

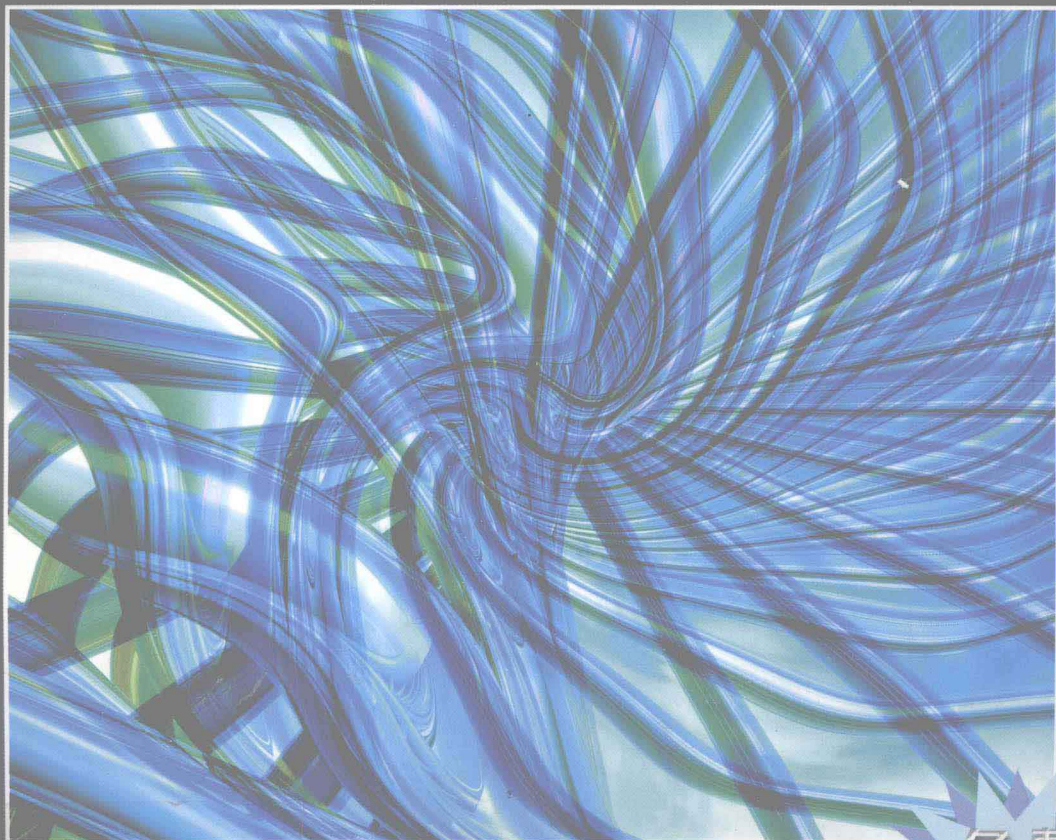


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

自动控制理论

邹伯敏 主编

第③版



免费
电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

自动控制理论

第 3 版

主编 邹伯敏

主审 徐衍华 王万良



机械工业出版社

本书较全面系统地介绍了自动控制理论的基本内容,并注重基本理论、基本概念和基本分析方法的阐述。全书共分九章,第一~八章为经典控制理论,第九章为状态空间分析法。其主要内容有:控制系统的数学模型、时域分析法、根轨迹法、频率响应法、控制系统的校正、离散控制系统、非线性控制系统和状态空间分析法。

全书内容丰富,层次分明,能满足理工科高校相关不同专业开展教学的需要。教材内容理论联系实际,叙述重点突出,说理深入浅出,文字简练流畅,易于自学。在各章的后面除了介绍 MATLAB 相关应用的内容外,还自第二章起附有一定数量的典型例题分析,旨在帮助学生加深对基本概念的理解和提高分析、综合问题的能力。

本书为高校本科电气自动化、电子信息类、机电一体化、仪表及测试等专业的“自动控制理论”课程教材,同时适用于自动控制专业作经典控制理论的相应教材,也可供从事控制工程的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制理论/邹伯敏主编. —3版. —北京:机械工业出版社, 2007.6
(2007.12重印)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-09811-9

I. 自... II. 邹... 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 096492 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王保家 责任编辑:闫晓宇 版式设计:张世琴

责任校对:陈延翔 封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷 (北京双新装订有限公司装订)

2007 年 12 月第 3 版第 2 次印刷

184mm×260mm·30.75 印张·722 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-09811-9

定价:39.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379727

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是在第1版(“九五”部级重点教材)和第2版(“面向二十一世纪课程教材”)的基础上,广泛听取了使用本教材任课老师的意见,并结合编者三十多年来长期从事“自动控制理论”教学所积累的经验,进行修订。修订后的第3版教材,不仅在内容上有所更新,而且在叙述上更重视理论与实际的结合和专业知识面的拓宽。

