



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教育)

自动控制原理

王艳红 主 编
张普庆 王 新 副主编



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教育)

自动控制原理

王艳红 主 编
张普庆 王 新 副主编

高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专教育),是根据教育部《关于加强高职高专教育培养工作的意见》精神,由长期讲授高职高专《自动控制原理》课程的几位教师合作编写的一本新高职教育理念下的教材。本教材通篇采用“项目化教学”,对每个单元结合实际应用进行设计,使学生更好地掌握自动控制原理相关内容,书中应用了国际控制界最流行的 MATLAB 软件对实际项目进行仿真,以加深对自动控制原理抽象理论的理解。

本书介绍了经典控制理论的基本概念、基本理论及基本分析方法,并着重结合控制理论的实际应用项目进行了分析。全书共七部分,内容包括:绪论、控制系统的数学模型、控制系统的时域分析、控制系统的频域分析、控制系统的校正、采样控制系统及附录部分。书中的大量实例和习题来源于工程实际,各章结合书本内容对实例均进行了 MATLAB 软件分析和设计,并设置了小结及习题,便于读者学习。

本书可作为高职高专院校及成人院校电气自动化技术、自动化、机电一体化、仪表及检测等专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/王艳红主编. —北京:高等教育出版社, 2008.9

ISBN 978-7-04-025033-6

I. 自… II. 王… III. 自动控制理论-高等学校:技术学校-教材 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 136263 号

策划编辑	刘 洋	责任编辑	魏 芳	封面设计	张志奇	责任绘图	郝 林
版式设计	王艳红	责任校对	杨雪莲	责任印制	宋克学		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京凌奇印刷有限责任公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 11.5
字 数 270 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年 9 月第 1 版
印 次 2008 年 9 月第 1 次印刷
定 价 25.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25033-00

前 言

随着科学技术的飞速发展,自动控制系统在工农业生产、国防科技和国民经济各个领域得到了广泛的应用。“自动控制原理”是电气自动化、机电一体化、计算机等非自动化专业的一门重要的技能基础课。本书是根据教育部《关于加强高职高专教育培养工作的意见》精神,针对高等职业技术教育特点编写的教材,由长期讲授“自动控制原理”课程的教师,在高职高专新的教育理念和模式的基础上编写。结合新的职教方法和高职学生的实际情况,本书采用“单元设计”代替传统的章节设置,有利于“基于工作过程的项目化教学”教学方式的进行,使学生更好地掌握自动控制原理相关的知识应用。书中应用了国际控制界最流行的 MATLAB 软件对实际项目进行仿真,以加深对自动控制原理抽象理论的理解和掌握。

本书针对高职高专学生的特点,力争以工程实际应用为主线,理论叙述尽量从工程观点删繁就简,内容力求少而精,减少了公式中较复杂的数学推导,重点突出,加强基本概念和分析方法的理解,侧重应用。本书介绍了经典控制理论的基本概念、基本理论及基本分析方法,并着重结合控制理论的实际应用项目进行了分析。全书共七部分,内容包括:绪论、控制系统的数学模型、控制系统的时域分析、控制系统的频域分析、控制系统的校正、采样控制系统及附录部分。书中的大量实例和习题来源于工程实际,各章结合书本内容对实例均进行了 MATLAB 软件分析和设计、小结并设置了习题,便于读者学习。在附录中介绍了 MATLAB 在控制理论应用中的相关内容及拉普拉斯变换知识,供学习中参考。

全书由北京工业职业技术学院王艳红教授任主编,北京工业职业技术学院张普庆、河南理工大学教授王新任副主编,北京工业职业技术学院张春芝副教授、王怀群副教授、河南理工大学乔美英副教授及程相波讲师也参加了本书的编写工作。

