

全国机械行业高等职业教育“十二五”规划教材
高等职业教育教学改革精品教材

自动控制技术 项目教程

ZIDONG KONGZHI JISHU
XIANGMU JIAOCHENG

贺力克 邱丽芳 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS


针对教材使用者
赠·电子教案

全国机

高等职业教育教学改革精品教材

育“十二五”规划教材

自动控制技术项目教程

主 编 贺力克 邱丽芳
副主编 黄立峰 刘 峥
参 编 张志田 何其文 王彦石
主 审 李德尧

常州大学图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书是根据国家示范性高职院校的课程建设要求,按照项目引导和任务驱动的原则进行编写的,对每一个项目提出了明确的知识目标、能力目标和素质目标。

本书将自动控制原理和自动控制系统融合在自动控制技术项目任务中,介绍了自动控制系统的基本概念;结合直流调速系统和位置随动系统着重叙述了自动控制系统的工作原理、自动调节过程、数学模型的建立及系统性能(稳定性、稳态性能和动态性能)的分析,介绍了系统校正的作用和方法;同时以转差功率不变型调速系统——异步电动机变频调速系统为主,介绍了交流调速系统;还介绍了 MATLAB 在自动控制中的应用。通过项目任务的完成,提高学生对自动控制技术的理解,使学生能综合运用所学知识完成自动控制系统的建立、分析、校正和仿真。

本书为全国机械行业高等职业教育“十二五”规划教材,可作为高职、高专和各类成人教育院校机电、电气、电子、航天及化工等专业的“自动控制技术”“自动控制原理”“自动控制系统”及“自动控制原理和系统”等课程的教材,也可供从事自动控制方面的工程技术人员参考。

本教材配有电子教案,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 下载。咨询邮箱: cmpgaozhi@sina.com。咨询电话:010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制技术项目教程/贺力克,邱丽芳主编. —北京:机械工业出版社,2013.9

全国机械行业高等职业教育“十二五”规划教材 高等职业教育教学改革精品教材

ISBN 978-7-111-41087-4

I. ①自… II. ①贺…②邱… III. ①自动控制—高等职业教育—教材
IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 050777 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:崔占军 边 萌 责任编辑:边 萌 苑文环

版式设计:霍永明

责任校对:樊钟英

封面设计:鞠 杨

责任印制:张 楠

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·11.25 印张·273 千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-41087-4

定价:23.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前言

本书是根据国家示范性高职院校的课程建设要求,以典型的自动控制系统为载体,以工作过程为导向,以任务驱动为主要教学方法而编写的。本书内容包括:认识自动控制系统、自动控制系统的数学模型、时域分析法、频域分析法、自动控制系统的校正、直流调速系统、位置随动系统、交流调速系统及 MATLAB 在自动控制中的应用。本书以工作任务为中心组织内容,对每一个项目提出了明确的知识目标、能力目标和素质目标,使学生在完成项目的过程中构建相关的理论知识,提高实践能力。本书融合相关职业资格证书对知识、技能和态度的要求,构建了基于工作过程的课程内容。

根据当今计算机与微机控制的广泛使用、新的自控软件的广泛应用、电力电子器件的更新、交流调速取代直流调速等高新技术的发展趋势和高等职业教育的特点,本书在编写过程中以培养学生的技术应用能力为目的,以方法论为主线,尽量简化理论推导,注重物理概念的阐述与分析。本书中主要的理论教学内容都配有相关的实例分析,做到理论联系实际,学以致用。书中的习题安排了较多的读图练习,有利于学生自学能力、分析能力和实践能力的提高。

建议本书的教学学时为 80 学时。每个项目的时间安排可根据项目内容的多少而定,教学项目评价以形成性考核为主,考查学生在项目任务中表现出来的能力,重点考察运用知识解决实际问题的能力。学生考核成绩采取项目评价与总体评价相结合、理论知识考核与实践操作考核相结合的形式,注重动手实践能力。总之,编者力图使学生学完本教材后能获得作为高素质技能型专门人才所必须掌握的“自动控制技术”的基本知识和实际技能,为后续课程的学习和应用打下坚实的基础。

贺力克、邱丽芳负责本书的编写思路与大纲的总体规划,并对全书进行整理、修改和定稿。项目一由刘峰编写、项目二、项目三由贺力克编写,项目四由何其文编写,项目五由王彦石编写,项目六由邱丽芳编写,项目七、项目九由黄立峰编写,项目八由张志田编写。全书由李德尧审阅,他对本书提出了许多宝贵意见。此外,在编写本书的过程中,还参阅了大量的同类教材,部分资料和图片来自互联网,在这里一并表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在错误或不妥之处,敬请广大读者批评指正(编者邮箱:HLK6666@126.com,QQ:1758526597)。

