

21世纪高等院校
机械类
专业规划教材



机电工程控制基础

杨咸启 常宗瑜 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

内 容 简 介

本书为高等学校机械类专业自动控制工程课程而编写。全书共分 11 章,系统介绍了线性定常控制系统的分析方法,包括控制理论基本概念和特点、传递函数、机电控制系统的传递函数简化、系统时域和频域响应及特征参数、系统稳定性及误差,以及系统的校正设计方法。本书也介绍了离散控制系统的分析方法、非线性系统的基础知识和状态空间的基本理论。与经典的线性理论有很大的不同,非线性系统理论和状态空间理论着眼于总体系统、过程演化,更能揭示实际问题的本质。本书着重介绍它们之间不同的分析方法。

本书的特点是以机电工程中的控制问题为主导,理论与实际紧密相结合,突出了控制理论处理问题的思想和方法。采用比较的方式,介绍了实际控制问题分析实例,便于读者自学。本书可作为机械类专业自动控制课程的本科生教材,也适合于相关专业研究生及科技人员作参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机电工程控制基础/杨咸启,常宗瑜编著. —北京:国防工业出版社,2005.9

21 世纪高等院校机械类专业规划教材

ISBN 7-118-03910-1

I. 机... II. ①杨... ②常... III. 机电工程—控制系统—高等学校—教材 IV. TH—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 053854 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 22½ 514 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

近代科学技术的发展,特别是电子技术、测试技术和计算机技术的发展,大大促进了工程控制理论和技术的发展和应用。它们与机械工程的紧密结合形成了以机电一体化为特色的新学科——机电工程控制。它已成为提高机电装备技术性能的重要技术手段。

《机电工程控制基础》是机械类专业的一门专业基础课程。它主要是培养学生利用控制论的思想和方法,分析、解决机械工程领域中出现的控制问题的能力。为了适应宽专业口径的需要,本课程一方面要加强理论基础,另一方面要与本专业的实际问题相结合,不断提高和深化教材内容。这给本课程的教材提出了更高的要求。本书的编者在多年的教学工作的基础上,结合了国内外优秀教材内容以及机械控制工程实例和新理论,由浅入深地介绍了工程控制的基础理论、分析方法、设计过程以及计算机模拟程序。在教材内容体系安排上做了新的尝试。

本书在编写过程中着重考虑以下方面内容:

(1) 从机电控制工程的基本问题出发,重点阐述控制理论的基本思想和分析问题的方法。采用比较分析的方法,介绍基本控制系统的特征,使基本的理论体系更简洁,便于读者对抽象理论的理解。

(2) 从不同的方面——包括机、电、液等工程控制实际问题——介绍了控制理论的应用,突出了实际控制系统的建模、性能分析、综合设计的系统化,提高对实际的机电控制问题的处理能力。

(3) 在介绍控制系统分析方法的同时,加强了系统设计方面知识的介绍,使控制理论在机电控制问题中应用更具体。

(4) 在机电控制系统的计算机仿真和实验内容方面作了一些介绍。这也是今后本课程要加强的内容。

(5) 增加现代控制理论的内容介绍。

本书系机械类专业基础课教材。论述简单明了,层次分明,注重物理概念和工程应用。理论推理简洁,对定理不作烦琐的数学证明。每章配备一定数量的习题,以备学习者练习。

本书适合于作为机械类专业的自动控制课程的教科书,也可作为相关专业研究生及工程技术人员、科研人员的参考书。

本书由杨咸启主编。参加编写的人员有:杨咸启(第1章~第9章、第11章),常宗瑜

IV

(第10章)。全书由杨咸启修改定稿。

本书在编写中得到了中国海洋大学的支持,在出版过程中也得到了出版社的大力支持,在此表示衷心感谢。书中引用了参考文献中的部分资料,对其作者也一并致谢。最后,感谢在书稿的打印整理过程中亲人的帮助。书中难免有不当之处,欢迎读者批评指正。