由于时间仓促和新的高职教学理念的应用,加之水平有限,不足之处在所难免,恳请广大读者及同行批评指正。

编 者

2008 年 7 月于北京

目 录

第 1 章 绪论	1	§ 4.2 项目 1:控制系统的开环频率特性	77
§ 1.1 自动控制理论的发展史及内容	1	§ 4.3 项目 2:用频域法分析控制系统的稳定性	89
§ 1.2 自动控制的基本原理与方式	5	§ 4.4 项目 3:用频域法分析控制系统的性能指标	95
§ 1.3 控制系统的分类	9	§ 4.5 项目 4:控制系统的频域分析应用	99
§ 1.4 对自动控制系统性能的基本要求	10	本章小结	101
§ 1.5 MATLAB 软件及其应用简介	12	思考题与习题	102
本章小结	15	第 5 章 控制系统的校正	104
思考题与习题	16	§ 5.1 预备知识:系统校正概述	104
第 2 章 控制系统的数学模型	17	§ 5.2 项目 1:串联校正装置	109
§ 2.1 预备知识:控制系统的数学模型	17	§ 5.3 项目 2:串联校正的理论设计方法	113
§ 2.2 项目 1:建立控制系统的微分方程	18	§ 5.4 项目 3:利用复合校正消除稳态误差	122
§ 2.3 项目 2:求取控制系统的传递函数	20	§ 5.5 项目 4:控制系统的工程设计	125
§ 2.4 项目 3:建立控制系统的动态结构图	25	本章小结	130
§ 2.5 项目 4:由动态结构图求取控制系统的传递函数	27	思考题与习题	131
本章小结	35	第 6 章 采样控制系统	132
思考题与习题	35	§ 6.1 预备知识:采样控制系统基础	132
第 3 章 控制系统的时域分析	38	§ 6.2 项目 1: z 变换	137
§ 3.1 预备知识:典型输入信号和时域性能指标	38	§ 6.3 项目 2:差分方程的建立与求解	141
§ 3.2 项目 1:控制系统的稳定性分析	42	§ 6.4 项目 3:脉冲传递函数	143
§ 3.3 项目 2:一阶控制系统的动态性能分析	47	§ 6.5 项目 4:采样控制系统的稳定性分析	150
§ 3.4 项目 3:二阶控制系统的动态性能分析	50	§ 6.6 项目 5:采样控制系统的性能分析	154
§ 3.5 项目 4:控制系统的稳态误差分析	59	本章小结	159
§ 3.6 项目 5:控制系统的时域分析应用	66	思考题与习题	159
本章小结	70	附录	161
思考题与习题	70	附录 I:MATLAB 语言及其在控制系统中的应用	161
第 4 章 控制系统的频域分析	72	附录 II:拉普拉斯变换	172
§ 4.1 预备知识:控制系统的频率特性	72	参考文献	176

第1章 绪 论

知识要求

1. 了解控制理论的发展史及现状;
2. 明确自动控制和自动控制系统的基本概念;
3. 掌握自动控制系统的控制方式;
4. 了解自动控制理论在工程中的应用;
5. 明确自动控制系统的基本类型;
6. 明确对自动控制系统性能的要求。

技能要求

1. 了解自动控制理论的有关概念和发展应用,具备简单自动控制系统控制过程分析能力;
2. 了解 MATLAB 软件的主要功能及其在自动控制系统分析与设计中的应用。

§ 1.1 自动控制理论的发展史及内容

一、引言

科学技术的发展历史表明:科技发展的根本动力是人类总是设法将今天的工作交给明天的机器去完成。在实现机器代替人类工作的过程中,自动控制技术始终是最核心的技术之一。所谓的控制是指通过施加特定的操作量,改造被控系统的性能,使其最大限度地满足特定需要的理论与技术的总称。自动控制就是不需要人工干预的控制,它通过自动化装置代替人对系统进行控制,使之达到预期的状态或性能指标。

自动控制的思想可以追溯到公元前,自动化装置也早在控制论形成之前就已存在。公元前 235 年,我国马钧研制出用木质齿轮传动的指南车,见图 1.1。

可以看出指南车上设置一个“仙人”,其主要功能是在指南车出发前,若将“仙人”的手指向南方,那么出发后无论指南车怎么转弯,“仙人”的手始终自动指向南方。从其工作原理来看,指南车实际上就是根据扰动控制原理制成的。也就是说,将车身改变的方向当作扰动,车身改变多大角度,“仙人”的手向相反的方向改变同样的角度。而这个改变过程是由木质齿轮自动完成的。

指南车虽然使用了自动控制技术,但是由于当时人们不懂其工作原理,所以这项技术很快就

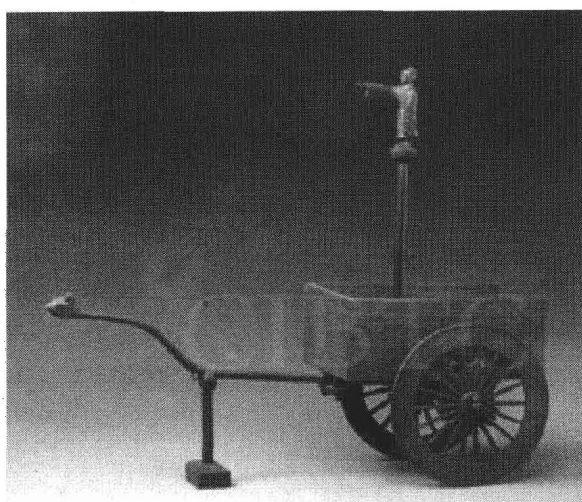


图 1.1 我国古代的指南车模型

失传了。自动控制技术真正得到广泛应用却开始于工业革命时期。18 世纪,詹姆斯·瓦特 (James Watt) 发明了蒸汽机,并于 1788 年设计出了离心调速器(见图 1.2)。离心调速器的工作原理是在转轴上固定两个金属飞球,当转轴旋转起来以后,因为离心力的作用,金属飞球就会往外张。张起的飞球可以带动下面的套筒往上移动,这个套筒再带动执行机构动作,来自动调节进汽阀门的开度,从而控制蒸汽机速度。采用机械式调节原理实现对蒸汽机速度的反馈控制,是自动控制技术应用的一个里程碑。

