

上海市本科教育高地建设
机械制造及其自动化系列教材

控制理论基础

主 编 陆 文

副主编 黄晓波 周志峰 胡秀娟



清华大学出版社

内容简介

本书是上海市本科教育高地建设机械制造及其自动化系列教材之一，主要讲述机械传动系统的设计方法。全书共分5章，第1章介绍机械传动系统的设计方法，第2章介绍机械传动系统的设计方法，第3章介绍机械传动系统的设计方法，第4章介绍机械传动系统的设计方法，第5章介绍机械传动系统的设计方法。

上海市本科教育高地建设 机械制造及其自动化系列教材

机械工业出版社 地址：北京 邮编：100071 电话：010-65258899 13701519333

图例目录(910)

机械工业出版社 地址：北京 邮编：100071 电话：010-65258899 13701519333

控制理论基础

主编 陆文
副主编 黄晓波 周志峰 胡秀娟

机械工业出版社 地址：北京 邮编：100071 电话：010-65258899 13701519333

机械工业出版社 地址：北京 邮编：100071 电话：010-65258899 13701519333

机械工业出版社 地址：北京 邮编：100071 电话：010-65258899 13701519333

机械工业出版社 地址：北京 邮编：100071 电话：010-65258899 13701519333

机械工业出版社 地址：北京 邮编：100071 电话：010-65258899 13701519333

机械工业出版社 地址：北京 邮编：100071 电话：010-65258899 13701519333

清华大学出版社
北京

机械工业出版社 地址：北京 邮编：100071 电话：010-65258899 13701519333

内 容 简 介

本书是为机械工程类专业本科学生编写的教材,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的经典控制理论。全书内容包括控制理论的概念、控制系统的微分方程、传递函数、时间响应、稳定性分析、误差计算、根轨迹分析法、频率响应法及校正等。本书注重对自动控制的基本内容、基本概念、基本理论和基本分析方法的阐述,深入浅出,重点突出,便于学生自学。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

控制理论基础/陆文主编. —北京:清华大学出版社,2008.12
(上海市本科教育高地建设机械制造及其自动化系列教材)
ISBN 978-7-302-18974-9

I. 控… II. 陆… III. 控制论—高等学校—教材 IV. O231
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 186087 号

责任编辑:庄红权 洪 英

责任校对:王淑云

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:11.5

字 数:275 千字

版 次:2008 年 12 月第 1 版

印 次:2008 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:22.00 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:032039-01

上海市本科教育高地建设 机械制造及其自动化系列教材编写委员会

顾 问 陈关龙

主 任 程武山

副主任 何法江

编 委 王明红 蔡颖玲 陆 宁 陆 文

秘 书 周玉凤

序言



进入 21 世纪以来,我国制造业得到了飞速发展。中国已成为世界制造业大国,正面临从制造业大国向制造业强国转型的关键时期。培养大批适应中国机械工业发展的优秀工程技术人才,是实现这一重大转变的关键。

遵循高等教育、人才培养和社会主义市场经济的规律,围绕《上海优先发展先进制造业行动方案》,紧贴区域经济和社会需求的发展,上海工程技术大学机械工程学院抓住“上海市机械制造及其自动化本科教育高地建设”这一机遇,把握先进制造业和现代服务业互补、融合的趋势,把打造工程本位的复合应用型人才培养基地作为高地建设的核心,把培养具有深厚的科学理论基础和一定的工程实践能力及创新能力的优秀的复合应用型人才——生产一线工程师,作为高地建设的战略发展目标。

正是基于上述考虑,本编写委员会联合清华大学出版社推出“上海市本科教育高地建设机械制造及其自动化系列教材”,希望根据“以生为本,以师为重,以教为基,以训为媒,突出工程实践”的教育思想理念和当前的科技水平和社会发展的需求,精心策划和编写本系列教材,培养出更多视野宽、基础厚、素质高、能力强和富于创造性的工程技术人才。