作者

2005年2月

目 录

第 1 章 自动控制的基本概念	1
1.1 引言	1
1.2 控制系统的基本概念	3
1.3 机电工程控制实例简介	6
1.4 控制系统的要素与要求.....	10
1.4.1 系统要素组成.....	10
1.4.2 系统分类.....	11
1.4.3 系统性能的基本要求.....	12
习题 1	13
第 2 章 线性系统的数学模型	16
2.1 系统的动态过程与模型概念.....	16
2.2 控制系统时域建模方法.....	17
2.3 机电控制系统的反馈特点.....	22
2.4 微分方程的拉普拉斯变换与逆变换解.....	23
2.5 控制系统(环节)的传递函数.....	27
2.5.1 传递函数定义.....	27
2.5.2 传递函数特性、框图与零极点	28
2.5.3 典型环节的传递函数.....	29
2.6 系统传递函数的框图结构.....	36
2.6.1 框图基本要素.....	36
2.6.2 控制系统的框图画法.....	37
2.6.3 反馈回路结构.....	38
习题 2	39
第 3 章 机电系统传递函数分析	42
3.1 传递函数框图的等效变换和简化.....	42
3.1.1 基本框图及简化.....	42
3.1.2 复杂框图简化规则.....	44
3.1.3 复杂框图系统的简化.....	47
3.2 信号流图和梅森公式.....	48
3.3 干扰与反馈控制系统.....	50

3.4 典型机电控制系统的传递函数	52
习题3	65
第4章 系统时域响应	68
4.1 时域响应特点与求法	68
4.2 典型输入信号	69
4.3 一阶系统的时域响应	71
4.3.1 脉冲输入下的惯性系统响应	72
4.3.2 其他典型输入下的惯性系统响应与比较	73
4.3.3 微分、积分环节响应	74
4.3.4 线性系统响应的微分特性	74
4.4 二阶系统的时域响应	75
4.4.1 传递函数极点	75
4.4.2 单位斜坡输入下的系统响应	75
4.4.3 其他典型输入函数下的系统响应	77
4.4.4 二阶系统的动态特性讨论	79
4.5 高阶系统的响应分析	84
4.6 复杂输入函数的系统响应	87
4.7 系统非零初值的响应	89
4.7.1 积分变换求法	89
4.7.2 数值解法	90
4.8 机电系统响应的计算机分析	91
习题4	96
第5章 系统频域特性分析	100
5.1 系统频率特性概念	100
5.1.1 频率响应	100
5.1.2 频率特性函数	101
5.1.3 频率特性与传递函数关系	102
5.1.4 频率特性的特点与作用	103
5.2 频率特性的求法	103
5.2.1 由传递函数求频率特性	104
5.2.2 根据系统的稳态响应确定频率特性	104
5.2.3 利用实验确定频率特性	105
5.2.4 闭环与开环系统频率特性关系	105
5.3 频域特性的幅相图	107
5.3.1 一阶环节的幅相图	107
5.3.2 二阶环节的幅相图	109
5.3.3 复杂系统的幅相图	110

5.4	频域特性的对数坐标图	114
5.4.1	对数频率特性函数	114
5.4.2	一阶环节的对数频率特性曲线	115
5.4.3	二阶环节的对数频率特性曲线	118
5.4.4	一般高阶系统的对数曲线	120
5.5	机电系统的频域特性计算机分析	123
5.6	系统频域特性特征量	128
5.7	最小相位系统频率特性	130
	习题 5	131
第 6 章	系统稳定性与误差分析	134
6.1	系统稳定性概念与条件	134
6.1.1	系统稳定性定义	135
6.1.2	系统稳定性一般条件	136
6.2	稳定性的代数判定方法	136
6.2.1	系统稳定性劳斯判据(充分必要条件)	137
6.2.2	劳斯判据的特殊情况	140
6.3	稳定性的几何判定方法	141
6.3.1	奈奎斯特稳定判据	141
6.3.2	伯德稳定判据	147
6.4	系统的相对稳定性	150
6.5	延时系统的稳定性	152
6.6	系统误差分析	156
6.6.1	误差概念	156
6.6.2	系统误差传递函数	157
6.6.3	系统稳态误差计算	158
6.6.4	动态误差系数	161
	习题 6	162
第 7 章	控制系统设计与校正	165
7.1	机电控制系统设计初步	165
7.2	PID 控制调节器	167
7.2.1	PID 控制模型	167
7.2.2	PID 组合环节的实现与其控制规律	168
7.3	系统性能指标与校正概念	173
7.4	串联校正	176
7.4.1	相位超前(正相位)校正	176
7.4.2	相位滞后(负相位)校正	179
7.4.3	相位滞后—超前校正	182

