性时变系统(linear time-varying system)。

2. 非线性控制系统

在控制系统中,至少有一个元件具有非线性特征,则称该系统为非线性控制系统(nonlinear control system)。非线性系统一般不具有齐次性,也不适用叠加原理,而且它的输出响应(output response)与其初始状态(initial state)有很大的关系。

严格地说,绝对的线性特征控制(或元件)是不存在的,因为所有的物理系统和元件在不同的程度上都具有非线性特性。为了简化对系统的分析和设计,在一定条件下,可以对某些非线性特性作线性化处理。这样,非线性系统就近似为线性系统,从而可以用分析线性系统的理论和方法对它进行研究。

工程上有时为了改善控制系统的性能,常常人为地引入某种非线性元件。例如,为了实现最短时间控制(time optimum control),采用开关型(Bang-Bang)的控制方式;又如,在晶闸管组成的整流装置(rectifier)的直流调速系统中,为了改善系统的动态特性和限制电动机的最大电流,人们有意识地把电流调节器(current regulation)和转速调节器(speed regulation)设计成具有饱和非线性(saturated nonlinear)的特性。

1.2.4 连续与离散控制系统

按照系统传输信号对时间的关系不同来分类,控制系统可以分为连续控制系统和离散控制系统。

1. 连续控制系统

当系统中各组成环节的输入、输出信号都是时间的连续函数时,称此类系统为连续控

制系统(continuous control system)。连续系统的运动状态或特性一般用微分方程来描述。模拟式的工业自动化仪表以及用模拟式仪表来实现自动化的过程控制系统都属于连续系统。

2. 离散控制系统

在控制系统各部分的信号中只要有一个是时间 t 的离散信号(discrete signal), 则称这种系统为离散控制系统。显然, 脉冲(pulse)和数码(code)都属于离散信号。如图 1-9 所示的计算机控制系统就是一种常见的离散控制系统(discrete control system)。离散控制系统的运动状态或特性一般用差分方程来描述, 其分析研究方法也不同于连续系统。

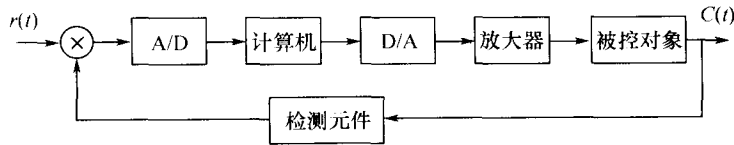


图 1-9 计算机控制系统的框图

WORDS AND PHRASES

开环控制	open-loop control
闭环控制	close-loop control
反馈控制	feedback control
线性控制系统	linear control system
非线性控制系统	nonlinear control system
连续控制系统	continuous control system
离散控制系统	discrete control system

1.3 自动控制理论的发展概况

现代科学技术的迅速发展对自动控制的程度、速度、范围及其适应能力的要求越来越高, 从而推动了自动控制理论和技术的迅速发展。特别是 20 世纪 60 年代以来, 电子计算机技术的迅速发展奠定了自动控制理论和技术的物质基础, 于是逐步形成了一门现代科学分支, 即现代控制理论。纵观历史, 控制理论的发展大体经历了 3 个阶段。

1. 经典控制理论(18 世纪起)

1788 年, J. Watt 研究蒸汽机的调速器时引出了离心调速的问题, 这是一个自动调节系统的问题。1868 年, J. C. Maxwell 首先在 *Proceeding of the Society of London* 第 16 卷上发表了“论调速器”一文。E. J. Routh 于 1877 年提出了有关线性系统稳定性的判据, 使自动控制技术前进了一大步。1923 年, Heaviside 提出了设计系统的算子法。1932 年, H. Nyquist 研制出电子管放大器。1945 年美国入波德(bode)写了“网络分析和反馈放大器设计”一文,