本系列教材的编写,注重文字通顺,深入浅出,图文并茂,表格清晰,符合国家与部门标准。在编写时,作者重视基础性知识,精选传统内容,使传统内容与新知识之间建立起良好的知识构架;重视处理好教材各章节间的内部逻辑关系,力求符合学生的认识规律,使学习过程变得顺理成章;重视工程实践与教学实验,改变原教材过于偏重理论知识的倾向,力图引导学生通过实践训练,发展自己的工程实践能力;倡导创新实践训练,引导学生发现问题、提出问题、分析问题和解决问题,培养创新思维能力和团队协作能力。

本系列教材的编写和出版,是上海市本科教育高地建设课程和教材改革中的一种尝试,教材中一定会存在不足之处,希望全国同行和广大读者不断提出宝贵意见,使我们编写出的教材能更好地为教育教学改革服务,更好地为培养高质量的人才服务。

陈关龙

2008 年 12 月

前言



本书适用于机械工程类专业本科学生教学及自学使用,“控制理论基础”课程是一般机械类专业的专业基础课,是为后续专业课奠定基础,所以,本书基于后续课程的教学要求主要以经典控制理论为主线,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的经典控制理论,尤其是自动控制的基本概念、基本原理及基本分析方法。为了在较少的学时内,能使学生在较系统地掌握控制理论中最基本的理论和分析设计方法,本书在内容的组织上力求做到重点突出、深入浅出,删去经典控制理论中一些工程中不常用的陈旧内容。本书共分9章:其中第1~3章是控制理论的基本部分;第4~6章主要介绍时间响应的快速性、稳定性及精确性;第7章介绍根轨迹法;第8章主要研究频率响应,在频域中讨论系统的性能及稳定性问题等;第9章主要讨论系统的校正问题。

本书由陆文主编,第1、7、8章由陆文编写,第2、3章由黄晓波编写,第4、9章由周志峰编写,第5、6章由胡秀娟编写。

本书得到了上海工程技术大学机械工程学院的大力支持,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免会存在一些错误与不足之处,敬请专家及读者批评指正。

作 者

2008年12月

目录



1	概述	1
1.1	简况	1
1.2	自动控制的基本方式	2
1.2.1	开环控制	2
1.2.2	闭环控制	3
1.2.3	闭环控制的组成	4
1.3	自动控制系统的工作原理	5
1.3.1	速度控制系统	5
1.3.2	水位控制系统	6
1.3.3	位置随动系统	7
1.4	对控制系统的性能要求	8
1.4.1	稳定性	8
1.4.2	快速性	9
1.4.3	精确性	9
习题 1		10
2	控制系统的微分方程	12
2.1	建立系统微分方程的一般方法和步骤	12
2.1.1	微分方程的一般特征	12
2.1.2	建立微分方程的一般步骤	13
2.1.3	理想元件的微分方程描述	13
2.1.4	机械系统的微分方程	14
2.1.5	电气系统的微分方程	16
2.1.6	机电系统的微分方程	17
2.2	线性系统及其齐次性和叠加性	18
2.2.1	线性系统	18

2.2.2	线性系统的齐次性	18
2.2.3	线性系统的叠加性	19
2.3	非线性数学模型线性化	20
2.3.1	线性化的基本概念	20
2.3.2	小偏差线性化	20
2.3.3	线性化的数学意义和步骤	20
习题 2		21
3	传递函数	23
3.1	数学工具——拉普拉斯变换与反变换	23
3.1.1	拉氏变换的基本概念	23
3.1.2	拉氏变换基本定理	25
3.1.3	拉氏反变换	30
3.1.4	拉氏变换应用举例	31
3.2	传递函数	33
3.2.1	传递函数的定义和性质	33
3.2.2	传递函数的零点和极点	34
3.2.3	典型环节的分类	34
3.2.4	典型环节的传递函数	36
3.3	系统方块图及其传递函数	39
3.3.1	方块图的组成	40
3.3.2	方块图的绘制	40
3.3.3	利用方块图的简化求取系统的传递函数	42
3.3.4	利用梅逊公式求取系统的传递函数	46
3.4	控制系统的传递函数	50
3.4.1	系统的开环传递函数	50
3.4.2	闭环系统的传递函数	50
3.4.3	闭环系统的偏差传递函数	51
习题 3		52
4	时间响应分析	55
4.1	时间响应及其性能指标	55
4.1.1	时间响应的概念	55
4.1.2	典型信号的时间响应	56
4.1.3	任意输入函数作用下的系统响应	57
4.1.4	时间响应的性能指标	58
4.2	一阶系统的时间响应	59
4.2.1	单位阶跃响应	59
4.2.2	单位斜坡响应	60