考虑到我国本科教学的现状和新世纪科技发展的需要,本书虽以经典控制理论的内容为主,但也适量介绍了现代控制理论基础部分的内容——状态空间分析法。设置后者的目的是为了拓宽学生的知识面,同时也为学生考研或以后自学现代控制理论打下理论基础。全书共分九章,其中第一~六章为线性定常系统的分析与设计(包括时域分析法、根轨迹法、频率响应法和控制系统的校正),第七章为离散控制系统,第八章为非线性控制系统,第九章为状态空间分析法,它们所占全书内容的比例分别为58%、12%、10%和20%。上述内容能满足理工科高校相关不同专业开展60~90学时的教学需要。

为了在较少的学时内,能使学生较系统地掌握自动控制理论中最基本的理论、概念和分析方法,并对一些新理论的基础知识和方法有初步的了解,本书在内容的组织上,力求做到突出重点,删去经典控制理论中一些陈旧的或不常用的内容,增加了如状态空间分析法、内部模型的设计、PID控制器及其参数的整定,以及MATLAB在控制系统分析和设计方面应用等新的内容。在内容的叙述上,侧重于物理概念的阐述,力求做到深入浅出,理论联系实际。全书文字简练流畅,易于自学。自第二章起,在每章的后面都附有一定数量的典型例题分析,以帮助学生深入理解基本概念和提高分析与综合问题的能力。

本书的第二章、第六章、附录B和其他各章中MATLAB应用方面的内容由孙丹博士执笔;其余各章节均由邹伯敏教授编写,并负责全书的统稿和审定。第3版书稿由上海同济大学徐衍华教授和浙江工业大学王万良教授分别审校。两位专家对书稿进行了仔细地审阅,并提出了不少修改的意见,使本书增色不少。在第3版教材的编写过程中,编者还得到了浙江大学胡中揖教

授和同济大学袁国华教授的指导与帮助。在此，谨向上述老师们一并致以深切的谢意。

由于编者的水平有限，书中定有不妥之处，恳请广大读者和同行专家批评指正。

邹伯敏
于浙大求是园

目 录

前言

第一章 绪论	1	小结	101
第一节 自动控制理论发展史简述	1	例题分析	102
第二节 自动控制系统的一般概念	2	习题	106
第三节 开环控制与闭环控制	5		
第四节 自动控制系统的分类	9	第四章 根轨迹法	110
第五节 对控制系统性能的要求和本 课程的任务	10	第一节 根轨迹法的基本概念	110
习题	11	第二节 绘制根轨迹的基本规则	114
		第三节 参量根轨迹的绘制	125
第二章 控制系统的数学模型	13	第四节 非最小相位系统的根轨 迹	127
第一节 列写系统微分方程式的一般 方法	13	第五节 增加开环零、极点对根轨迹 的影响	133
第二节 非线性数学模型的线性化	18	第六节 用根轨迹法分析控制系统	135
第三节 传递函数	21	第七节 MATLAB 在根轨迹法中的应 用	138
第四节 系统框图及其等效交换	32	小结	142
第五节 控制系统的传递函数	39	例题分析	142
第六节 信号流图和梅逊公式的应用	42	习题	146
第七节 控制系统的反馈特性	46		
第八节 用 MATLAB 处理控制系统的 数学模型	49	第五章 频率响应法	151
小结	53	第一节 频率特性	152
例题分析	54	第二节 对数坐标图	157
习题	58	第三节 极坐标图	170
		第四节 用频率法辨识线性定常系统的 数学模型	178
第三章 控制系统的时域分析法	62	第五节 奈奎斯特稳定判据	181
第一节 典型的测试信号	62	第六节 相对稳定性分析	192
第二节 一阶系统的时域响应	64	第七节 频域性能指标与时域性 能指标间的关系	198
第三节 二阶系统的时域响应	66	第八节 MATLAB 在频率响应法中的应 用	202
第四节 高阶系统的时域响应	77	小结	210
第五节 线性定常系统的稳定性	79	例题分析	210
第六节 劳斯稳定判据	83	习题	215
第七节 控制系统的稳态误差	87		
第八节 MATLAB 在时域分析法中的应 用	94		

第六章 控制系统的校正	221
第一节 引言	221
第二节 超前校正	223
第三节 滞后校正	232
第四节 滞后-超前校正	239
第五节 PID 控制器及其参数的整定	246
第六节 MATLAB 用于控制系统的校正	255
小结	261
例题分析	261
习题	270
第七章 离散控制系统	275
第一节 引言	275
第二节 信号的采样与复现	277
第三节 z 变换与 z 反变换	282
第四节 脉冲传递函数	290
第五节 差分方程	298
第六节 离散控制系统的性能分析	302
第七节 离散控制系统的数字校正	310
第八节 MATLAB 在离散系统中的应 用	318
小结	325
例题分析	325
习题	329
第八章 非线性控制系统	332
第一节 非线性系统的概述	332
第二节 非线性元件的描述函数	336
第三节 用描述函数法分析非线性控制 系统	344
第四节 相轨迹	347
第五节 奇点与极限环	353
第六节 非线性系统的相平面分析	360
第七节 MATLAB 在非线性控制系统中	

