

可赠送教学课件
(请联系syj_zz@126.com)

全国高等学校教材

自动控制原理

—— 基于 **MATLAB** 仿真的
多媒体授课教材 (上册)

师宇杰 编著
王成山 主审



国防工业出版社
National Defense Industry Press

全国高等学校教材

自动控制原理

——基于 MATLAB 仿真的多媒体授课教材
(上册)

师宇杰 编著
王成山 主审

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是《自动控制原理》教材的上册,包含线性系统经典控制理论的六章内容。此书中深入地讨论了线性控制系统的数学模型、时域分析、根轨迹、频域分析及系统设计等内容,并在每一章的最后介绍了相关的 MATLAB 知识,计划用 50 个学时(多媒体授课)。本书把 MATLAB 仿真融入理论教学,使理论更加易懂、可信,并且在讲述理论的同时,使读者学习了使用 MATLAB 进行系统分析和设计的方法。另外,本书是一本涵盖内容较多的教材,借助于 MATLAB 仿真,详细、深入地讨论了许多重要的概念和方法。

本书可作为高等学校自动化专业的必修课教材,也可作为电子信息类专业的平台课程教材,同时可供自动控制专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理:基于 MATLAB 仿真的多媒体授课教材.上册 / 师宇杰编著. —北京:国防工业出版社,2007.6
ISBN 978-7-118-05084-4

I. 自... II. 师... III. 自动控制理论 - 计算机辅助计算 - 软件包, MATLAB - 教材 IV. TP13 TP391.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 038106 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)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 21¼ 字数 486 千字

2007 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 30.00 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

“自动控制原理”课程是高等工科院校自动化专业和电子信息类专业的一门重要技术基础课程,其应用领域非常广泛,几乎遍及电类及非电类的各个工程技术学科。学好这门课程,掌握自动控制的基本原理,学会自动控制系统的分析和设计方法,对于高等工科院校自动化专业和电子信息类专业的学生来说是非常重要的。

经典控制理论(尤其是线性系统理论)已非常成熟,“自动控制原理”教材也是林林总总,各有千秋,因此,笔者本无意再编写这方面的教材。然而,在借助于 MATLAB 仿真进行“自动控制原理”的多媒体教学实践中,深深地感到科学技术的发展不仅促使教学内容的更新,也为我们教学方法的改革提供了强有力的技术手段。MATLAB 仿真使许多问题变得那么清晰,通过 MATLAB 仿真研究,作者认为有些问题的讲述方法需要改变一下,再参考多种“自动控制原理”教材,融入了多种优秀教材的精华,形成了自己的教案,加以整理后便成为这本教材,在这里把它介绍给读者,主要考虑如下几个方面:

(1) MATLAB 已成为自动控制系统分析和设计的一个重要工具,许多新教材也加入了 MATLAB 应用的内容。在教学实践中感觉到,教会学生使用 MATLAB 是必要的,把 MATLAB 仿真融入理论教学,用 MATLAB 的仿真结果支持理论分析的结论,使理论分析更加可信,对理论教学来说,则是更有意义的。同时, MATLAB 仿真缩短了理论与实际系统的距离,使理论更容易理解。另外,这样做可以使学生在理论学习的同时学习 MATLAB 的使用,更容易掌握 MATLAB 在系统分析和系统设计中的使用方法,而不是课后孤立地学习 MATLAB,与系统分析和设计问题脱节。因此,本教材把 MATLAB 仿真融入理论教学,每一个概念、每一道例题都力求用 MATLAB 仿真结果加以支持,使学生更容易理解。

(2) 在“自动控制原理”课程的教学实践中,参考过多本“自动控制原理”教材,每本教材都有其独到之处,本教材综合了这些精彩之处,成为一本涵盖内容较多的教材。另一方面,作者借助于 MATLAB 仿真,对一些问题进行了认真的研究,提出了一些自己的讲述方式,于是,想把这些内容介绍给读者。

(3) 多媒体教学是教学方法的重大改革,它带来的好处是有目共睹的。在“自动控制原理”教学中,多媒体使得 MATLAB 仿真融入理论教学成为可能,大量的曲线、图表清晰地展现在学生面前,使该课程不再是枯燥的计算,而是把理论计算与看得见的、实实在在的系统特性曲线联系起来,提高学生的兴趣,加深学生的理解。本教材专门为多媒体教学而设计,内容多、例题多、仿真曲线多,以促进学生的理解和掌握。同时,在多媒体和 MATLAB 的支持下,可以很方便地讲述不同分析方法之间的联系(例如,将频域法分析结论与时域分析结论进行比较)。

(4) 自动控制原理课程离不了曲线、图表(比如根轨迹、Bode 图、Nyquist 图等),这些曲线的手工绘制往往不太准确,有时甚至相去甚远,因此,本教材中曲线尽可能用 MATLAB 绘制(有些简单曲线用手工绘制),保证图表、曲线的正确性。

(5) 本教材力求用最简练的语言讲述理论,然后用充分的例题和仿真说明所讲的理论。有时候图表语言比文字语言更容易说明问题,使人容易理解。

在内容方面,本教材有增有减,为了把问题讲述清楚,甚至提出了一些新的概念,主要有如下几个方面:

(1) 有关信号流图的内容,由于整本教材中都没有用到,它是一部分孤立的内容,并且,该内容在“信号与系统”课程中已讲授过(电子信息类专业一般都开设“信号与系统”课程),因此,本教材不讲这部分内容,以压缩课时。