4.2.3	单位脉冲响应	60
4.3	二阶系统的时间响应	61
4.3.1	单位阶跃响应	62
4.3.2	单位斜坡响应	68
4.3.3	单位脉冲响应	69
4.4	高阶系统的时间响应	73
4.4.1	三阶系统的单位阶跃响应	73
4.4.2	高阶系统的主导极点	74
4.4.3	高阶系统的时间响应分析	75
习题 4		77
5	控制系统的稳定性及其时域判据	78
5.1	稳定性的概念及系统稳定的条件	78
5.1.1	稳定性的概念	78
5.1.2	系统稳定的条件	78
5.2	系统稳定性的时域判据	80
5.2.1	罗斯判据	80
5.2.2	霍尔维茨判据	84
5.3	结构性不稳定系统	86
习题 5		87
6	控制系统的稳态误差	88
6.1	偏差、误差和稳态误差的概念	88
6.1.1	偏差、误差	88
6.1.2	稳态误差	89
6.2	稳态误差的计算	89
6.2.1	利用终值定理求取稳态误差	89
6.2.2	利用动态误差系数求取稳态误差	94
6.3	干扰作用下系统的稳态误差计算	96
6.4	降低稳态误差的主要措施	97
习题 6		98
7	根轨迹分析法	100
7.1	根轨迹的概念	100
7.1.1	根轨迹	100
7.1.2	根轨迹方程	101
7.2	根轨迹的基本规则	102
7.3	绘制根轨迹	107
7.4	根轨迹的分析	109

习题 7	111
8 频率响应法	112
8.1 频率响应的基本概念	112
8.2 奈魁斯特图	115
8.2.1 典型环节的奈魁斯特图	115
8.2.2 系统的开环奈魁斯特图	119
8.3 波德图	121
8.3.1 对数幅频特性和对数相频特性	121
8.3.2 典型环节的波德图	123
8.3.3 系统的开环波德图	128
8.3.4 最小相位传递函数	130
8.3.5 实验确定传递函数	131
8.4 频域稳定性判据	133
8.4.1 奈魁斯特稳定判据	133
8.4.2 波德稳定判据	139
8.5 控制系统的稳定裕量	140
8.5.1 相位裕量	140
8.5.2 幅值裕量	140
8.5.3 稳定裕量的计算	141
8.6 控制系统的闭环频率特性	143
8.6.1 等 M 圆图	144
8.6.2 等 N 圆图	145
8.6.3 利用等 M 圆和等 N 圆图求系统闭环频率特性	145
8.7 频域性能指标与时域性能指标的关系	147
8.7.1 闭环频域性能指标与时域性能指标的关系	147
8.7.2 开环频域性能指标与动态性能指标的关系	148
8.7.3 开环波德图与时域性能指标的关系	149
习题 8	151
9 控制系统的校正	154
9.1 串联校正	155
9.1.1 基本控制规律	155
9.1.2 相位超前校正	161
9.1.3 相位滞后校正	164
9.1.4 相位滞后-超前校正	167
9.2 反馈校正	168
习题 9	170
参考文献	172



概 述

1.1 简 况

在现代工程科学技术发展过程中,自动控制无论是作为一项先进的技术还是作为有效的方法,都在各个领域扮演着越来越重要的角色。自动控制的主要任务就是在没有人直接参与的情况下,应用某种设备或装置(称为控制器)自动地、有目的地操纵生产机械或生产过程(称为被控对象),使其工作状态或参数(即被控量)按预期的规律运行。将自动控制技术应用于生产实际,能够有效地提高产品质量,降低生产成本,改善劳动强度。