的应用	365
小结	369
例题分析	370
习题	375
第九章 状态空间分析法	379
第一节 状态变量描述	380
第二节 传递函数与动态方程的关系	384
第三节 矩阵 A 的对角化	395
第四节 线性定常连续系统状态方程 的解	401
第五节 线性定常离散系统的动态方 程式	411
第六节 线性定常系统的能控性	417
第七节 线性定常系统的能观性	424
第八节 对偶性原理	430
第九节 能控性和能观性与传递函数 的关系	431
第十节 状态反馈和极点的任意配置	435
第十一节 内部模型的设计	441
第十二节 状态观测器及其应用	444
第十三节 MATLAB 在状态空间分析 法中的应用	450
小结	457
例题分析	458
习题	470

附录	475
附录 A 能控标准形与能观标准形的 变换	475
附录 B 自动控制理论中常用技术 语的中英文对照	478
参考文献	483

第一章

绪 论

第一节 自动控制理论发展史简述

自动控制是一门较年轻的学科，它在 20 世纪 40 年代末才形成。世界上最早的自动控制系统是在 18 世纪中叶由瓦特（James · Watt）研制的，他设计了离心调节器去控制蒸汽发动机的速度。1932 年奈奎斯特（W · Nyquist）针对反馈放大器提出了几何稳定判据，以后证实，这个判据同样也适用于线性定常控制系统。

1945 年博德（H · W · Bode）提出了反馈放大器的一般设计方法，并编著了《网络分析与反馈放大器的设计》一书。1947 年美国出版了当时世界上第一本控制方面的教材《伺服机原理》。1948 年美国麻省理工学院（MIT）的辐射研究所完成了“雷达自动跟踪”、“火炮指挥仪”和数控车床等一系列自动控制的实践工程。同年，埃文斯（W · R · Evans）根据反馈控制系统的开环传递函数与其闭环特征方程式间的内在联系，提出了一种非常实用的设计方法——根轨迹法。当时，数学家维纳（N · Wiener）把那时发表的有关控制方面的理论与方法称为“控制论”。为区别于 20 世纪 60 年代后出现的新的控制理论，人们称此前发展起来的控制理论为经典控制理论（Classical Control Theory）。

这里我们不能忘记，自 20 世纪 50 年代起，中国学者对控制理论作出的诸多贡献。例如：1954 年钱学森在美国出版了专著《工程控制论》，成为当时控制科学技术的经典著作之一，并于 1958 年由戴汝为、何善培译成中文，由科学出版社出版。这部由中国学者撰写的第一部控制科学巨著，曾荣获中国科学院 1956 年度科学一等奖。天津大学刘豹教授于 1954 年编著了我国第一本用中文撰写的控制理论专著《自动控制原理》。1956 年由浙



江大学胡中揖教授和中国科学院薛景瑄研究员在前苏联专家讲稿的基础上,出版了由中国教师自己编写的第一本《自动控制原理》的教科书。在以后的几十年里,我国的学者结合中国的国情不仅编著了大量自动化和自动控制方面的专著与教材,而且也翻译了国外许多自动控制方面的名著,如王众托翻译了前苏联学者索洛多夫尼柯夫(В. В. Солодовников)的《自动调整原理》;卢伯英等翻译了美国学者绪方胜彦著的《现代控制工程》等。上述这些学者的专著或教材,为培养新中国几代自动控制的科学家与工程技术人员起到了启蒙、激励和推动的历史性作用。

经典控制理论研究的是单输入单输出线性定常系统的分析与设计,它的数学工具是常微分方程和复变函数。一个理论的诞生与发展总是与当时的工业生产水平相适应的,经典控制理论问世时世界工业生产尚处于手工操作阶段,数字计算机还停留于低水平状态,因而那时对控制系统的分析与设计仅限于手工计算。到20世纪50年代末、60年代初,由于空间技术的飞跃发展,迫切需要有一种理论能解决多输入多输出、高精度、参数时变系统的分析与设计。对此,经典控制理论显然是无能为力了。20世纪60年代初,高精度数字计算机的诞生为解决复杂控制系统提供了实现上的可能性,现代控制理论(Modern control theory)就在那个时候应运而生了,从而适应了现代设备日益增加的复杂性,同时也满足了军事和空间技术的需要。

现代控制理论所涉及的内容十分丰富,如多变量控制系统、最优控制理论、系统辨识与模式识别、最优估计、自适应控制、大系统理论、模糊控制与神经网络等。这些理论所应用的数学工具与要解决的问题虽不完全相同,但它们的实现都离不开数字计算机。

虽然现代控制理论与经典控制理论相比,能解决更多、更复杂的控制问题,但是对于单输入-单输出线性定常系统而言,半个多世纪的工程实践证明,用经典控制理论来分析与设计它,仍然是最实用、最方便的。本书所要介绍的就是控制理论中最基本也是最重要的内容——经典控制理论和状态空间分析法。