三、相关知识

所谓控制系统(Control System)就是通过执行规定的功能来实现某一预定目标的一些

目 录

前言

项目一 认识自动控制系统	1
任务一 初识自动控制系统	1
任务二 了解自动控制系统的分类	4
任务三 对自动控制系统性能的要求	6
任务四 自动控制技术的发展历史	7
小结	8
思考与练习	9
项目二 自动控制系统的数学模型	11
任务一 初步认识数学模型	11
任务二 典型环节的传递函数和功能框图	16
任务三 自动控制系统的框图	23
任务四 系统的闭环传递函数	28
小结	31
思考与练习	32
项目三 时域分析法	34
任务一 典型输入信号和动态性能指标	34
任务二 控制系统的稳定性分析	38
任务三 控制系统的动态性能分析	42
任务四 控制系统的稳态误差分析	52
小结	59
思考与练习	60
项目四 频域分析法	63
任务一 认识频率特性	63
任务二 典型环节的对数频率特性	67
任务三 系统的开环对数频率特性	74
小结	77
思考与练习	78
项目五 自动控制系统的校正	80
任务一 校正的基本知识	80
任务二 串联校正	82
任务三 反馈校正	89

任务四 复合校正	90
小结	92
思考与练习	92
项目六 直流调速系统	93
任务一 转速负反馈晶闸管直流调速系统	93
任务二 转速和电流双闭环直流调速系统	98
任务三 直流脉宽调速系统	102
任务四 晶闸管可逆直流调速系统	107
任务五 转速、电流双闭环数字式直流调速系统	109
小结	111
思考与练习	112
项目七 位置随动系统	115
任务一 什么是位置随动系统	115
任务二 位置信号的检测元件及执行元件	118
任务三 火炮随动系统	124
任务四 直流位置随动系统	128
任务五 数控机床的伺服系统	132
小结	135
思考与练习	135
项目八 交流调速系统	136
小结	154
思考与练习	155
项目九 MATLAB 在自动控制中的应用	156
任务一 初识 MATLAB	156
任务二 MATLAB 在自动控制系统中的应用	162
小结	173
思考与练习	173
参考文献	174

项目一 认识自动控制系统

教学要点

- (1) 自动控制系统的认识。
- (2) 自动控制技术的基本知识。

教学目标

知识目标：(1) 了解开、闭环控制的特点。

(2) 了解自动控制系统的分类。

(3) 了解自动控制系统的性能指标和研究方法。

能力目标：(1) 能掌握开、闭环控制的特点。

(2) 能掌握自动控制系统的分类、性能指标和研究方法。

素质目标：(1) 培养自学能力。

(2) 培养文献检索、资料查找与阅读的能力。

教学内容

(1) 开、闭环控制的特点。

(2) 初识自动控制系统。

(3) 自动控制系统的分类。

(4) 自动控制系统的性能指标。

(5) 自动控制系统的研究方法。

任务一 初识自动控制系统

一、任务引入

通过区别开环控制和闭环控制来了解开环控制系统和闭环控制系统，从而步入自动控制技术的大门。

二、任务分析

从开环控制和闭环控制的特点入手，来区分开环控制系统和闭环控制系统。

三、相关知识

所谓控制系统 (Control System) 就是通过执行规定的功能来实现某一给定目标的一些

相互关联单元的组合。由专人直接或间接操作执行装置的控制方式称为手动控制 (Manual Control); 而无需专人去直接或间接操纵执行机构, 利用控制装置控制被控制量自动地按预定的规律变化的过程则称为自动控制 (Automatic Control)。

自动控制系统一般有两种基本结构, 对应着两种基本控制方式, 即开环控制和闭环控制。

1. 开环控制

控制装置与受控对象之间只有顺向作用而无反向联系时, 称为开环控制, 相应的控制系统称为开环控制系统, 如图 1-1 所示。

【实例 1-1】简单的电动机转速控制系统如图 1-2 所示。



图 1-1 开环控制系统

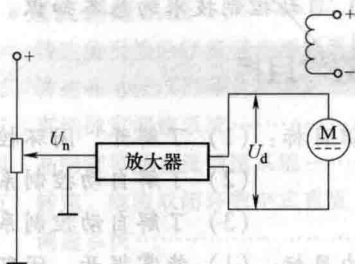


图 1-2 开环控制的调整系统

本例中, 受控对象为电动机, 控制装置为电位器、放大器。当改变给定电压 U_n 时, 经放大器放大后的电压 U_d 随之变化, 作为被控量的电动机转速 n 亦随之变化。就是说, 系统正常工作时, 应由 U_n 来确定 n 。