自动控制理论和技术的不断发展,不仅使飞船登月、人类遨游太空成为现实,而且已成为现代制造业和工业生产过程中重要且不可缺少的组成部分。例如,在制造业中,数控机床能够高精度、高效率地完成复杂形状零件的加工任务;在化工生产过程中,化学反应炉的温度或流量自动地根据生产工艺的要求而变化与调整;在电力生产中,发电设备可以自动地协调多个变量的变化,满足电网负荷的要求;在军事上,导弹发射和制导系统自动地将导弹精确引导至敌方目标等。近几十年来,随着计算机技术的迅猛发展,使自动控制不仅在工程技术领域得到了日益广泛的应用,而且在生物、化学、环境、经济管理和社会科学等领域日益发挥着重要的作用。

自动控制理论是自动控制技术的理论基础,是一门理论性较强的科学。它的发展初期是以反馈理论为基础的自动调节原理,随着科学和技术的进步,现已发展成为一门独立的学科。根据自动控制理论发展的不同阶段,自动控制理论一般可分为“经典控制理论”和“现代控制理论”两大部分。

在 1940 年前,控制系统的设计是一个伴随着不断试验和失败的过程。而在 20 世纪 40 年代后,越来越多的数学和分析方法得到应用,控制工程才真正成为一门独立的工程学科。

20 世纪 50 年代,随动系统理论从军用逐步转用于民用生产部门,控制理论得到进一步应用。例如,在化工、炼油、冶金等部门,实现了对过程的控制,解决了压力、温度、流量与化学成分的控制问题。我国著名学者钱学森在 20 世纪 50 年代初期,从控制论这一总题目中,把已被当时科学技术与工程实践所证明了的部分分离出来,创立了“工程控制论”这门学科,并于 1954 年出版了《工程控制论》这一名著,这一创新对推动控制理论的应用起到了很大的作用。

20 世纪 50 年代及其以前的控制理论属于经典或古典控制理论。它是以调节器与伺服

机构为基础的自动调节原理的进一步提高,它主要是在复域(特别是频域)内利用传递函数(或频率特性)来研究与解决单输入单输出线性系统的稳定性、响应快速性与响应准确性的问题,这也是本书要着重阐明的课题。

20 世纪 50 年代末到 60 年代初,核能、电子计算机以及空间技术的科学发展,对自动控制学科提出了更高的要求。随着人造卫星和空间时代的来临,控制工程拥有了新的巨大推动力,因为有必要为运载火箭和空间探测器设计一种复杂、高精度的控制系统。此外,人造卫星的轻型化和控制的精密化也产生了重要的最优化控制领域。为了满足这些要求,由 Lia-Punov、Minorsky 等发展的时域方法,在过去 20 年中引起了广泛的关注。由前苏联的 L. S. Pontryagin、美国的 R. Bellman 发展的最优化控制的现代理论,以及近来对鲁棒系统的研究,也对时域方法作出了贡献。大型复杂系统的控制,高速度控制操作及高精度控制品质的要求,使经典控制理论的局限性暴露出来,促使人们寻找更完善的控制理论和更高级的控制技术。在这种背景下,Bellman 等提出了状态空间法。1960 年 Bellman 在控制系统的研究中成功地应用了状态空间法,并提出了能控性和能观测性的新概念,这被认为是现代控制理论发展的开端。20 世纪 60 年代以后迅速发展的新控制理论,如模糊控制、最优控制、系统辨识、多变量控制、自适应控制、专家系统、人工智能、神经网络控制、大系统理论等,都属于现代控制理论的范畴。与经典控制理论相比,现代控制理论内涵十分丰富。例如,20 世纪 70 年代后期,提出了大系统理论,它是指针对规模十分庞大的系统的控制理论。又如大型钢铁联合企业、大型电力系统、大型通信网、大型交通运输网等大型系统控制需要涉及运筹学、信息论、系统论等方面的理论,才能解决多级递阶控制、多目标综合优化等问题。

如今计算机技术的迅猛发展,对控制系统的设计和应用起到了很大的推动作用。使用诸如 MATLAB 这样的语言,能够为分析自动控制系统的性能提供便利的工具。微型计算机以其更高的性价比,使得自动控制的应用从来没有像现在这样活跃。从火星探索登陆到微型机器人实施医学手术,从微型电话到大型喷气式客机,从洗衣机到大型炼油厂、钢铁厂……自动控制正为社会的发展、人类的进步作着重要的贡献。