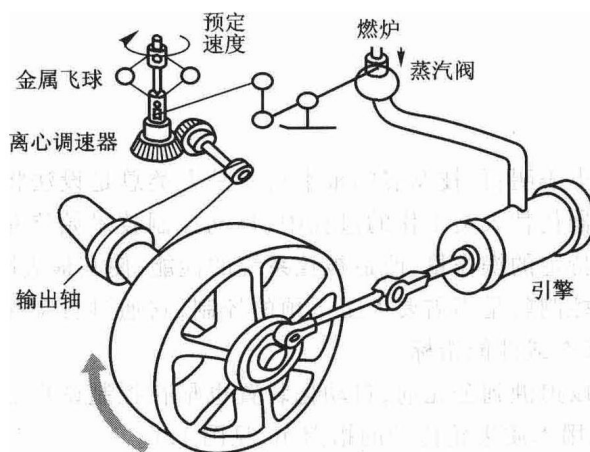


图 1.2 离心调速器的工作原理

时至今日,自动化概念已家喻户晓,控制技术已经渗透到人类生活的各个领域,如微小的基因和分子控制、微生物发酵控制、过程控制中的温度/流量控制、工厂机械控制、卫星姿态和轨道控制、城市交通控制、气象控制、环境和生态控制,等等。人类社会已经由手工时代、机械化时代

过渡到了自动化时代,而且正在向智能化阶段发展,人们也正在自觉不自觉地享受着自动化技术带来的便捷和乐趣。

二、自动控制理论的发展史及内容

1. 经典控制理论的发展及其特点

回顾控制理论的发展历史,不难发现控制理论主要经历了经典控制理论、现代控制理论两个发展阶段。经典控制理论始于 20 世纪初,1922 年迈诺斯基(Minorsky)研制出船舶操纵自动控制器,并且证明了如何从描述系统的微分方程中确定系统的稳定性。1932 年,奈奎斯特(Nyquist)根据系统在稳态正弦输入下的开环响应,提出了一种相当简便的确定闭环系统稳定性的办法。1940 年,伯德(Bode)引入半对数坐标系,把复数运算转换成代数运算,大大地简化了频率特性的分析。1942 年,哈里斯(Harris)引入传递函数的概念。1948 年,伊万斯(W. R. Ewans)提出并完善了根轨迹法。至此,经典控制理论已经成熟。

根据经典控制理论能够设计出许多可行性控制系统中的一种,可以保证该系统稳定运行,且控制系统能够满足一定的性能要求。经典控制理论具有以下特点。

① 主要以单输入-单输出线性定常系统为研究对象。

② 基于传递函数的经典控制方法难以揭示系统内部的动态行为,主要研究系统的外部特性。

③ 以拉氏变换和多项式代数为数学工具,利用 Bode 图、Nyquist 曲线、根轨迹等方法对控制系统进行分析与综合。

2. 现代控制理论的发展及其特点

20 世纪 50 年代,人类开始探索太空。核能技术、空间技术得到空前的发展,控制对象越来越复杂,控制性能要求越来越高。经典控制理论虽然可以设计出满足一定工程要求的控制系统,但是仅仅依靠系统的外部信息来设计控制系统,其性能难以满足航空航天控制的要求。经典控制理论受到挑战,人们不得不去寻求新的控制方法,以满足复杂对象的控制需求。

从 20 世纪 50 年代开始,控制系统的设计问题从设计许多可行系统中的一种系统,转变为设计某种意义上的一种最佳系统。1956 年,前苏联学者庞特里亚金给出极大值原理。同年,美国学者贝尔曼(R. Bellman)等人应用动态规划理论讨论了有约束的最优控制问题。1960 年,卡尔曼(R. E. Kalman)应用状态空间法研究了满足二次型性能指标的最优控制问题,并提出了可控性与可观性等新概念。数字计算机的出现及广泛使用为适时地解决大规模数值分析问题提供了保证。一些新的控制技术得以实现,如基于极大值原理和动态规划的最优控制、Kalman 滤波技术、自适应控制技术相继出现,于 20 世纪 70 年代前后形成了现代控制理论。

现代控制理论采用状态空间这种内部描述取代先前的传递函数外部输入-输出描述,对系统的分析与综合直接在时域内进行。状态空间法可以同时适用于单输入-单输出和多输入-多输出系统、定常系统和时变系统。而建立在状态空间法基础上的可控性、可观性的引入,导致了系统分析和综合在指导原则上的一种根本性的变化。它集中表现在用系统的“内部研究”代替了传统的“外部研究”,并使分析和综合过程建立在严格的理论基础上。与经典控制理论相比,现代控制理论具有以下特点。