若由于电网电压波动或负载改变等扰动量的影响使得转速 n 发生变化, 而这种变化未能被反馈至控制装置并影响控制过程, 则系统将无法克服由此产生的偏差。

开环控制的特点是: 系统结构和控制过程均很简单, 但由于这类系统无抗扰动能力, 因而其控制精度较低, 大大限制了它的应用范围。开环控制一般只能用于对控制性能要求不高的场合, 特别是当无法预计的扰动因素使输出量产生的偏差超过允许的限度, 因而其控制精度较低, 大大限制了它的应用范围。因此, 当无法预计的扰动因素使输出量产生的偏差超过允许的限度时, 开环控制系统便无法满足技术要求, 这时就应考虑采用闭环控制系统。

2. 闭环控制

控制装置与受控对象之间不但有顺向作用, 而且还有反向联系, 即有被控量对控制过程的影响, 这种控制称为闭环控制, 相应的控制系统称为闭环控制系统, 如图 1-3 所示。

【实例 1-2】采用转速负反馈的直流电动机调速系统如图 1-4 所示。

此系统与上述开环控制系统不同的是, 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, 形成闭合回路。加在放大器输入端的电压 e 为给定电压 U_n 与 U_f 的差值, 即

$$e = U_n - U_f$$

此闭环控制系统中, 输出转速 n 取决于给定电压 U_n 。对于由电网电压波动, 负载变化以及除测量装置之外的其他部分的参数变化所引起的转速变化, 都可以通过自动调整加以抑制。例如, 如果由于以上原因使得转速下降 ($n \downarrow$), 将通过以下的调节过程使 n 基本维持恒定。

$$n \downarrow \rightarrow U_f \downarrow \rightarrow e \uparrow \rightarrow U_d \uparrow \rightarrow n \uparrow$$



图 1-3 闭环控制系统

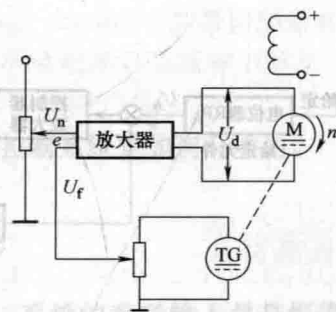


图 1-4 闭环控制的调速系统

【实例 1-3】 水位控制系统。

(1) 系统的组成 图 1-5 为一个水位控制系统的示意图。由图可知，系统的控制对象是水箱（而不是控制阀）。被控制量（或输出量）是水位高度 H （而不是 Q_1 或 Q_2 ）。使水位高度 H 发生改变的外界因素是用水量 Q_2 ，因此， Q_2 为负载扰动量（它是主要扰动量）。使水位能保持恒定的可控因素是给水量 Q_1 ，因此， Q_1 为主要扰动量（理清 H 与 Q_1 、 Q_2 间的关系，是分析本系统组成的关键）。

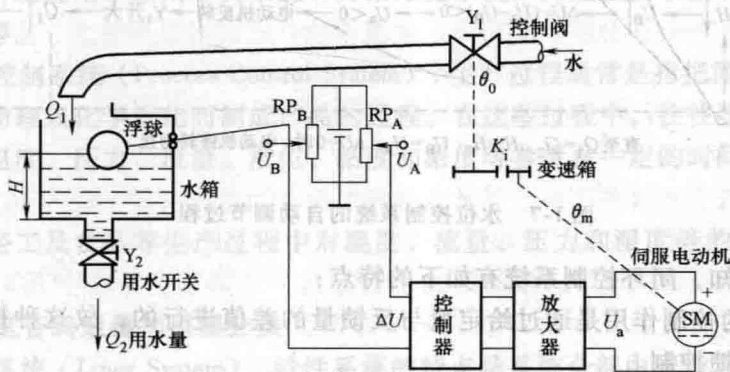


图 1-5 水位控制系统示意图

控制 Q_1 的是由电动机驱动的控制阀 Y_1 ，因此，电动机—变速箱—控制阀便构成了执行元件。

电压 U_A 由给定电位器 RP_A 给定（电位器 RP_A 为给定元件）。 U_B 由电位器 RP_B 给出， U_B 的大小取决于浮球的位置，而浮球的位置取决于水位高度 H 。因此，由浮球—杠杆—电位器 RP_B 就构成水位的检测和反馈环节。 U_A 为给定量， U_B 为反馈量， U_B 与 U_A 极性相反，所以为负反馈。 U_A 与 U_B 的差值即为偏差电压 ΔU ($\Delta U = U_A - U_B$)，此电压经控制器与放大器放大后即成为伺服电动机的控制电压 U_a 。