1.2 自动控制的基本方式

1.2.1 开环控制

如果控制系统的输出量对系统的控制作用没有影响,则称该系统为开环控制系统。图 1-1 所示的他励直流电动机转速控制系统就是一个开环控制系统。假设它的励磁电流恒定,其输入量是给定电压 u_r ,输出量(被控制量)是转速 n 。改变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 ,从而得到不同的电动机转速 n 。当负载转矩及其他外部条件(如电网电压)不变时, u_r 和 n 之间有一一对应的关系。因此,可以由给定电压直接控制转速。如果出现扰动(如负载转矩或电网电压变化),电动机转速将随之改变而偏离给定值。如要维持给定转速不变,操作人员必须根据实际转速偏离转速给定值的情况,不断地调整电位器滑臂的位置,使电动机的转速保持在给定值。

图 1-2 所示的框图表示了这种系统的输入量与输出量之间的关系,箭头表示信号传递的方向。这类控制系统的结构简单、成本低、工作稳定。但是由于它们不具备自动修正被控

量偏差的能力,故系统的精度低,只能用在控制要求不高的场合。

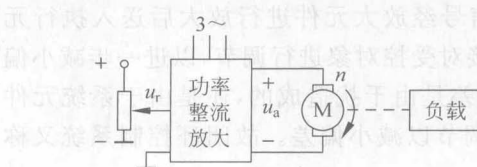


图 1-1 转速控制系统



图 1-2 转速控制系统的框图

1.2.2 闭环控制

控制系统的输出量参与控制的控制方式称为闭环控制。开环控制系统控制精度不高的原因,是它没有从系统输出端到输入端的反馈环节。为了提高控制精度,必须把输出量检测出来,经过物理量的信号转换,再反馈到输入端与给定量进行比较(二者相减,即负反馈)。根据比较所得的偏差信号,经过控制装置对被控对象进行控制,这样可以抑制扰动量对输出量的影响,减少或消除输出量的偏差。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。

图 1-3 所示闭环调速系统是闭环控制系统的例子。测速发电机 CF 将电动机的实际转速 n 检测出来,并转换成与给定电压相同的反馈信号 u_f ,然后反馈到输入端,与给定电压 u_r 相比较,其偏差 u_e 经放大器放大后,用来控制电动机的转速,使电动机保持在与给定电压 u_r 相对应的转速下运转。

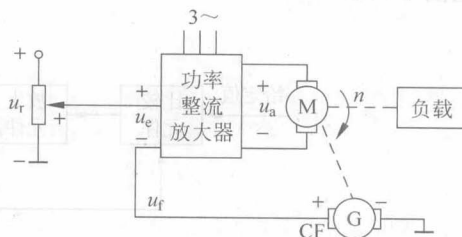


图 1-3 闭环转速控制系统

如果出现扰动,如负载转矩增大,那么电动机转速降低。速度的变化,将由测速发电机检测出来。此时反馈电压 u_f 减小,与给定电压 u_r 比较后的偏差电压 u_e 增大,经放大后电枢电压 u_a 相应增大,从而使电动机的转速得到补偿,使系统基本上恒速运行。图 1-4 是控制系统原理框图。

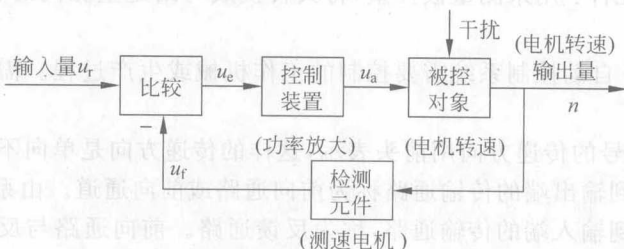


图 1-4 闭环转速控制系统原理框图

由图 1-4 可见,在闭环控制中,在给定值和被控量之间,除了有一条从给定值到被控量方向传递信号的前向通路外,还有一条从被控量到比较元件的传递信号的反馈通路。控制信号沿着前向通路和反馈通路循环传递,故闭环控制又称反馈控制。