- ① 以多变量线性系统为主要研究对象。
- ② 以时域法,特别是状态空间法为主要研究方法。
- ③ 以现代数学方法为系统主要分析手段。
- ④ 以计算机为主要实现工具。

3. 智能控制理论的产生

经典控制器都是基于被控对象的数学模型来设计的,因此,控制系统的性能很大程度上取决于模型的精确性。现代控制理论虽然解决了多变量系统的控制问题,但其分析和综合方法也是建立在对象数学模型的基础上。特别是当对象参数发生变化后,控制系统的性能随之下降。尽管自适应控制、鲁棒控制等方法能够克服一些不确定性的影响,但这些方法还是没有摆脱基于数学模型的定量化思想。而在现实生活中,对于一些非线性、时变、不确定性系统,往往很难获得精确的数学模型,致使上述的控制理论难以取得理想的控制效果。另外,随着控制目标、任务的要求越来越高,控制系统的性能与系统设计的复杂性越来越成为不可调和的矛盾。

正因为如此,控制科学界多年来一直在探索新的控制方法来解决复杂系统的控制问题。在现实生活中,许多系统的复杂性主要表现为系统信息的模糊性、不确定性、随机性等。对于这样的复杂系统,无论是经典控制理论还是现代控制方法都难以取得理想的控制效果。但若采用人工操作,凭借人的知觉或经验对其进行控制,却能收到事半功倍的效果。于是,人们在想能否设计出像人一样的控制器,来解决这类复杂对象的控制问题?随着人工智能科学的发展,将人工智能与自动控制科学有机地融合起来,于是就产生了智能控制理论。

智能控制(Intelligent Control)理论开始于20世纪60年代,是在控制论、信息论、人工智能及计算机科学等基础上逐渐形成的一门交叉学科,是控制理论、人工智能和计算机科学相结合的产物。与传统控制理论相比,智能控制对于环境和任务的复杂性有更强的适应能力。

三、自动控制理论的发展进程及本课程的任务

传统控制理论虽然在社会实践中得到成功应用,但对于具有复杂性、不确定性、突变性的系统却显得力不从心。对于这样的复杂系统,与传统控制方法相比,人却显示出无与伦比的优势。于是,更多学者开始寻找能够模仿人的控制方法。正是在这种需求的推动下,于20世纪60年代出现了智能控制。

研究智能控制的目的是要设计制造出具有高智能水平的人工智能系统,以便在必要的场合能够用智能系统替代人去执行各种任务。进入20世纪90年代,关于智能控制的研究论文、著作、会议、期刊大量涌现,应用对象也更加广泛,从工业过程控制、机器人控制、航空航天器控制到故障诊断、管理决策等均有涉及,并取得了较好的效果。智能控制是在传统控制理论的基础上,吸取了人工智能的精华,借助于计算机技术,使被控系统自动地达到期望状态。在控制理论的发展进程中,智能控制属于控制理论发展的高级阶段,见图1.3。

进入21世纪,智能控制的研究已经进入了新的历史阶段。面对日益突出的控制对象复杂性、环境复杂性、控制目标复杂性,传统控制理论受到了前所未有的挑战。而在复杂系统控制中,智能控制以其良好的自组织、自适应能力发挥着越来越重要的作用。

面对众多的自动控制系统和深奥的自动控制理论,本书主要介绍经典控制理论。通过本书

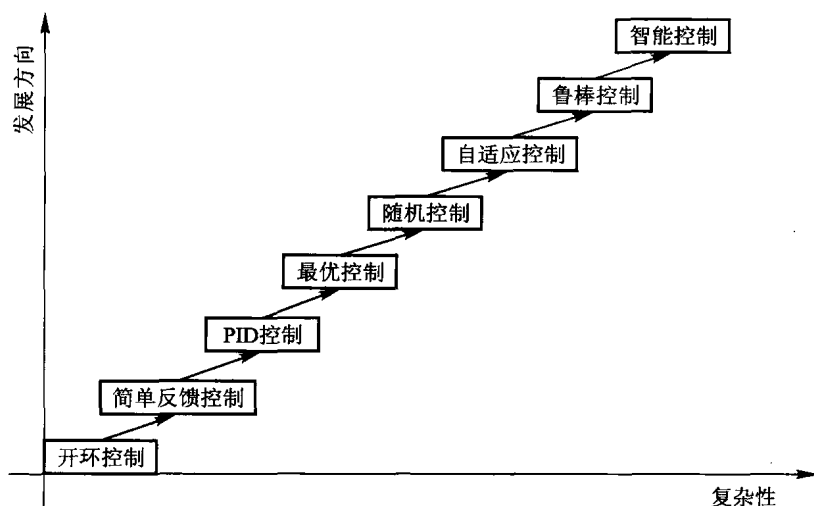


图 1.3 自动控制理论的发展进程

的学习,对自动控制系统的工作原理、数学模型、系统的校正和调试等知识的应用有一个相对完整的认识,通过相关知识的实际项目掌握自动控制系统的一般分析方法,为今后在自动控制技术领域工作奠定基础。