第二节 自动控制系统的一般概念

自动控制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、设备或生产过程)的某些物理量(或工作状态)能自动地按照预定的规律变化(或运行)。例如人造卫星按指定的轨道运行,并始终保持正确的姿态,使它的太阳能电池一直朝向太阳,无线电天线一直指向地球……;电网的电压和频率自动地维持不变;金属切削机床的速度在电网电压或负载发生变化时,能自动保持近似地不变。以上这些,都是自动控制的结果。

现代数字计算机的迅速发展,为自动控制技术的应用开辟了广阔的前景。使它不仅大量应用于空间技术、科技、工业、交通管理、环境卫生等领域,而且它的概念和分析问题的方法也向其他领域渗透。例如政治、经济、教学等领域中的各种体系;人体的各种功能;自然界中的各种生物学系统,都可视为是一种控制系统。

自动控制技术的广泛应用不仅能使生产设备或过程实现自动化,极大地提高了劳动



生产率和产品的质量,改善了劳动条件,而且在人类向大自然挑战、探索新能源、发展空间技术和改善人民生活等方面都起着极其重要的作用。为了适应现代科学技术与生产的飞跃发展,自动控制不仅在理论上不断地创新,而且在方法上不断地完善与多样化,它在我国实现科学技术强国的建设中将发挥着巨大的作用。

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”。分析与综合自动控制系统的理论称之为“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、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

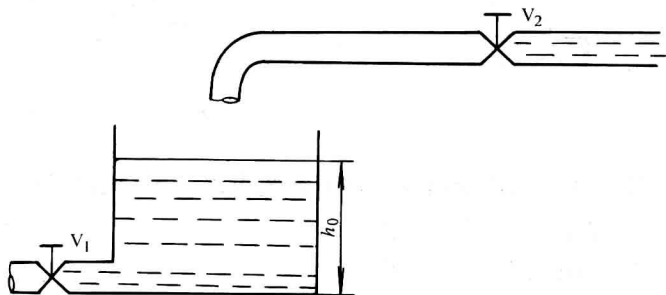


图 1-1 水池液面控制系统

动控制系统的结构,首先让我们分析一下图 1-1 所示的水池液面控制系统。人若参与该系统的控制,应起哪些作用?

图中 V_1 为放水阀、 V_2 为进水阀,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的高度与希望液面的高度作比较,根据比较的结果,决定进水阀 V_2 开度是增大还是减小,以达到维持液面高度不变的目的。图 1-2 为人参与该系统控制的框图。由图 1-2 可见,人在参与控制中起了以下 3 方面的作用:

- 1) 测量实际液面的高度 h_1 ——用眼睛。
- 2) 将测得实际液面的高度 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控制的动作——用手。

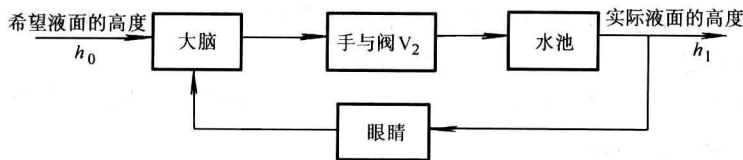


图 1-2 液面人工控制系统的框图

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 3 种职能机构,即测量机构、比较机构和执行机构。不言而喻,用人工控制既不能保证系统所需的控制精度,也不能减轻人的劳动强度。如果将图 1-1 改为图 1-3 所示的液面自动控制系统,就可以实现不论经放水阀 V_1 流出的流量如何变化,系统总能自动地维持其液面高度在允许的偏(误)差范围之内。假设水池液面的高度因 V_1 阀开度的增大而稍有降低,则系统立即产生一个与降落液面高度成比例的误差电压 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 V_2 的开度也相应地增大,从而使水池的液面恢复到所



希望的高度。

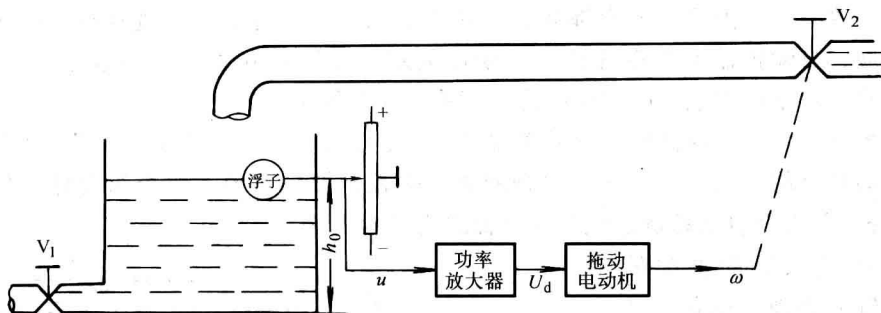


图 1-3 液面自动控制系统

图 1-3 所示的液面自动控制系统由以下 5 个部分所组成：

- 1) 被控对象——水池。
- 2) 测量元件——浮子。
- 3) 比较机构——求浮子的希望位置与实际位置之差。
- 4) 放大机构——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不足以使执行元件动作时，一般都需要加放大元件，以提高系统的控制精度。
- 5) 执行元件——它的职能是直接驱动被控对象，以改变被控制量。