在闭环控制中,被控量时时刻刻被检测,或者再经过信号变换,并通过反馈通路回送到比较元件与给定值进行比较。比较后得到的偏差信号经放大元件进行放大后送入执行元件。执行元件根据所接收的信号的大小和极性,直接对受控对象进行调节,以进一步减小偏差。可见,只要闭环控制系统出现偏差,而不论该偏差是由干扰造成的,还是由于系统元件或受控对象工作特性变化所引起的,系统都能自行调节以减小偏差。故闭环控制系统又称带偏差调节的控制系统。

闭环控制从原理上提供了实现高精度控制的可能性,它对控制元件的要求比开环控制的低。但与开环控制系统相比,闭环控制系统设计比较麻烦,结构也比较复杂,因而成本较高。闭环控制是自动控制中广泛采用的一种控制方式。当控制精度要求较高、干扰影响比较大时,一般都采用闭环控制。

1.2.3 闭环控制的组成

自动控制系统是由控制装置和受控对象(或受控过程)两大部分组成的。对受控对象(或受控过程)产生控制调节作用的装置称为控制装置。一般控制装置包括下面一些元件(见图 1-5)。

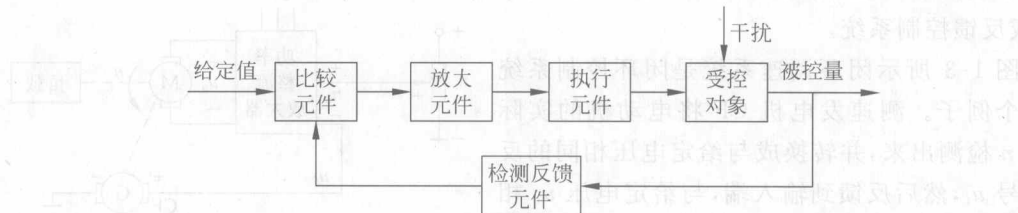


图 1-5 闭环控制

(1) 比较元件: 用来比较给定信号和反馈信号,并产生两者差值(偏差信号)的装置。控制框图中,比较环节一般用“ $\otimes$ ”符号来表示。

(2) 放大元件: 将比较微弱的偏差信号放大,输出具有足够大的幅值和功率的信号去推动执行机构的元件。

(3) 执行元件: 直接对被控对象进行操作,使被控量和期望值趋于一致的元件。

(4) 检测反馈元件: 用来测量被控量,将其转换成与给定量相同的物理量,并反馈到输入端的元件。

(5) 受控对象: 自动控制系统需要控制的工作机械或生产过程。需要控制的物理量称为被控量或输出量。

在图 1-5 中,信号的传递方向用箭头表示,这样的传递方向是单向不可逆的。信号从输入端沿箭头方向达到输出端的传输通路称为前向通路或前向通道。由系统输出端沿箭头方向经测量元件反馈到输入端的传输通路,称为反馈通路。前向通路与反馈通路一起构成主回路。此外,可能还有局部反馈通路以及由它组成的内回路。

在实际系统中,一个元件或部件可能起着图 1-5 中几个方框中的元件的作用。例如以集成运算放大器为核心的电子控制器,同时起到了比较元件、放大元件和校正装置的作用。

扰动是一种不希望的外作用。它破坏给定输入信号对系统的控制作用。在实际系统中,扰动是不可避免的,它可能作用在系统中的任一部位上。通常所说的系统输入信号是指有用的给定信号。

除此之外,下面给出部分在控制系统框图中常用的名词术语。关于其他方面的概念和定义将在后续章节中介绍。

(1) 给定值: 又称为参考输入,是指人规定的并且要求系统输出量参照变化的外部指令信号。给定值可以是常值,也可以是随时间变化的已知函数或未知函数。

(2) 被控量: 又称为输出量,是指被控制对象中某个需要被控制的物理量。它与给定值之间存在一定函数关系。

(3) 干扰: 又称为扰动信号,是指由某些因素(外部和内部)引起的、对被控制量产生不利影响的信号。

(4) 反馈通路: 从被控量端(输出)到给定值端(输入)所经过的通路。

(5) 前向通路: 从给定值端(输入)到被控量端(输出)所经过的通路。

1.3 自动控制系统的工作原理

1.3.1 速度控制系统

图 1-6 表示用以实现车床主轴变速的直流电动机转速控制系统。系统中③是电枢控制式的直流电动机,它具有恒定的激磁电流 i_f 。电动机的转速 n 和电枢电压 u_a 成正比。电枢电压 u_a 可以由改变给定电位计①的滑臂位置而得到的给定电压 u_g 并通过放大器②放大而获得。因此,电动机转速 n 和给定电压 u_g 有一一对应的关系,将电位计滑臂调到适当位置,就可得到所需要的转速。直流电动机转速控制系统的方框图如图 1-7 所示。