根据以上的分析，可得系统的组成框图，如图 1-6 所示。

(2) 工作原理 当系统处于稳态时，电动机停转， $\Delta U = U_A - U_B = 0$ ，即 $U_B = U_A$ ；同时 $Q_1 = Q_2$ ， $H = H_0$ （稳定值，它由 U_A 给定）。若用水量 Q_2 增加，则水位高度 H 将下降，通过浮球及杠杆的反馈作用，将使电位器 RP_B 的滑动点上移， U_B 将增大；这样 $\Delta U = U_A -$

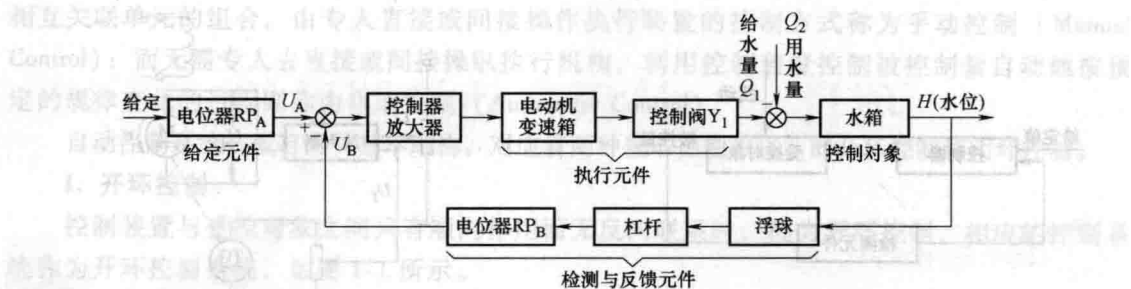


图 1-6 水位控制系统的组成框图

$U_B < 0$ ，此电压经过放大后，使伺服电动机反转，再经减速后，驱动控制阀 Y_1 ，使阀门开大（这是安装时做成的），从而使给水量 Q_1 增加，水位不再下降，且逐渐上升恢复到原位。这个自动调节的过程一直要持续到 $Q_1 = Q_2$ ， $H = H_0$ （恢复到原水位）， $U_B = U_A$ ， $\Delta U = 0$ ，电动机停转为止。

(3) 自动调节过程 水位控制系统的自动调节过程如图 1-7 所示。

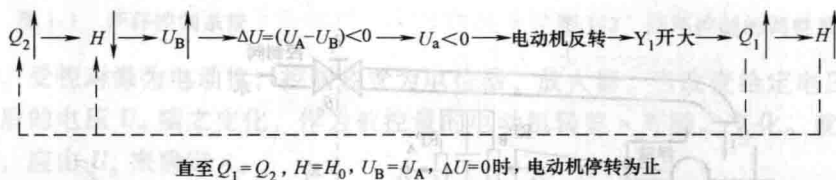


图 1-7 水位控制系统的自动调节过程

由上述实例可知，闭环控制系统有如下的特点：

- 1) 由于系统的控制作用是通过给定量与反馈量的差值进行的，故这种控制常称为按偏差控制，又称为反馈控制。
- 2) 这类系统具有两种传输信号的通道：由给定值至被控量的通道称为前向通道；由被控量至系统输入端的通道称为反馈通道。
- 3) 不论取什么物理量进行反馈，作用在反馈环内前向通道上的扰动引起的被控量偏差值都会得到减小或消除，使得系统的被控量基本不受该扰动的影响。反馈控制可以进行补偿，这是闭环控制一个突出的优点。正是由于这种特性，使得闭环控制系统在控制工程中得到了广泛的应用。

自动控制原理中所讨论的系统主要是闭环控制系统。另外，也可将闭环控制与补偿控制相结合，形成复合控制。

任务二 了解自动控制系统的分类

一、任务引入

想要了解自动控制系统，首先应了解它的分类。下面就来学习自动控制系统分类的相关

知识。

二、任务分析

从自动控制系统的分类依据着手来明确地认识自动控制系统是如何分类的。

三、相关知识

1. 按给定信号的形式分类

(1) 恒值控制系统 (Fixed Setpoint Control System) 系统的参考输入量是恒值, 并要求系统的输出量相应地保持恒定。

恒值控制系统是最常见的一类自动控制系统, 如自动调速系统, 恒温控制系统, 恒张力控制系统, 以及工业生产中的恒压 (压力)、稳压 (电压)、稳流 (电流) 和恒频 (频率) 自动控制系统等。