以上 5 个部分也是一般自动控制系统的基本组成单元。此外，为了改善控制系统的动、静态性能，通常还需在系统中引入某种形式的校正装置。

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部件的名称或其功能函数的表达式，不必画出它们的具体结构。根据信号在系统中的传递方向，用有向线段依次把它们连接起来，就求得整个系统的框图。控制系统的框图由以下 3 个基本单元所组成：

- (1) 引出点 如图 1-4a 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 如图 1-4b 所示。表示两个或两个以上的信号在该处进行减或加的运算，“-”号表示信号相减，“+”号表示信号相加。
- (3) 部件的框图 如图 1-4c 所示。输入信号置于方框的左端，方框的右端为其输出量，方框中填入部件的名称。

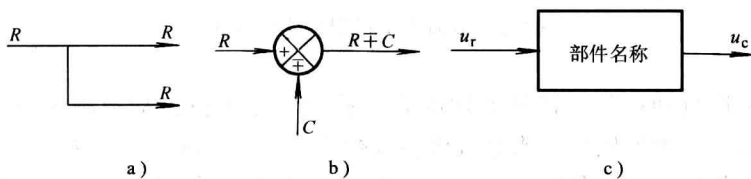


图 1-4 系统框图的基本组成单元

a) 引出点 b) 比较点 c) 部件的框图

据此，可把图 1-3 所示的液面自动控制系统的原理图改用图 1-5 所示的框图来表示。



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。

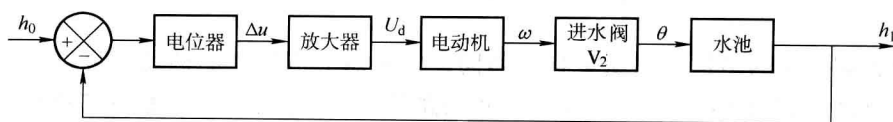


图 1-5 图 1-3 所示系统的框图

图 1-6 是一个位置随动系统, 它的原理框图如图 1-7 所示。该系统是用一对电位器作为位置的检测元件, 它们分别把系统输入与输出的位置信号转换成与之成比例的电信号, 并进行比较。当发送电位器和接收电位器的转角相等时, 则 $U_r = U_c$, $U_e = U_d = 0$, 电动机处于静止状态。若使发送电位器的动臂按逆时针方向增加一个角度 $\Delta\theta_r$, 此时由于 U_r 大于 U_c 而产生一个相应极性的误差电压 U_e , 经放大器放大后供电给直流电动机, 使之带动负载和接收电位器的动臂一起旋转, 一直到 $\theta_r = \theta_c$ 为止。

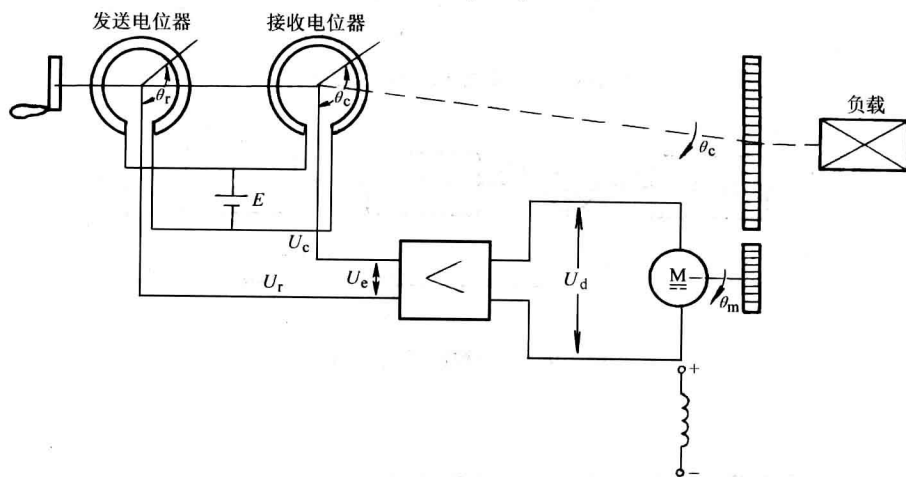


图 1-6 直流随动系统的原理图

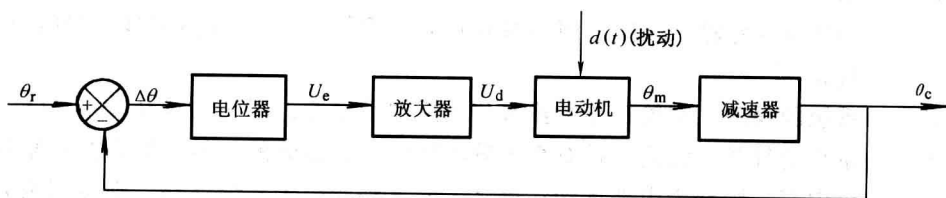


图 1-7 图 1-6 所示系统的框图

由上述两系统的框图可见, 控制系统中信号的传递都有一个闭合回路。即被控制量直接或经过反馈环节后反作用到系统的输入端, 并和输入信号作减法运算, 利用所得的误差信号对系统进行控制。被控制量与给定输入信号间的这种联系, 人们称为负反馈, 相应的系统叫做负反馈控制系统。