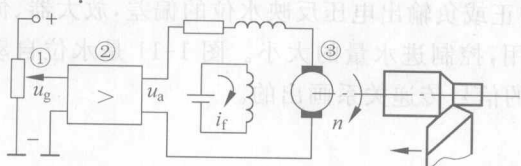


图 1-6 直流电动机转速控制系统



图 1-7 直流电动机转速控制系统的方框图

当电动机的负载转矩变化很小、系统元件特性比较稳定时,图 1-6 的控制系统可以满足预期的要求。否则电动机的实际转速与期望值相比将有较大的误差。

图 1-8 所示的带偏差控制作用的速度控制系统可以减小或消除由各种因素所引起的转速变化。

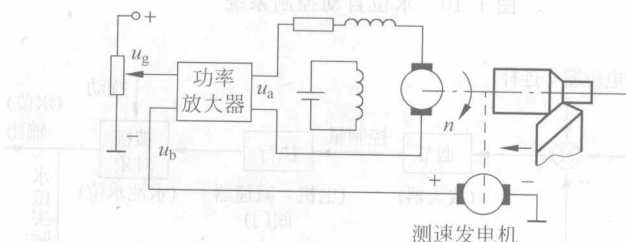


图 1-8 带偏差控制作用的速度控制系统

在图 1-8 所示的系统中,电动机的转速是由电压 u_g 和 u_b 共同控制的。测速发电机用

来测量实际转速,并将与实际转速对应的电压 u_b 回送到加法器(比较器)与给定电压 u_g 进行比较。当负载转矩变化或由于其他原因使电动机转速高于(或低于)要求转速时,电压 u_b 便升高(或降低)。比较器输出的偏差电压 $\Delta u = u_g - u_b$ 相应减小(或加大),因而经放大器放大后的电压 u_a 也相应降低(或升高),从而使电动机的转速下降(或升高)而回复到要求值。带偏差控制作用的速度控制系统的方框图如图 1-9 所示。



图 1-9 带偏差控制作用的速度控制系统的方框图

1.3.2 水位控制系统

水位控制系统中,水经阀门流进水池,由出水管流出供用户使用。若要求在用水量任意改变的情况下,保持水位高度不变,则可由人工操作实现。操作人员首先测量水池实际水位,并与要求值比较,得出偏差。然后根据偏差的大小调节进水阀门的开启程度,通过改变水量使水位达到要求值。若用控制装置代替操作人员进行控制,则构成水位自动控制系统。图 1-10 是水位自动控制系统的一种形式。这里浮子起测量水位高度的作用,连杆起比较作用,连杆决定电位器滑臂的位置,电位器滑臂的正或负输出电压反映水位的偏差,放大器、伺服电动机、减速器和阀门等起调节和执行的作用,控制进水量的大小。图 1-11 是水位自动控制系统的方框图,它是根据实际的物理系统的信号传递关系画出的。