§ 1.2 自动控制的基本原理与方式

自动控制技术在现代工农业生产过程、国防、科技、医药乃至生活等各个领域都得到了广泛的应用。在自动控制系统中,虽然各种控制装置的具体任务不同,但其实质是一样的,即对被控对象的某些物理量进行控制,使其能满足特定要求,自动控制原理的研究对象是自动控制系统。本节从控制系统的概念、控制方式、自动控制系统的结构以及应用等方面入手,来介绍自动控制的基本原理。

一、自动控制技术及其应用

现代工业生产中,为达到质量和效益双提高、成本和污染双降低的目的,技术装备和生产过程必须采用自动控制技术。例如在发电厂的生产过程中,要想使发电机不受负载变化和原动机转速波动的影响而正常供电,就必须保持输出电压恒定;在数控机床的工作过程中,只有机床工作台和刀架的位置准确地跟随指令进给,才能加工出高精度的零件。自动控制是指在没有人直接参与的情况下,利用控制装置使被控对象的某一物理量自动地按照预定的规律运行的控制。可见,自动控制系统由控制装置和被控对象两大部分组成,自动控制示意图如图 1.4 所示。

实例 1.1 图 1.5(a)是一个液位控制系统原理图。在这里,自动控制器通过比较实际液位

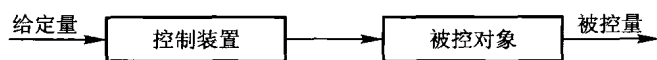
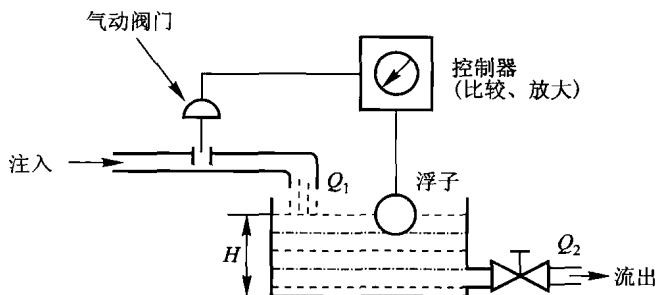
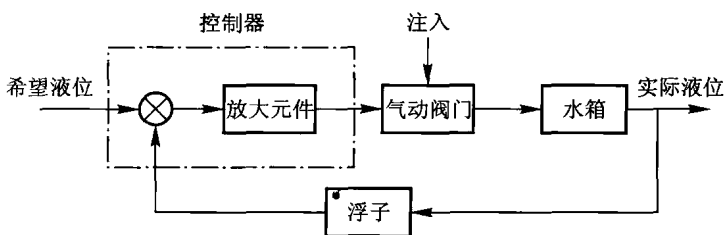


图 1.4 自动控制示意图

与希望液位,并通过调整气动阀门的开度,对误差进行修正,从而保持液位不变。图 1.5(b)是该控制系统的方框图。



(a) 液位控制系统原理图



(b) 液位控制系统方框图

图 1.5 液位控制系统的原理图和方框图

上例自动控制系统中,控制器是比较、放大的设备;浮子是液位高度的反馈元件;气动阀门是执行机构。 Q_2 为系统的干扰量。

请读者自己分析该系统如何实现没有人直接参与的液位自动控制过程。

二、自动控制的基本控制方式及结构

自动控制有两种基本的控制方式:开环控制和闭环控制。与这两种控制方式相对应的控制系统分别为开环控制系统和闭环控制系统。通过下面实际应用的例子,从中归纳出开环控制和闭环控制的特点。

1. 开环控制

实例 1.2 自动洗衣机的控制系统将定时器设定为 10 min,洗衣机达到设定值之前一直工

作;时间到了,洗衣机停止工作,其控制方框图如图 1.6 所示。

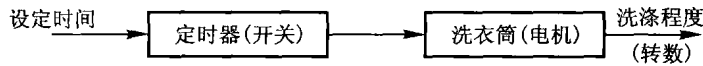


图 1.6 自动洗衣机的控制方框图

可见,设定时间只确定了开关时间长短,与衣物洗涤干净程度无关,即洗衣机不会根据衣物干净程度自动调整时间,控制装置与被控对象之间只有顺向(前向)作用。由此归纳出:开环控制是指控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向(反馈)作用的控制过程。开环控制的框图如图 1.7 所示。

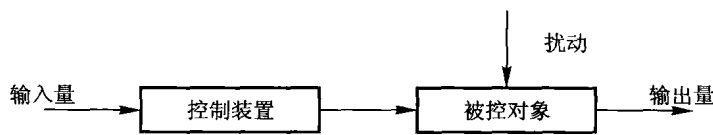


图 1.7 开环控制方框图

方框表示控制装置、被控对象;信号用线段表示,箭头表示信号的传递方向;进入方框的箭头表示输入信号(输入量);引出方框的箭头表示输出信号(输出量)。

开环控制的特点是结构简单,成本低,工作稳定,但开环控制不能自动修正被控制量偏差,系统结构和控制过程均很简单,其抗干扰能力差,控制精度不高,一般只用于对控制性能要求较低の場合。