7.4.4	PID 调节器最佳参数设计	184
7.4.5	确定 PID 调节器参数的其他方法	187
7.5	反馈校正	189
7.5.1	位置反馈校正	190
7.5.2	速度反馈校正	191
7.5.3	反馈校正对系统参数变化的作用	193
7.6	并联(顺馈)校正	193
	习题 7	196
第 8 章	线性离散控制系统	199
8.1	模拟信号与数字信号转换	199
8.1.1	A/D 转换	200
8.1.2	D/A 转换	200
8.2	信号采样理论	201
8.2.1	采样周期与频率	201
8.2.2	采样过程	201
8.2.3	采样定理	203
8.2.4	信号保持	204
8.3	离散变量的 Z 变换	204
8.3.1	Z 变换定义	205
8.3.2	Z 变换性质与定理	206
8.3.3	Z 变换求法	208
8.3.4	Z 逆变换	210
8.4	线性离散系统的分析方法	212
8.4.1	离散系统的差分模型	212
8.4.2	差分方程的 Z 变换解法	213
8.4.3	脉冲传递函数及求法	213
8.4.4	脉冲传递函数系统简化分析	215
8.4.5	离散系统的响应	218
8.5	离散系统的误差分析	219
8.6	离散系统的稳定性分析	221
8.6.1	z 平面与 s 平面的映射关系	221
8.6.2	线性离散系统稳定的充要条件	222
8.6.3	线性离散系统稳定判据	223
8.7	离散系统的校正	225
8.7.1	数字控制器 $G_D(z)$	225
8.7.2	离散校正环节的近似设计	226
8.7.3	最少拍系统设计 with 校正方法	229
8.7.4	数字 PID 控制器	230

习题 8	233
第 9 章 非线性控制系统基础	237
9.1 非线性控制系统的特征	237
9.1.1 非线性系统元件参数特征	237
9.1.2 非线性系统数学模型特征	237
9.1.3 非线性系统的输出特征	238
9.1.4 典型非线性环节	239
9.1.5 非线性系统常用的分析方法	241
9.2 描述函数法	242
9.2.1 描述函数定义	242
9.2.2 常见非线性系统的描述函数	243
9.2.3 系统稳定性的描述函数分析	249
9.3 相平面分析法	254
9.3.1 控制系统的相平面方程	254
9.3.2 相轨迹图形	256
9.3.3 相平面轨迹特点	258
9.3.4 相平面轨迹应用	261
9.4 非线性系统实例分析	262
9.5 非线性系统的数值仿真	267
习题 9	270
第 10 章 状态空间理论初步	274
10.1 系统状态变量与状态方程概念	274
10.2 系统状态方程的建立方法	276
10.2.1 由系统微分方程建立状态方程	276
10.2.2 由线性系统的传递函数建立状态方程	278
10.2.3 利用系统的环节框图建立状态方程	279
10.2.4 非线性系统状态方程	281
10.3 系统状态方程的求解	283
10.3.1 线性定常系统状态方程的解	283
10.3.2 线性时变系统状态方程的解	288
10.4 离散系统的状态方程	291
10.4.1 $b_j = 0 (j = 1, 2, \dots, m)$ 时, 离散系统状态方程	291
10.4.2 $b_j \neq 0 (j = 1, 2, \dots, m)$ 时, 离散系统状态方程	293
10.4.3 离散系统状态方程求解	294
10.4.4 离散系统状态方程数值解	298
10.5 系统状态特性	299
10.5.1 能控性的定义和判别	299

10.5.2 能观性的定义和判别·····	300
10.5.3 稳定性判别·····	301
习题 10 ·····	301
第 11 章 机电控制系统实验与计算机仿真 ·····	304
11.1 典型机电控制系统组成·····	304
11.1.1 控制系统动力与执行机构·····	304
11.1.2 控制信号的综合、转换与放大器 ·····	308
11.2 输入信号的实验方法·····	311
11.3 机电控制系统的传递函数实验·····	312
11.4 典型机电伺服系统的时域实验·····	314
11.5 典型机电系统的频率实验·····	316
11.6 控制系统的计算机仿真实验·····	317
11.7 控制系统的计算机仿真程序·····	324
附录 A 典型函数的拉普拉斯变换和 Z 变换 ·····	334
附录 B 习题参考答案 ·····	338