(2) 随动系统 (Follow-Up Control System) [又称伺服系统 (Servo System)] 这种控制系统的输入量是变化着的 (有时是随机的), 并且要求系统的输出量能跟随输入量的变化而变化。这种控制系统通常以功率很小的输入信号操纵大功率的工作机械。

随动系统广泛应用于船闸牵曳系统、刀架跟随系统、火炮控制系统、雷达导引系统和机器人控制系统等。

(3) 过程控制系统 (Process Control System) 生产过程通常是指把原料放在一定的外界条件下, 经过物理或化学变化而制成产品的过程。在这些过程中, 往往要求自动提供一定的外界条件, 如温度、压力、流量、液位、粘度和浓度等参量在一定的时间内保持恒值或按一定的程序变化。

在化工、轻工及食品等生产过程中对温度、流量、压力和湿度等的控制就是过程控制系统。

2. 按系统是否满足叠加原理分类

(1) 线性系统 (Liner System) 线性系统的特点是系统全部由线性元件组成。线性系统的性能可以用线性微分方程来描述, 其最重要的特性是可以应用叠加原理, 同时也可以应用拉普拉斯变换。

(2) 非线性系统 (Non Liner System) 非线性系统的特点是系统中存在非线性元件 (如具有死区、饱和及含有库仑摩擦等非线性特性的元件), 要用非线性微分方程来描述。非线性系统不能应用叠加原理。分析非线性系统的工程方法常用相平面法和描述函数法。

3. 按系统参数是否随时间变化分类

(1) 定常系统 [又称时不变系统 (Time-Invariant System)] 定常系统的特点是系统的全部参数不随时间变化, 它用常微分方程来描述。

(2) 时变系统 (Time-Varying System) 时变系统的特点是系统中有的参数是时间 t 的函数, 它随时间的变化而改变。

4. 按信号传递的形式分类

(1) 连续控制系统 (Continuous Control System) [又称为模拟控制系统 (Analogue Control System)] 系统中各组成部分元件的输入量与输出量都是连续量或模拟量。连续系统的运动规律通常可用微分方程来描述。

(2) 离散控制系统 (Discrete Control System) [又称采样数据系统 (Sampled Data Control System)] 系统中有的信号是脉冲序列、采样数据或数字量。

任务三 对自动控制系统性能的要求

一、任务引入

要使自动控制系统正常工作，对系统性能就会有一定的要求。本任务通过对系统性能指标的学习加深对自动控制系统技术品质的认识。

二、任务分析

通过对自动控制系统性能及其判断方法的学习，提出对自动控制系统性能的要求。

三、相关知识

各种自动控制系统有时为了完成一定任务，常要求被控量必须迅速而准确地随给定量的变化而变化，并且尽量不受任何扰动的影响。然而，在实际控制系统中，因控制对象和控制装置以及各功能部件的特征参数匹配不同，系统在控制过程中差异很大，甚至因匹配不当而不能正常工作。因此，工程上对自动控制系统的性能提出了一些要求，主要有以下三个方面。

1. 稳定性 (Stability)

稳定性是指系统受到外作用后，其动态过程的振荡倾向和恢复平衡的能力。当扰动作用 (或给定值发生变化) 时，系统的输出量将会偏离原来的稳定值，这时，由于反馈环节的作用，通过系统内部的自动调节，系统能回到 (或接近) 原来的稳定值 (或跟随给定值) 稳定下来，则称系统是稳定的，如图 1-8a 所示；如果由于内部的相互作用，使系统出现发散而处于不稳定状态，则称系统是不稳定的，如图 1-8b 所示。