实例 1.3 有一个发电机-电动机调速系统如图 1.8 所示。其工作原理是操纵者转动操纵电位计的手柄,可使电位计的输出电压 U_r 改变大小和方向。经前置放大器和直流发电机两极放大,使加在伺服电机上的端电压也随之改变大小和方向,从而使负载具有所要求的转速。画出方框图如图 1.9 所示。请自行分析该系统的给定值、被控量和干扰量。

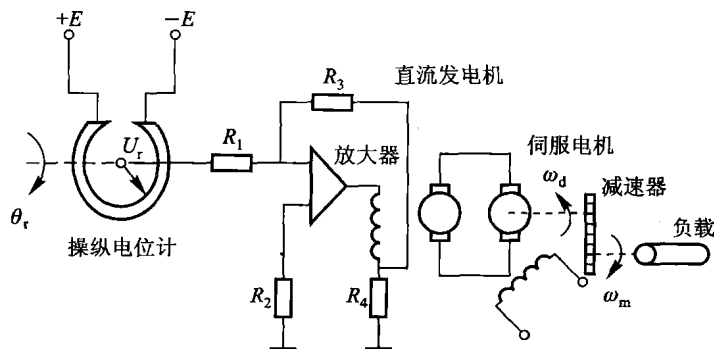


图 1.8 发电机-电动机调速系统

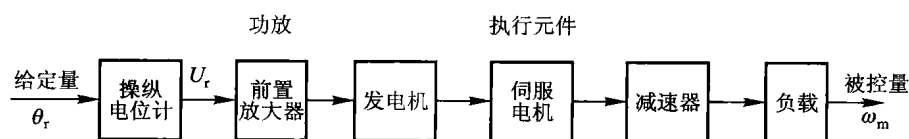


图 1.9 发电机 - 电动机调速系统方框图

2. 闭环控制(反馈控制)

分析以下实际应用例子,与实例 1.3 比较,归纳结论。

实例 1.4 如图 1.10 所示直流电动机转速控制系统工作原理图,该示意图反映的是采用转速负反馈的直流电动机调速系统。

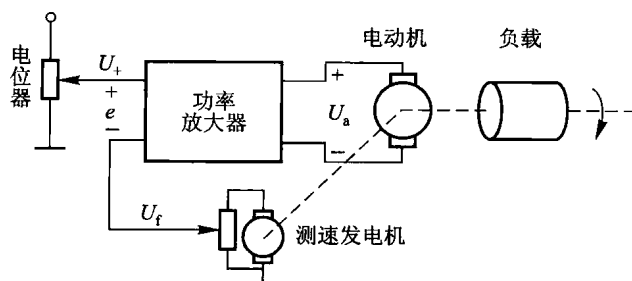


图 1.10 直流电动机转速控制系统工作原理图

与上述开环系统不同之处是,此处增加了作为测量装置的测速发电机以及分压电位器。电动机的转速 n 被其转换成反馈电压 U_f 并反馈至输入端,形成闭合环路,即闭环控制系统。加在功率放大器输入端的电压 e 为给定电压 U_+ 和 U_f 之差,即 $e = U_+ - U_f$ 为放大器的输入电压,所以闭环控制又常称为反馈控制或偏差控制。

在此闭环控制系统中,输出转速 n 取决于给定电压 U_+ 。但当电网电压波动、负载变化以及测量装置之外因素引起转速变化时,可以通过自动调整加以抑制,使转速基本维持恒定,调整过程为

$$n \downarrow \rightarrow U_+ \downarrow \rightarrow e \uparrow \rightarrow U_a \uparrow \rightarrow n \uparrow$$

闭环控制的特点是控制量与输出量之间既有前向通路,又有反馈通路。由输出量影响控制量对系统产生调节作用,所以闭环控制又称为反馈控制或按偏差控制。

闭环控制系统具有自动修正被控制量出现的偏差的能力,因此可修正元件、参数以及外界扰动引起的误差,能减小或消除由于扰动所形成的被控量的偏差值,因而具有较高的控制精度和较强的抗扰能力,但结构复杂,设计、分析麻烦。如温度自动控制系统,检测输出温度,产生控制信号,调节输出温度为要求值;雷达跟踪系统,根据飞机运动得到飞机的位置信号,控制雷达的方位角和俯仰角以跟踪飞机的飞行等,它们都是闭环控制系统。本书应用和讨论的主要是闭环控制系统。