第 1 章 自动控制的基本概念

1.1 引言

1. 工程实际中的典型控制问题

在现代生产和生活中,我们会遇到无数需要控制的问题。例如:

(1) 交通工具(飞机、汽车、自行车)在行驶过程中的速度、方向都需要控制。这是一种参数控制问题。在有人驾驶的情况下,这些运动参数需要改变时,控制指令由人发出,而执行指令是由交通工具中的某些机构来完成。现代汽车车轮防抱死制动系统也是高技术控制系统。

(2) 冰箱、锅炉等设备中,对其中的温度必须控制。在这些系统中由于存在热交换,系统温度会发生变化,要保持温度稳定,就需要采取措施来阻止热交换并控制加热。控制的模式通常是通过设定程序来自动控制。

(3) 冶金、化工过程中很多物理量,如流速、压力、温度等都需要控制其变化,这是过程控制问题。对这些物理量控制不准确将直接影响其中的化学反应和产品质量。

(4) 数控机床的运动控制问题。在机械工程领域,数控技术是最典型的自动控制问题之一。它是将加工参数程序化,由计算机来实现切削运动控制。高级的数控机床还可以识别工件加工状态,反馈识别信息,修正工艺参数,实现工艺过程的自动化,从而高质量地加工出复杂形状的产品。

(5) 机器人的控制问题。包括机器人的运动控制、感知控制等。要求机器人运动准确、灵活、稳定。机器人已广泛用于制造、电子、能源、建筑、海洋勘测、军事等领域。主要从事焊接、喷漆、装配、搬运以及特殊环境下的工作。

(6) 导弹的飞行和跟踪目标的问题。这是动态瞄准控制问题。它们由瞄准系统、跟踪系统来实现飞行。导弹跟踪飞行系统的研究大大推动了控制理论的发展和应用。第二次世界大战以来,控制工程作为一门技术能飞速的发展起来这方面的因素起了很大的作用。现代的导弹控制发展为自适应控制,可以适应各种环境和多种目标。

(7) 生物工程中生化反应速度、细胞成长过程的控制问题已经成为人们关注的重要的控制工程问题。

(8) 对社会经济运转过程、社会发展过程等现象和规律的研究也已经引入控制理论的思想。

总之,控制理论和思想已经深入到生产、生活的各个层面。利用它人们可以从笨重、重复性的劳动中解放出来,从事更富创造性的工作。自动化技术是发展迅速、应用广泛、引人瞩目的当代高技术之一,是推动新的技术革命和新的产业革命的关键技术。作为一种思想和技术它已经形成了一种思维模式,成为一种处理复杂问题的方法论——控制论。

控制论不仅是一门重要的科学,同时是一种方法论,是人们认识世界的一种工具。它告诉人们世界上很多事情都是可控制的,利用输入、输出和控制系统自身的规律可以了解、改变和设计控制系统。

2. 控制理论的发展过程与研究内容

追溯最早的自动控制装置恐怕是一件比较困难的事。有据可查的是,公元前 1400 年—1100 年中国、埃及和巴比伦出现自动计时漏壶。公元 132 年左右,中国的张衡发明水运浑象,研制出自动测量地震的候风地动仪。中国的马钧研制出用齿轮传动的自动指示方向的指南车(235 年)。诸葛亮发明木牛流马可能是有记录的较早的自动行走装置。18 世纪瓦特(J. Watt 1788 年)发明蒸汽机的离心调速器也是一个有名的控制装置。但该调速器在工作中可能会出现振荡,这个问题引起了人们对控制装置稳定性的研究,导致经典的控制理论的产生。第一次工业革命时期促进了自动控制理论的发展。马克斯韦尔(J. G. Maxwell 1868 年)研究了调速器的稳定性,发表“论调速器”一文,提出“反馈控制”的思想及简单的稳定性判别方法。劳斯(E. J. Routh 1884 年)、赫维茨(A. Hurwitz 1895 年)提出了完整的线性系统稳定性的代数判据;李亚普诺夫(A. M. Ляпунов 1892 年)提出系统稳定性一般理论。这是早期的控制理论的发展。经典控制理论发展(1900 年—1950 年)主要有,美国迈纳斯克(N. Minorsky 1922 年)研制出的伺服结构,提出 PID 控制方法;赫维塞德(Heaviside 1923 年)提出系统设计的算子法;美国布莱克(H. S. Black 1927 年)提出放大器性能的负反馈方法;伯德(H. Bode 1938 年),以及奈奎斯特(H. Nyquist 1940 年)提出频率响应法,建立了系统的频率响应理论;伯德提出了系统稳定性不同的几何判据;埃文斯(W. R. Evans 1950 年)提出根轨迹设计法。美国 MIT 的威纳(N. Wiener 1942 年)研究随机过程的预测,提出 Wiener 滤波理论,发表《控制论》(Cybernetics)一书(1948 年),标志着控制论学科的诞生。贝尔实验室的香农(C. Shannon 1938 年)提出继电器逻辑自动化理论,随后,发表专著《通信的数字理论》,奠定了信息论的基础(1948 年)。