第三节 开环控制与闭环控制

自动控制系统的结构和用途虽各不相同，但参照上节所举的例题，可以画出它的一般形式的框图，如图 1-8 所示。图中的串联和并联校正装置用于改善系统的动态和稳态性能，执行元件用于改变被控对象的输出，点画线框部分一般统称为控制器。这样，图 1-8 就简化为图 1-9。

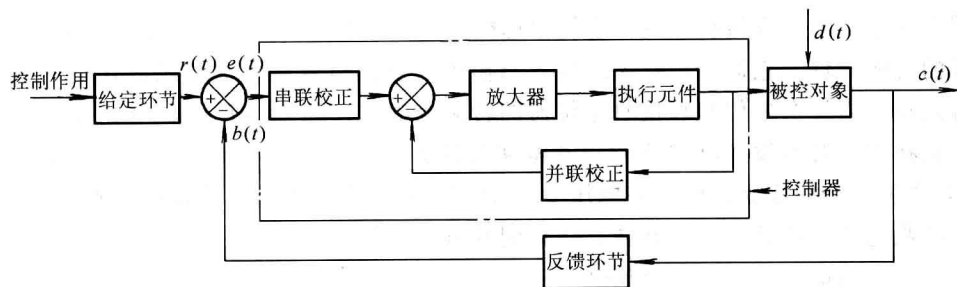


图 1-8 自动控制框图的一般形式

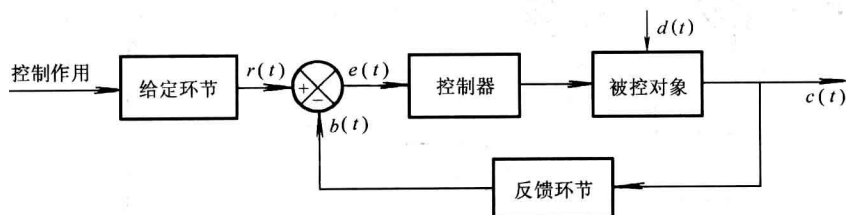


图 1-9 自动控制系统的框图

图中

$r(t)$ ——系统的参考输入（简称输入量或给定量）。

$c(t)$ ——系统的被控制量（又称输出量）。

$b(t)$ ——系统的主反馈量，它是与被控制量成正比或为某种函数的信号，其物理量纲必须与参考输入相同。因为只有相同量纲的信号，才能在比较点处进行相减运算。

$e(t)$ ——系统的误差，它等于参考输入与主反馈量之差，即 $e(t) = r(t) - b(t)$ 。

$d(t)$ ——系统的扰动，它是一种对系统输出产生不良影响的信号。如果扰动来自于系统内部，则称为内部扰动；反之，若扰动产生于系统外部，则称其为外部扰动。

给定环节——产生参考输入信号的元件，如电位器、旋转变压器等。

控制器——它的输入是系统的误差信号，经其变换运算后，产生期望的控制信号去控制被控对象。

被控对象——它受控制器输出量的控制，其输出就是系统的被控制量。

反馈环节——将被控制量转换为主反馈信号的装置，这个装置一般为检测元件。



一、开环控制

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着反馈的通道,这种控制方式叫做开环控制。图 1-10 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它的被控制量进行检测,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作用后,被控制量一旦偏离了原有的平衡状态,系统就没有消除或减小误差的功能,这是开环控制系统的一个“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 1-11a 为一个开环直流调速系统,图 1-11b 为它的系统框图。图中 U_g 为给定的参考输入,它经触发器和晶闸管整流装置转变为相应的直流电压 U_d ,并供电给直流电动机,使之产生一个 U_g 所期望的转速 n 。但是,当电动机的负载、交流电网的电压以及电动机的励磁稍有变化时,电动机的转速就会随之而变化,不能再维持 U_g 所期望的转速。