另外,也可将闭环控制与按扰动补偿控制相结合,形成复合控制系统。

§ 1.3 控制系统的分类

随着自动控制技术的飞速发展和控制理论的日趋完善,自动控制的应用渗透到各个领域,出现了各式各样的控制系统。为了研究方便,从不同的角度对控制系统进行分类,分类的目的是为了选择恰当的方法对系统进行分析和设计。本书自动控制系统的分类方法如下。

一、按控制方式分

按控制方式,自动控制系统分为开环控制系统;闭环控制系统;反馈控制系统;复合控制系统。

二、按给定输入信号的变化规律分

按给定输入信号的变化规律,自动控制系统分为恒值系统、随动系统和程序控制系统。

若系统的给定值为一定值,而控制任务就是克服扰动,使被控量保持恒值,则为恒值系统;

若系统的给定值按照事先不知道的时间函数变化,并要求被控量跟随给定值变化,则为随动系统;

若系统的给定值按一定的时间函数变化,并要求被控量随之变化,则为程序控制系统。

三、按系统中元件的特性分

按系统中元件的特性,自动控制系统分为线性控制系统和非线性控制系统。

若一个系统中所有的元器件均为线性元器件,则该系统称为线性系统;

若系统中有一个非线性元器件,则该系统称为非线性系统。

四、按系统的数学模型分

按系统的数学模型,自动控制系统分为定常系统和时变系统。

从系统的数学模型来看,若微分方程的系数不是时间变量的函数,则称为定常系统,否则称为时变系统。

五、按系统中信号的形式分

按系统中信号的形式,自动控制系统分为连续控制系统和离散控制系统。

从系统中的信号来看,若系统中各部分的信号都是时间的连续函数即模拟量,则为连续控制系统;

若系统中有一处或多处信号为时间的离散函数,则为离散控制系统;
若系统中既有模拟量也有离散信号,则为采样控制系统。

六、按控制系统的功用分

按控制系统的功用,自动控制系统分为温度控制系统、压力控制系统、位置控制系统。
为了全面反映系统的特点,常常将上述分类方法结合应用。

§ 1.4 对自动控制系统性能的基本要求

一、自动控制系统性能的基本要求

自动控制系统在实际应用中,由于服务的对象千差万别,对系统性能的具体要求也有不同的要求。然而,自动控制理论是研究自动控制共同规律的一门课程,对于已知系统的结构和参数的各类系统,在某种典型输入信号下,其被控量变化的全过程,与对每一类系统被控量变化全过程提出的共同基本要求都是一样的,可以归纳为稳定性、快速性和准确性,即稳、准、快的要求。

1. 稳定性

稳定性是保证控制系统正常工作的先决条件,是评价系统能否正常工作的重要性能指标。对稳定的恒值系统要求当系统受到扰动后,经过一定时间的调整能够回到原来的期望值。对稳定的随动系统,被控制量始终跟踪参数量的变化。

稳定性是对系统的基本要求,不稳定的系统不能实现预定控制任务。线性系统的稳定性通常由系统的结构及参数决定,与外界因素无关。

如果系统受到干扰后偏离了原来的稳定工作状态,控制量与给定量之间的偏差越来越小,曲线是收敛的,如图 1.11 自动控制系统的阶跃响应曲线中的图(a)、图(b)所示,这样的系统是稳定系统。反之,如果系统受到干扰后偏离了原来的稳定工作状态,而控制装置却不能使系统恢复到希望的稳定状态,如图 1.11 自动控制系统的阶跃响应曲线中的图(c)所示,这样的系统是不稳定系统。

在系统稳定的前提下,要求其动态过程的振荡越小越好,且振幅和频率应有所限制,否则过大的波动将使系统中的运动部件由于超载而松动或被破坏。试比较图 1.11 自动控制系统的阶跃响应曲线中图(b)所示的两个系统稳定性情况。

2. 快速性

为了较好地完成控制任务,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。例如,高射炮射角随动系统,虽然炮身最终能跟踪到目标,但如果目标变动迅速,而炮身行动迟缓,炮弹仍然击不中目标。快速性表明了系统输出对输入响应的快慢程度,是通过动态过程时间长短来表征的。时间越短,表明快速性越好,反之亦然。试比较图 1.11 自动控制系统的阶跃响应曲线图(a)中的两个系统。