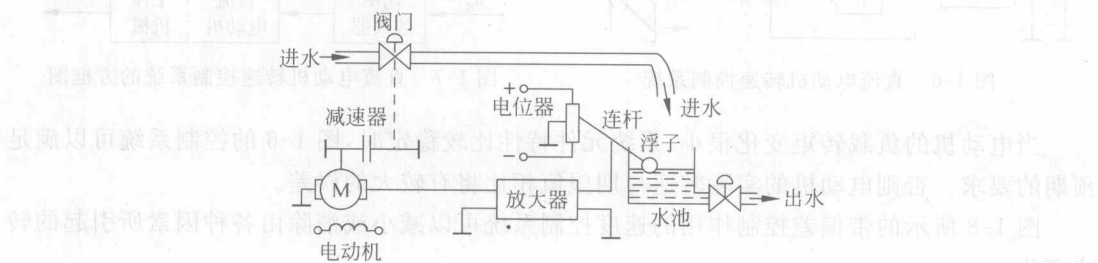


图 1-10 水位自动控制系统



图 1-11 水位自动控制系统的方框图

通常把控制系统的被控量称为系统的输出量,而把影响系统输出的外界输入称为系统的输入量。一般系统的输入有两类:给定输入和扰动。给定输入决定系统输出量的变化规律或要求值;扰动则是系统不希望的外作用,它影响给定输入对系统被控量的控制。例如在水位控制系统中,水位要求值是给定输入,放大器的零点漂移、出水量的变化等则是扰动。

1.3.3 位置随动系统

图 1-12 是某一位置随动系统的工作原理图。两个相同的电位器由同一直流电源供电,电位器 1 的滑臂由指令机构转动,相应的电位为 u_r ;电位器 2 的滑臂随工作机构转动,相应的电位为 u_c 。以 $u_s = u_r - u_c$ 作为放大装置的输入,然后驱动电动机转动。电动机的转轴经变速箱后拖动工作机构按照给定的要求转动。

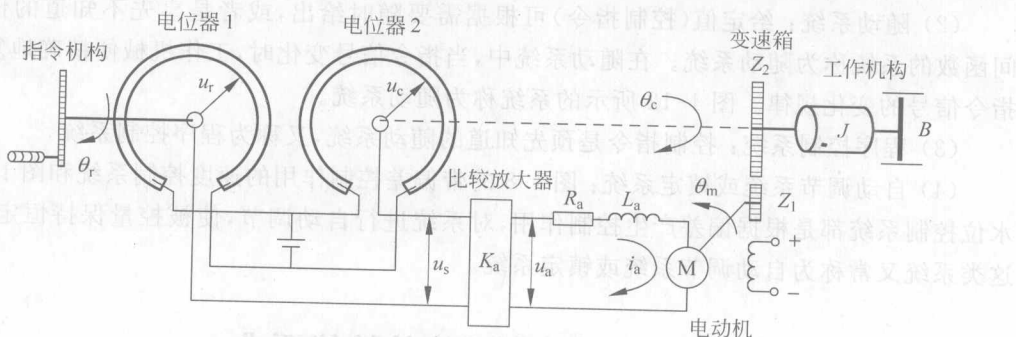


图 1-12 位置随动系统

控制的任务是使工作机构的转角 θ_c 跟随指令机构的转角 θ_r 同步转动,即

$$\theta_c(t) = \theta_r(t)$$

自动控制系统的工作原理是:如果工作机构转角 θ_c 等于指令机构转角 θ_r ,则 $u_r = u_c$, $u_s = 0$,电动机不动,系统处于平衡工作状态。

如果指令机构转角 θ_r 发生变化,而工作机构转角 θ_c 仍处于原位,则 $\theta_c \neq \theta_r$,即 $u_c \neq u_r$, $u_s \neq 0$,从而使电动机拖动工作机构向 θ_r 所要求的方向转动。

当 $\theta_c = \theta_r$ 时,电动机停转,系统在新的位置上又处于平衡工作状态,即完成了角位移的跟随任务。

由此看出,控制系统通过机械传动机构和电位器来测量 θ_c ,将工作机构的角位移转换为便于处理的电位信号,并与指令机构 θ_r 产生的电位信号进行比较而产生偏差信号,再通过比较放大器和电动机来控制 θ_c ,所以仍是按偏差调节的反馈控制系统。位置随动系统的方框图如图 1-13 所示,图中同样存在着一个负反馈闭合回路。

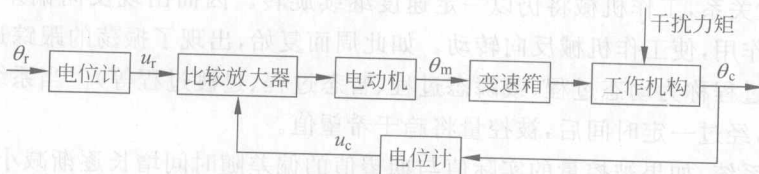


图 1-13 位置随动系统的方框图