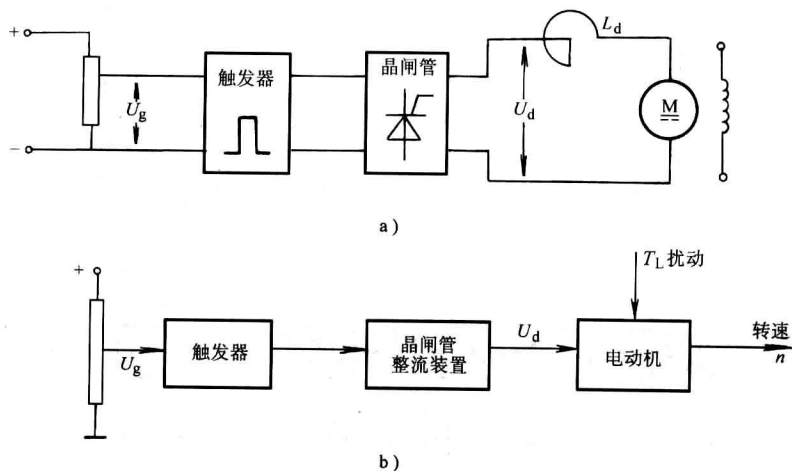
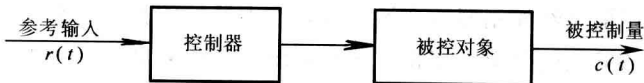


图 1-11 开环直流调速系统

图 1-12 为数控机床中广泛应用的定位系统框图。这也是一个开环控制系统,工作台的位移是该系统的被控制量,它是跟随着控制信号(控制脉冲)而变化的。显然,这个系统没有抗扰动的功能。

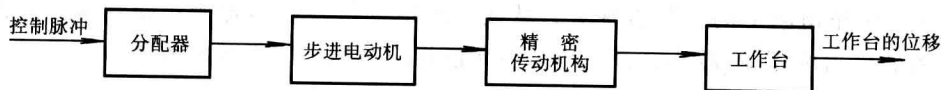


图 1-12 开环定位控制系统的框图



如果系统的给定输入与被控制量之间的关系固定,且其内部参数或外来扰动的变化都较小,或这些扰动因素可以事先确定并能给予补偿,则采用开环控制也能取得较为满意的控制效果。

二、闭环控制

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。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。上一节中所讨论的图 1-5 和图 1-7 所示的系统,都是闭环控制系统。这些系统的特点是: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,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时,通过闭环控制的作用,能自动地消除或削弱干扰信号对被控制量的影响。由于闭环控制系统具有良好的抗扰动功能,因而它在控制工程中得到了广泛的应用。

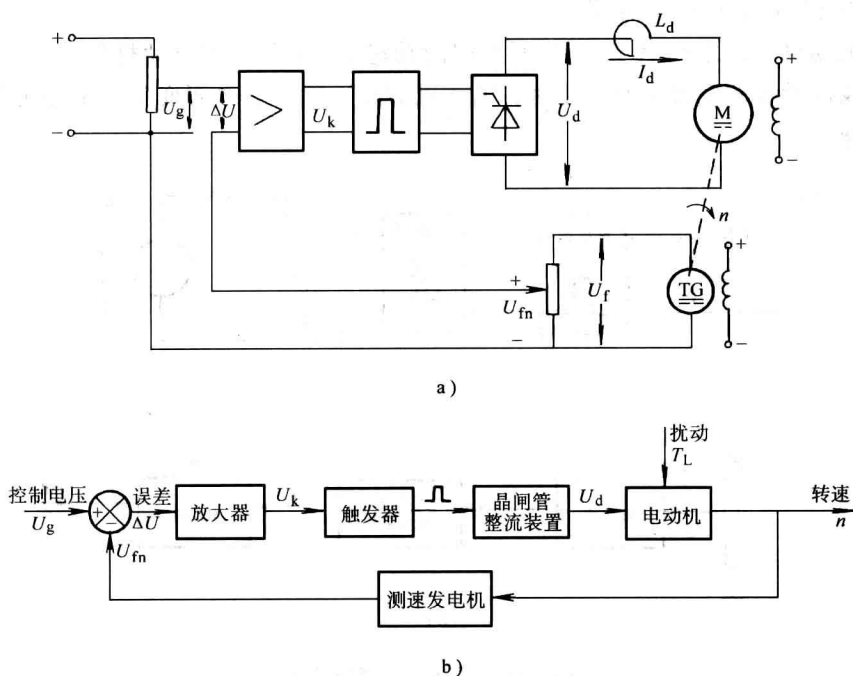
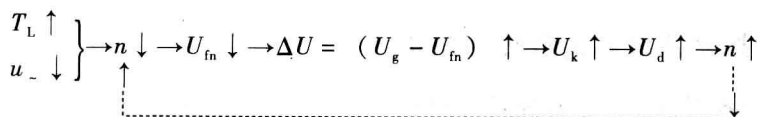


图 1-13 闭环直流调速系统

如果把图 1-11 所示的开环直流调速系统改接为图 1-13 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,流经电动机电枢中的电流便相应地增大,电枢电阻上的压降也变大,从而导致电动机转速的降低;而转速的降低使测速发电机的输出电压 U_{fn} 减小,误差电压 ΔU 便相应地增大,经放大器放大后,使触发脉冲前移,晶闸管整流装置的输出电压 U_d 增大,从而补偿了由于负载转矩 T_L 的增大或电网电压 u_n 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,也可用如下的顺序图来表示,即