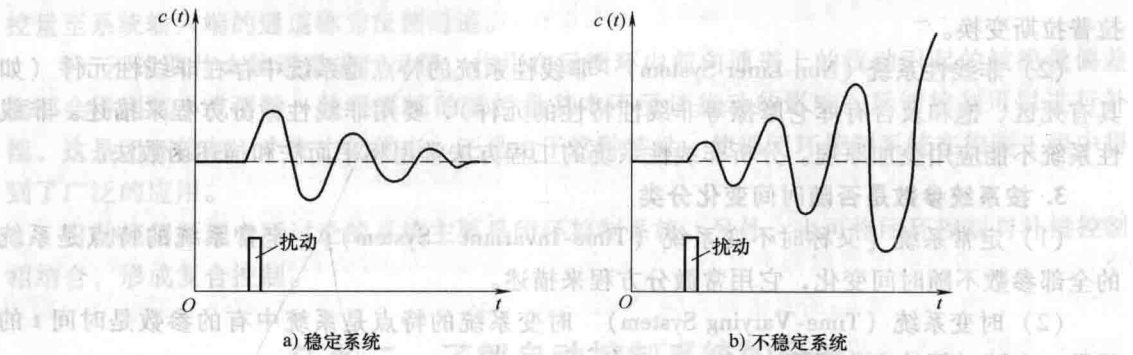


图 1-8 稳定系统和不稳定系统

显然，不稳定的系统是无法进行工作的，因此，对于任何自动控制系统，首要的条件便是系统能稳定正常地运行。另外，对于系统稳定性的要求是要达到一定的稳定裕量，以免由

于系统参数随环境等因素的变化而导致系统进入不稳定状态。

2. 快速性

快速性是通过动态过程的时间长短来表征的,如图 1-9 所示。过渡过程时间越短,表明快速性越好。快速性表明了系统输出 $c(t)$ 对输入 $r(t)$ 响应的快慢程度。系统响应越快,说明系统的输出复现输入信号的能力越强。

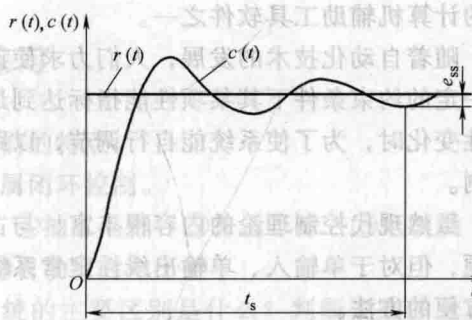


图 1-9 系统对突加给定信号的动态响应曲线

3. 准确性

对于稳定系统,输出的稳态值与期望值之间的偏差称为系统的稳态误差 e_{ss} ,如图 1-9 所示。系统稳态误差的大小反映了系统的稳定精度,说明了系统的准确程度。

通常,这些性能指标要求在同一个系统中往往是相互矛盾的。这时,就需要根据具体对象所提出的要求对其中的某些指标有所侧重,同时又要注意统筹兼顾。此外,在考虑提高系统性能指标的同时,还要考虑系统的可靠性和经济性,就是要考虑系统性能指标作为衡量自动控制系统技术品质的客观标准,它是订货、验收的基本依据,也是技术合同的基本内容。

任务四 自动控制技术的发展历史

一、任务引入

通过了解自动控制技术的发展历史,明确学习自动控制技术的必要性和重要性。

二、任务分析

从自动控制技术的发展历史入手,了解它是如何发展的。

三、相关知识

自动控制技术已广泛地应用于工业、农业、国防、交通运输、空间技术及管理工程等各种科学技术领域。尽管自动控制系统种类繁多,结构和用途各异,但他们的基本原理是一样的。自动控制理论就是建立在各种自动控制系统之上的一门学科,它是分析、设计和调试自动控制系统的理论基础。

具有自动功能的装置自古有之,瓦特发明的蒸汽机上的离心调速器是运用反馈原理进行设计并取得成功的首例。麦克斯韦对它的稳定性进行分析,于 1868 年发表的论文当属最早的理论依据。从 20 世纪 20 年代到 40 年代形成了以时域法、频域法和根轨迹法为主要内容的古典控制理论。20 世纪 60 年代以后,随着计算机技术的发展和航天等高科技的推动,又产生了基于状态空间模型的现代控制理论。特别是 20 世纪 80 年代后, MATLAB 软件的开发与应用使得自动控制的研究方法发生了深刻的变化。功能强大的 MATLAB 软件使自动控制系统的仿真与设计变得简单、精确和灵活,如今, MATLAB 已成为自动控制领域应用最广

泛的计算机辅助工具软件之一。

随着自动化技术的发展,人们力求使设计的控制系统达到最优的性能指标,为了使系统在一定的约束条件下其某项性能指标达到最优而实行的控制,称为最优控制。当对象或环境特性变化时,为了使系统能自行调节,以跟踪这种变化并保持良好的品质,又出现了自适应控制。