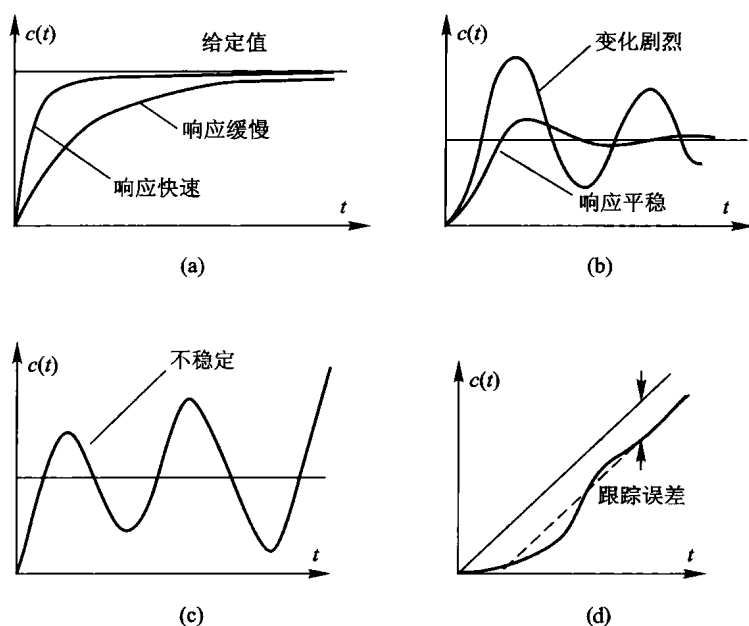


图 1.11 自动控制系统的阶跃响应曲线

3. 准确性

准确性是指控制系统过渡过程结束后,或系统受干扰重新恢复平衡状态时,被控量达到的稳态值与其期望值的偏差,用稳态误差来表示。如果在参考输入信号作用下,当系统达到稳态后,其稳态输出与参考输入所要求的期望输出之差叫做给定稳态误差。显然,这种误差越小,表示系统的输出跟随参考输入的精度越高。如图 1.11 自动控制系统的斜坡响应曲线图(d)中的跟踪误差。

由于被控对象具体情况的不同,各种系统对上述三方面性能要求的侧重点也有所不同。例如随动系统对快速性和稳态精度的要求较高,而恒值系统一般侧重于稳定性能和抗扰动的能力。在同一个系统中,上述三方面的性能要求通常是相互制约的。例如为了提高系统的动态响应的快速性和稳态精度,就需要增大系统的放大能力,而放大能力的增强必然促使系统动态性能变差,甚至会使系统变得不稳定。反之,若强调系统动态过程平稳性的要求,系统的放大倍数就应较小,从而导致系统稳态精度的降低和动态过程的缓慢。由此可见,系统动态响应的快速性、高精度与动态稳定性之间是一对矛盾。

二、本课程的任务

通过自动控制原理的学习,本课程所要研究的两大项目为:

1. 控制系统分析

对于一个具体的控制系统,建立控制系统的数学模型,从理论上对它的动态性能和稳态精度进行定性的分析和定量的计算。

2. 控制系统设计

根据对系统性能的要求合理地设计校正装置,使系统的性能全面地满足技术上的要求。

§ 1.5 MATLAB 软件及其应用简介

一、MATLAB 软件概述

在实际应用的控制工程中,控制系统的结构往往很复杂,如果不借助专用的系统建模软件,则很难准确地把一个控制系统的复杂模型输入计算机,对其进行进一步的分析与仿真。MATLAB 软件设计者的初衷是为了解决“线性代数”课程的矩阵运算问题,取名 MATLAB 即 Matrix Laboratory 矩阵实验室的意思。但 MATLAB 已经不仅仅是一个“矩阵实验室”了,它集科学计算、图像处理、声音处理于一身,并提供了丰富的 Windows 图形界面设计方法;它将一个优秀软件的易用性与可靠性、通用性与专业性、一般目的的应用与高深的科学技术应用有机地相结合;MATLAB 是一种直译式的高级语言,比其他程序设计语言更易学;MATLAB 是一种功能强大的计算机高级语言,具有强大的数学运算能力、方便实用的绘图功能及语言的高度集成性,它以超群的风格与性能风靡全世界,成功地应用于各工程学科的研究领域并且有着更广阔的应用前景和无穷无尽的潜能。MATLAB 具有功能强大、界面友好和开放性强的特点。

二、MATLAB 软件使用简介

MATLAB 软件的安装、启动方法和常用 Windows 软件基本相同,不再赘述。下面介绍 MATLAB 软件的操作界面与基本使用方法。

MATLAB 软件启动的初始界面如图 1.12 所示,除基本的菜单栏、工具条外,有 3 个最常用的界面(或窗口):指令窗(Command Window)、历史指令窗(Command History)和工作空间浏览器(Workspace)。各界面的基本情况如下所述。

1. 指令窗(Command Window)

缺省情况下,指令窗位于 MATLAB 桌面的右方,是用户与 MATLAB 进行人机对话的最主要环境。在该窗口内,可输入各种 MATLAB 的命令、函数、表达式等内容,显示除图形外的所有运算结果。

实例 1.5 求 $[10 + 5 \times (8 - 2)] \div 2^2$ 算术运算的结果。

解:在指令窗中输入

```
>> (10 + 5 * (8 - 2)) / 2^2
```

按回车键(Enter)后,显示命令执行结果如图 1.13 所示。

说明:

- 命令行行首的符号 >> 是命令输入提示符,它不需要用户输入,由 MATLAB 自动生成;
- MATLAB 运算符 +、-、*、/、^ 分别表示加、减、乘、除和次幂,详见本书附录;