第四节 自动控制系统的分类

自动控制系统可以从不同的角度进行分类。如按照数学模型的性质,通常可分为线性和非线性,时变和非时变系统;按照系统参考输入信号的变化规律,可分为恒值控制系统和随动控制系统;按照系统内部传输信号的性质,又可分为连续控制系统和离散控制系统。此外,也有的按照组成系统元件的种类来划分,如机电控制系统、液压控制系统、气动控制系统和生物控制系统等。若按照被控制量的名称来分类,有温度控制系统、转速控制系统和张力控制系统等。这里只介绍下列3种常用的分类方法,以在分析和设计这些系统之前,对它们的特征有一个初步的认识。

一、线性控制系统和非线性控制系统

若组成控制系统的元件都具有线性特性,则称这种系统为线性控制系统。这种系统的输入与输出间的关系,一般用微分方程、传递函数来描述,也可以用状态空间表达式来表示。线性系统的主要特点是具有齐次性和适用叠加原理。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;反之,则称为线性时变系统。

在控制系统中,若有一个以上的元件具有非线性特性,则称该系统为非线性控制系统。非线性系统一般不具有齐次性,也不适用叠加原理,而且它的输出响应和稳定性与其初始状态有很大的关系。

严格地说,绝对的线性控制系统(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,在一定的条件下,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,采用开关型(Bang-Bang)的控制方式;又如在由晶闸管组成整流装置的直流调速系统中,为了改善系统的动态特性和限制电动机的最大电流,人们有意识地把速度调节器和电流调节器设计成具有饱和非线性特性。

二、恒值控制系统和随动系统

恒值控制系统的参考输入为常量,要求它的被控制量在任何扰动的作用下都能尽快地恢复到(或接近于)原有的稳态值。图1-3所示的液面自动控制系统和图1-13所示的闭环直流调速系统均属于恒值控制系统。由于这类系统能自动地消除或削弱各种扰动对被控制量的影响,故它又称为自镇定系统。

随动系统的参考输入是一个变化的量,一般是随机的,要求系统的被控制量能快速、



准确地跟随参考输入信号的变化而变化。图 1-6 所示的就是一个位置随动系统。

三、连续控制系统和离散控制系统

控制系统中各部分的信号若都是时间 t 的连续函数，则称这类系统为连续控制系统。前面所举的液面控制系统和随动系统都属于这类控制系统。

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，则称这种系统为离散控制系统。显然，脉冲和数码都属于离散信号。图 1-14 所示的计算机控制系统就是一种常见的离散控制系统。

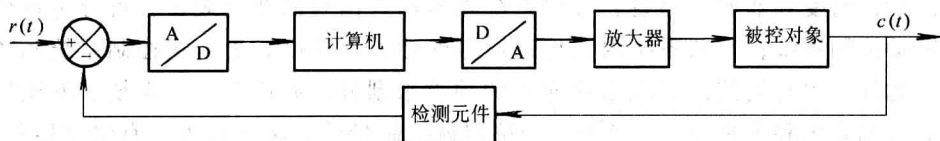


图 1-14 计算机控制系统的框图

第五节 对控制系统性能的要求和本课程的任务

如上所述，恒值控制系统的任务是使系统的被控制量不受扰动的影响，输出力求等于参考输入信号所要求的期望输出值；随动系统的任务是要求其被控制量能准确、迅速地复现输入信号的变化规律。实际上，这些要求并不能百分之百地办到，而只能近似地得到实现。这是因为系统中总存在着一些不同性质的储能元件，例如机械的惯性、电路中的电容与电感等。因而即使在系统中加了校正装置，系统的误差量也不会立即被完全消除。从另一方面考虑，由于系统具有的能源功率有限，系统的放大能力必然也有限，因而它运动的加速度有限，相应的速度和位移就不可能在瞬间发生突变，而必须经历一段时间，即系统的运动必然有一个渐变的过程——动态响应过程。此外，由于检测元件本身制造上的误差和机械传动间隙等因素，都会影响系统的控制精度。因此，对于控制系统的设计，只是要求在可能的范围内尽量满足其技术上的要求。

控制系统的性能一般从以下三方面来评价。

一、稳定性

稳定性是对控制系统最基本的要求。所谓系统稳定，粗略地说，就是当系统受到扰动作用后，系统的被控制量虽然偏离了原来的平衡状态，但当扰动一撤离，经过一定长的时间后，如果系统仍能回到原有的平衡状态，则称系统是稳定的。一个稳定的系统，当其内部参数稍有变化或初始条件改变时，仍能正常地进行工作。考虑到系统在工作过程中的环境和参数的变化，因而实际系统不仅要求能稳定，而且还要求留有一定的稳定裕量。

二、响应速度

控制系统不仅要稳定，而且还要求系统的响应具有一定的快速性，这对于某些系统