虽然现代控制理论的内容很丰富,与古典控制理论相比较,它能解决更多更复杂的控制问题,但对于单输入、单输出线性定常系统而言,用古典控制理论来分析和设计,仍是最实用方便的方法。

真正优良的设计必须允许模型的结构和参数不精确并可能在一定范围内变化,即具有鲁棒性。这是当前的重要前沿课题之一。另外,使理论实用化的一个重要途径就是数学模拟(仿真)和计算机辅助设计(CAD)。

近年来,非线性系统理论、离散事件系统理论、大系统和复杂系统理论等方面均有不同程度的发展。智能控制在实用方面也得到了快速的发展,它主要包括专家系统、模糊控制和人工神经网络等内容。

总之,自动控制理论正随着技术和生产的发展而不断发展,而它反过来又成为高新技术发展的重要理论根据。本书所介绍的内容是该理论中最基本的也是最重要的内容,即古典理论部分,它在工程实践中用得最多,也是进一步学习自动控制理论的基础。

在自动控制系统方面,本书将通过典型的自动控制系统和实例分析,来阐述如何分析系统的组成,学习系统的工作原理、工作特点和自动调节过程,以及如何建立系统的数学模型和怎样应用自动控制原理来分析系统的性能,探讨改善系统性能的途径。通过学习本书的内容,使读者掌握对自动控制系统的一般分析方法,为读者在自动控制技术方面打下一个初步的但非常重要的基础。

小 结

(1) 自动控制就是在没有人直接参与的情况下,利用控制装置操纵受控对象,使被控量等于给定值。

(2) 自动控制的基本方式有开环控制和闭环控制两种。开环控制实行起来简单,但抗扰能力较差,控制精度也不高。自动控制原理中主要讨论闭环控制方式,其主要特点是抗扰能力强,控制精度高,但存在能否正常工作即稳定与否的问题。

(3) 根据需要,可将自动控制系统按照不同的分类方法进行分类。

(4) 一般地,可从稳(能否正常工作)、快(快速响应能力)、准(控制精度)等几方面的性能来评价自动控制系统。这几方面的性能往往是相互制约的,因而需根据不同的工作任务来分析和设计自动控制系统,使其在满足主要性能要求的同时,兼顾其他性能。

(5) 自动控制理论是分析和设计自动控制系统的理论基础,大致可分为古典控制理论和现代控制理论两大部分,本书主要介绍古典控制理论。随着生产技术的不断创新和发展,自动控制理论也在不断发展,了解这方面的情况,对于学习和掌握自动控制技术是十分必要的。