经典的控制理论是以传递函数理论为基础,通过时域、频域分析,研究单输入、输出的常系数线性系统的特性和设计。它在工程实际中得到了广泛的应用,大大提高了工业、国防等科学技术领域的自动化水平,但它也存在明显的不足。因此,20 世纪 60 年代又出现了现代控制理论。现代控制理论是研究多输入、多输出的系统控制问题,包括时变参数、分布参数、非线性系统等的分析和设计问题,它的研究方法主要是状态空间理论。在现代控制理论的发展中做出重要贡献的人有,蓬特里亚金(Л. С. Понтрягин 1956 年)提出极大值原理;贝尔曼(R. I. Bellman 1957 年)提出动态规划理论;卡尔曼(R. E. Kalman 1960 年)提出滤波理论等。此外,还有最优控制理论、系统辨识理论、模糊控制、智能控制等。

第二次世界大战以后,控制理论在工程技术领域中得到广泛应用,发展成为工程控制论。1954 年我国科学家钱学森出版了《工程控制论》一书,为工程控制技术学科奠定了基础。控制理论与机电工程的问题相结合又发展为机电工程控制。1952 年,美国 MIT 研制出第一台数控机床。1954 年美国(George Devol)研制出第一台工业机器人样机。1957 年世界第一颗人造地球卫星(Sputnik)由苏联发射成功。

就工程控制论而言,它主要包括以下研究内容:

(1) 已知系统结构与参数,在给定输入(激励)条件下,分析系统的输出。通过输出来

研究系统本身的有关变化。此类研究称为系统分析。

(2) 已知系统结构与参数,寻求系统的输入,使系统的输出尽可能符合最佳要求,此为最优控制问题。

(3) 当系统的输入已知,需要确定系统的结构和参数,使其输出尽可能符合给定的最佳要求,这类问题是最优设计。

(4) 当系统输出是已知的,需要确定系统结构参数和识别输入特征,这类问题属于预测。

(5) 当系统的输入和输出都已知,求系统的结构和参数,建立系统的数学模型,这类问题是系统辨识问题。

1.2 控制系统的基本概念

1. 控制系统的工作原理

首先以工程中常见的恒温箱的温度控制为例来说明自动控制过程。图 1-1 是恒温箱系统,要求箱中的温度保持为给定值。恒温箱的热量由电炉提供,电炉热量大小由电压调节。恒温箱的温度由温度计测量。人工控制这种恒温箱的温度过程是,当人观察出温度计的示值不符合规定值时,根据温度高低由人工来调节电炉的电压的大小。如果以框图的形式将系统的各部分联系起来,可以形象地说明人工控制时的调节过程,如图 1-2 所示。这种框图以系统中各物理模块为对象,说明它们之间的相互关系。