思考与练习

1.1 什么是开环控制与闭环控制？试分析它们的特点。

1.2 指出下列系统中哪些属开环控制，哪些属闭环控制。

- ①家用电冰箱 ②家用空调 ③家用洗衣机 ④抽水马桶 ⑤普通车床 ⑥电饭煲
⑦多速电风扇 ⑧高楼水箱 ⑨调光台灯 ⑩自动报时电子钟

1.3 恒值控制系统、随动系统和过程控制系统的主要区别是什么？判断下列系统属于哪一类系统。

- ①电饭煲 ②空调 ③燃气热水器 ④仿形加工机床 ⑤母子钟系统 ⑥自动跟踪雷达
⑦家用交流稳压器 ⑧数控加工中心 ⑨啤酒自动生产线。

1.4 图 1-10 为一晶体管稳压电源电路，试说明该电路中的给定量、被控量、反馈量和扰动量。画出此系统的组成框图，并写出其自动调节过程。

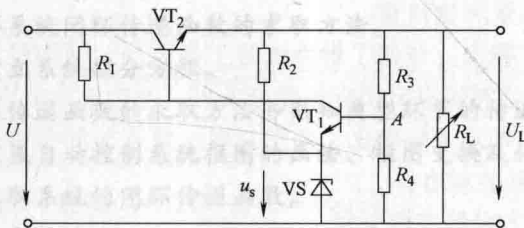


图 1-10 晶体管稳压电源电路

1.5 图 1-11 为仓库大门自动控制系统。试画出系统的组成框图，并说明自动控制大门开启和关闭的工作原理。如果大门不能全开或全关，则应怎样进行调整？

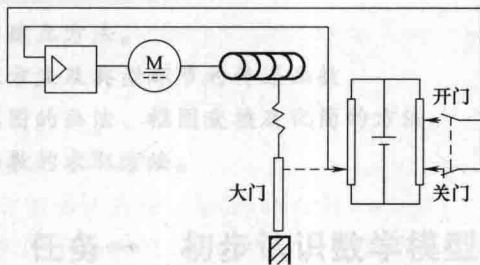


图 1-11 仓库大门自动控制系统

1.6 图 1-12 为电动机直流调速系统，试说明其组成及工作原理，并画出系统组成框图。以此系统为背景，阐述闭环系统的特点。

项目二 自动控制系统的数学模型

教学要点

- (1) 自动控制系统数学模型的建立。
- (2) 自动控制系统数学模型的相互转换。

教学目标

知识目标: (1) 了解系统微分方程的建立方法。

(2) 了解传递函数的求取方法及典型环节的传递函数。

(3) 了解自动控制系统框图的画法、框图的变换及化简的方法。

(4) 了解系统闭环传递函数的求取方法。

能力目标: (1) 会建立系统微分方程。

(2) 掌握传递函数的求取方法并熟知典型环节的传递函数。

(3) 能掌握自动控制系统框图的画法、框图变换及化简的方法。

(4) 能求取系统的闭环传递函数。

素质目标: (1) 培养自学能力。

(2) 培养文献检索、资料查找与阅读的能力。

(3) 培养严谨的工作作风。

教学内容

- (1) 系统微分方程的建立方法。
- (2) 传递函数的求取方法及典型环节的传递函数。
- (3) 自动控制系统框图的画法、框图变换及化简的方法。
- (4) 系统闭环传递函数的求取方法。

任务一 初步认识数学模型

一、任务引入

研究一个自动控制系统,除了对系统进行定性分析外,还必须对其进行定量分析,进而探讨改善系统稳态和动态性能的具体方法。控制系统的运动方程式(也叫数学模型)是根据系统的动态特性,即通过决定系统特征的物理学定律,如机械、电气、热力、液压及气动等方面的基本定律而得到的。它代表系统在运动过程中各变量之间的相互关系,既定性又定量地描述了整个系统的动态过程。因此,要分析和研究一个控制系统的动态特性,就必须

列写该系统的运动方程式，即数学模型。

二、任务分析

常用的数学模型有哪些？如何建立数学模型？建立系统的数学模型是分析和研究自动控制系统的起始，在经典控制理论中，常用的数学模型有微分方程、传递函数和系统框图。它们反映了系统的输出量、输入量和内部各种变量间的关系，也反映了系统的内在特性。它们是经典控制理论中常用的时域分析法、频域分析法和根轨迹法赖以进行分析的基础。

三、相关知识

1. 微分方程 (Differential Equations)

(1) 微分方程的建立 一个系统通常是由一些环节连接而成的，将系统中每个环节的微分方程求出来，然后将这些微分方程联立，消去中间变量，便可求出整个系统的微分方程。

建立微分方程的一般步骤：

- 1) 确定系统的输入量和输出量。
- 2) 建立初始微分方程组。全面了解系统的工作原理、结构组成和支配系统运动所遵循的物理（化学）规律，分别列写出相应的微分方程，并构成微分方程组。
- 3) 消去中间变量，将式子标准化，即把与输入量有关的各项放在方程的右边，把与输出量有关的各项放在方程的左边。

(2) 建立系统微分方程的实例分析

【实例 2-1】 图 2-1 为一 RLC 串联电路。若以电源电压作为输入电压 u_i ，以电容两端电压作为输出电压 u_o ，求此电路的微分方程。

解：1) 明确输入量为输入电压 u_i ，输出量为输出电压 u_o 。（即电容两端电压 u_C ）。

2) 由基尔霍夫定律可得

$$u_i = Ri + L \frac{di}{dt} + u_o$$

而流过电容的电流为

$$i = C \frac{du_o}{dt}$$

$$\frac{di}{dt} = C \frac{d^2 u_o}{dt^2}$$

3) 代入并整理成标准形式，其微分方程为

$$LC \frac{d^2 u_o}{dt^2} + RC \frac{du_o}{dt} + u_o = u_i \quad (2-1)$$

【实例 2-2】 直流电动机的微分方程。

1) 确定输入量与输出量。直流电动机电路如图 2-2 所示。首先需要分析改变电枢电压 u_a 对电动机转速 n 的影响（设励磁电流 i_F 恒定）。应以电枢电压 u_a 为输入量，电动机转速 n

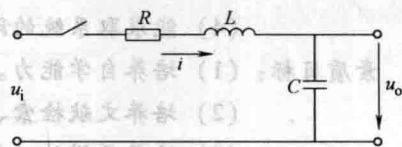


图 2-1 RLC 串联电路