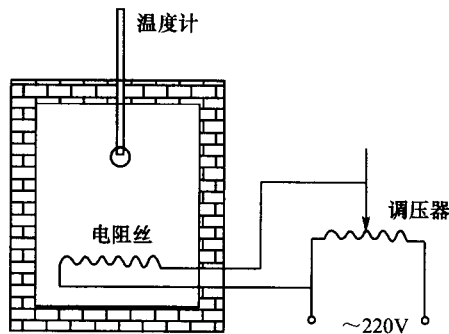


图 1-1 恒温箱手控系统

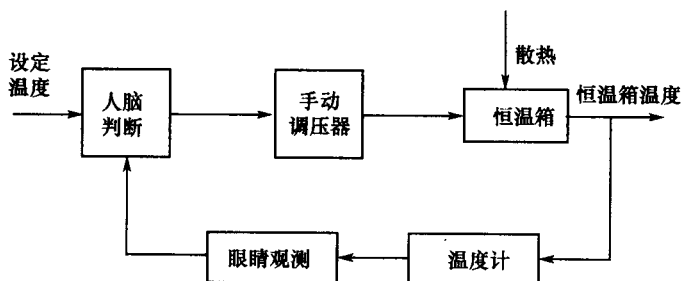


图 1-2 恒温箱人工调节过程

若将电炉的温度控制改为自动调节,用热电偶取代温度计,增加电压设定电路、放大电路和电机调速系统代替人工判断和调节。其工作原理是,设定好电位信号值 e_r 后,当电炉温度改变时,热电偶的电位值 e_u 发生改变,电路中产生电位差 $\Delta e = e_r - e_u$ 。它经过放大后为 $E = K\Delta e$ 。加到电机上使电机转动,经减速器,再带动调压器触头滑动,改变电炉的电压,从而改变加热量。这样也就控制了电炉中的温度。图 1-3 显示的是系统自动控制的调节原理。图 1-4 为控制原理的物理框图。

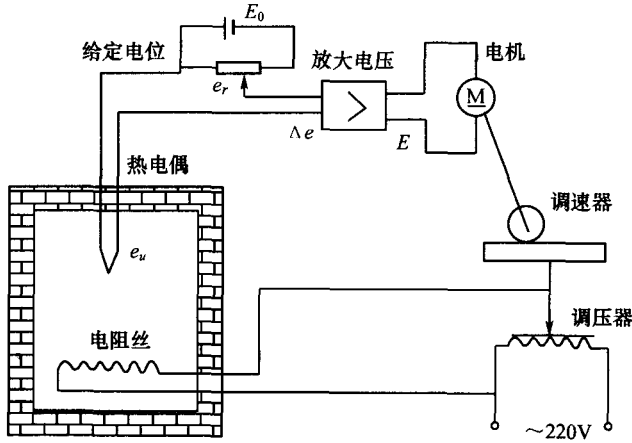


图 1-3 恒温箱自动温度调节系统

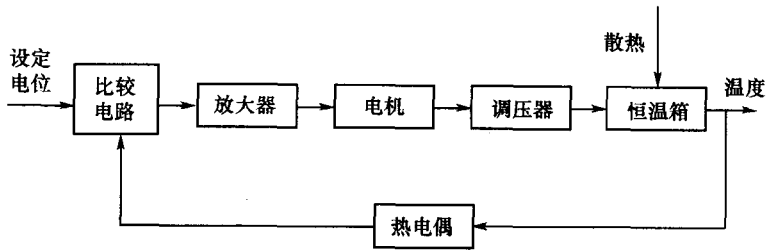


图 1-4 恒温箱自动调节过程

比较两种调节方式,它们有很大的不同。首先是温度测量方法不同,其次是调节变压器的方式不同,调节的效果也不同。人工调节是断续、滞后、不准确的,而自动调节是连续、实时、准确的。

将上面的温控问题抽象为一个控制系统,系统中的设定值作为输入信号(激励),用箭头表示信号的流动方向。输入信号加入系统上,系统的响应称为输出信号(响应)。用框图的形式将它们联系起来(图 1-5),称为控制系统物理框图。这是控制论的图示方法。

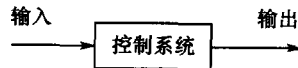


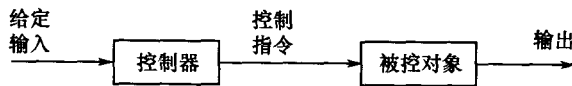
图 1-5 控制系统图示

2. 自动控制系统的定义与概念

广义地说,自动控制是指在不需要人直接参与的情况下,利用给定量,通过自动调节装置,使被控对象的某些物理量准确地按照预期的规律变化。这里,被控对象通常指控制系统中某些物体。被控对象的物理量称为被控量,也称为输出量。被控量可以是系统的位移、速度、温度、电压等。系统的给定量称为输入量,简称输入。输入分为控制输入和干扰。控制输入使控制系统按预定的输出。对系统的输出产生扰动的输入称为干扰。判断输出量是否符合要求是由测量机构和比较机构来完成。所有的输入、输出量又称为信号。整个控制有机实体构成为系统,其中某些部分称为环节。

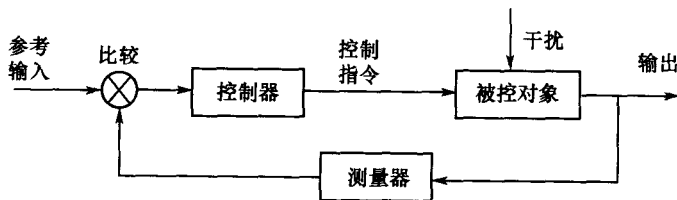
一般的自动控制系统具有:被控对象(装置、机器等)、输入量(广义的信号)、输出量(对象具有的物理量信号)、测量和比较机构、控制器(执行机构)等。这些要素有时是由独立的部分构成,有时是联合几个部分在一起,有时可能不同时出现。在下面的分析中我们会指明这些要素在系统中的作用。

机电自动控制理论是用系统的观点,以信息传递方法与可控制的思想来研究工程技术中的动力学问题。为刻画系统的控制过程,将控制系统分解为被控对象和控制器部分。它们之间的关系可用框图显示(图 1-6),称为物理控制框图。



3. 开环控制与闭环控制

在系统框图中,当系统中的信号只是单路前向传递时称为开环控制系统,如图 1-6 所示。但在自动控制系统中有时存在反馈。它是指从系统的输出量中取出信号量,经检测变换后返回到系统的输入端,与输入信号比较后,再对系统起控制作用。若比较后的信号为误差信号则这种控制为负反馈控制。若比较后的信号为增强信号则这种控制为正反馈控制。带有反馈控制的系统又称为闭环控制系统,如图 1-7 所示。此外,还有顺馈控制系统,它是指存在多路前向信号传递的系统。



通常,在物理控制框图中,用一个方框代表一类物理元件,而比较、计算部分以圈叉符号 \otimes 表示,每条带箭头的线表示信号流的传递路线和方向,如图 1-7 所示。

在恒温箱温度自动控制的例子中,被控对象是电炉,被控量是炉温。控制量是给定电位值。炉温的改变由热电偶感知,再转变为电位,热电偶是测量元件。热电偶的电位改变

后反馈到电路中,改变了电路中的电压,这是比较过程。驱动电机带动调压器移动,这是执行机构。最后改变电炉电阻丝的电压。从这个例子可以看出,反馈控制是以电位差信号来控制系统的温度值的。

再以数控机床工作台的驱动为例说明反馈控制过程。图 1-8 为数控机床工作台驱动控制的原理图。根据控制指令,伺服步进电机驱动丝杆转动,再带动工作台移动。工作台上的检测仪器测量出移动位置信号返给控制系统,系统给出下一个动作命令。这里被控对象是工作台,控制器是由计算机、电机等组成,测量由传感器完成。输入的是指令,被控量是工作台的位移。

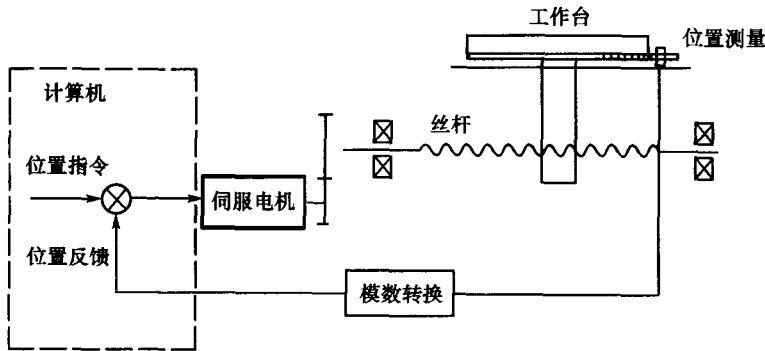


图 1-8 数控机床工作台驱动控制的原理

4. 机电工程控制

通常,机电工程控制是指将自动控制原理应用到机电工程控制实际问题中。首先从建立系统的控制方程开始,系统的控制方程是对系统中的被控量、给定量或干扰量、系统参数等,利用某种物理(力学、电学等)规律,将它们联系起来,形成某种函数关系。这个过程又称为系统建模。然后,分析工程控制问题的性能,综合控制系统,辨别控制系统参数等。

具体地说,工程控制的主要任务是研究如何使系统的被控量按照规定的变化规律而变化,完成控制任务。它要解决的问题,一是分析给定的控制系统的工作原理,分析系统的动态特性、系统稳定性、准确性、快速性等;另外一个是如何根据实际需要来综合、设计控制系统,并利用机、电、液、光元(部)件来实现这一系统。这个过程也叫控制工程。

1.3 机电工程控制实例简介

在机电工程领域,控制理论的应用越来越广泛深入,包括机械制造过程、机械设备装置中都有应用。下面列举一些典型的例子来说明控制系统的要素和特点。

1. 振动控制系统

很多机器设备都有振动控制问题。而这种问题可以简化为一种质量、弹簧、阻尼系统,如图 1-9 所示。控制系统的组成包括质量 m 、弹簧 k 和阻尼 c 。系统的控制量为干扰力 $F(t)$,系统的被控对象选择为质量块,被控量为其位移 $x(t)$ 。控制(干扰)量是系统的外力,联系系统输入与输出的数学模型是牛顿定律。图 1-10 为控制系统框图。

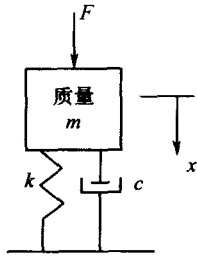


图 1-9 质量、弹簧、阻尼系统

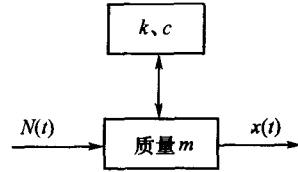


图 1-10 振动控制系统框图

2. 电机转速控制系统

电机转速的控制在机械工程中是常见的问题。这种典型的控制系统包括电机、电路和电源,如图 1-11 所示。被控对象选择为电机,执行机构也是电机,被控量为电机转速,控制量是给定的电压。当采用设定模式控制,即开环控制时,没有测量与比较元件。电机的转速随给定电压而定。图 1-12 为控制系统框图。这种速度控制系统比较简单,不能补偿电机负载力矩变化对速度的影响。当采用反馈模式控制,即闭环控制时,如图 1-13 所示,电机的速度由测速电机测量再转为电动势,测速电机的电动势与外接电位比较,以电位差驱动工作电机。当电机速度因干扰而发生改变时,测速电机的电位也改变,引起电位差改变,工作电机的转速也跟着调节,保持速度不变。由此可见,反馈控制的优点是能抗干扰,控制精度高。但反馈控制系统比开环系统复杂。又因为元件会存在惯性滞后,若反馈控制不当会使系统出现振荡。图 1-14 为控制系统框图。

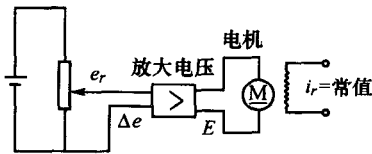


图 1-11 设定模式的电机转速控制系统

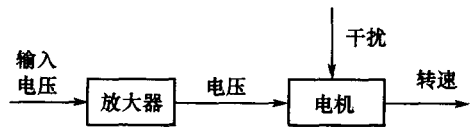


图 1-12 电机转速开环控制系统框图

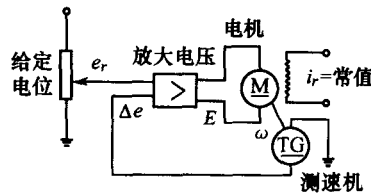


图 1-13 反馈模式的电机转速控制系统

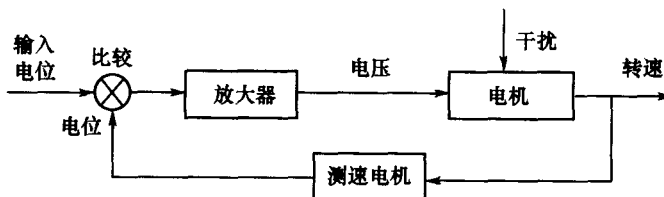


图 1-14 电机转速闭环控制系统框图