(2) 系统建模是自动控制系统与自动控制理论之间的桥梁,而大多数实际系统都是非线性的,因此,本教材加强了非线性系统建模的内容。

(3) 零、极点对消是自动控制理论中的一个重要问题,不深刻理解此问题,随意地用零点去抵消不稳定极点,会带来严重的、自己又意识不到的不稳定问题。本教材从时域响应、根轨迹以及 Nyquist 判据等方面详细讲述了零、极点对消产生的后果,并详细讨论了开环零极点抵消与闭环零极点抵消的关系。

(4) 系统的稳态误差有两种定义,即从输入端定义和从输出端定义,两种定义对于非单位反馈系统来说是不同的,容易使学生产生混淆。本教材除了强调两种定义的区别之外,提出了相对稳态误差的概念,把两种定义统一起来,即无论是单位反馈系统还是非单位反馈系统,用相对稳态误差来定义稳态指标,从输入端定义和从输出端定义的计算结果是一样的。

(5) 动态误差系数是求系统在任意输入信号作用下的稳态误差函数的一种有效方法。本教材详细讨论了动态误差系数的概念,以及利用 MATLAB

求动态误差系数的方法,并讨论了动态误差系数与静态误差系数的关系。

(6) 传统的绘制根轨迹方法开发并利用了根轨迹的规律,是对自动控制理论的重大贡献,但在科学技术高速发展的今天, MATLAB 的应用使得根轨迹绘制又简单、又精确,已不主张用传统的方法绘制那些又费力又不精确的根轨迹,而只是通过传统绘图方法讲述根轨迹的规律,以便用于系统分析和设计。本教材在传统根轨迹绘制法方面的篇幅有所压缩。

(7) 当虚轴上有开环极点时, Nyquist 判据使用的极坐标图包含无穷大半径的圆弧,当前的教材上普遍用虚线表示无穷大半径的圆弧,使学生容易看清楚极坐标图的环绕情况。但是, MATLAB 绘图不出现这些虚线圆弧,即在 MATLAB 绘制的 Nyquist 图上,曲线是不闭合的,看上去就是几条线段,这样,学生就读不懂 MATLAB 绘制的 Nyquist 图,为了让学生学会用 MATLAB 分析系统,将包含无穷大半径圆弧的极坐标图定义为广义极坐标图。广义极坐标图与普通极坐标图的根本区别在于起点的位置不同并存在无穷大半径的圆弧,要读懂 MATLAB 绘制的 Nyquist 图,就必须搞清楚广义极坐标图的起点以及无穷大半径圆弧轨迹的走向。定义成两种极坐标图,讲述起来概念更加清晰。

(8) 传递函数的频域实验室测定是获得系统模型的一种有效方法,本教材加强了这部分内容。

(9) 较深入地讨论了高阶系统二阶近似的条件,指出用主导极点法分析系统时需要注意的问题。

(10) 系统设计部分采用 MATLAB 支持下的系统设计方法,一方面直观、易懂;另一方面,使学生学会借助于 MATLAB 进行系统设计的方法。

(11) 双闭环控制是实际系统中常采用的控制方式,本教材加强了反馈校正的内容,并增加了双闭环系统设计的内容。

(12) 由于恒值调节系统考虑的主要是系统对扰动信号的响应,因此,教材中专门讨论了系统对扰动输入的响应,以及恒值调节系统的设计方法。

(13) 教材最后提供了书中典型 MATLAB 仿真曲线的源程序,以便于读者学习和验证。

本教材是《自动控制原理》教材的上册,包含线性系统经典控制理论的六章内容,计划用 50 个学时(多媒体授课),主要考虑到高等工科院校电子信息类非自动化专业对本课程的学时安排比较少,故把非线性控制系统和采样控制系统的内容放在下册中讲述,非自动化专业的学生可以只讲授上册。

天津大学电气与自动化工程学院院长王成山教授对本教材进行了认真审阅,在此表示感谢。

感谢本教材所列参考文献的作者,以及对本教材的编著提供过帮助的同
行专家及朋友。刘小宝同志和戈田一同志为本教材的 MATLAB 编程和制图
提供了帮助,在此表示感谢。同时,感谢国防工业出版社的支持,使本教材能
与广大读者见面。由于水平所限,书中难免有错误和不当之处,敬请同行与读
者给予批评指正。

编著者

2007 年 2 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 自动控制理论的发展及其在国民经济中的作用	1
1.2 自动控制系统的基本概念	1
1.2.1 手动控制与自动控制	1
1.2.2 自动控制系统的组成	3
1.2.3 自动控制系统中信号的定义	4
1.3 开环控制和闭环控制	4
1.3.1 开环控制	4
1.3.2 闭环控制	5
1.4 自动控制系统的分类	5
1.5 自动控制系统的性能评价	7
1.6 典型输入信号	7
1.7 自动控制系统实例	9
1.8 本课程的内容梗概	11
1.9 小结	12
习题	13
第 2 章 控制系统的数学模型	14
2.1 线性系统微分方程的建立	14
2.2 非线性系统的小信号线性化模型	18
2.2.1 光滑非线性函数的线性化处理方法	19
2.2.2 非线性微分方程的线性化处理方法	20
2.2.3 反馈控制系统线性化微分方程的建立	23
2.3 传递函数	24
2.3.1 传递函数的表示形式	25
2.3.2 传递函数与单位冲激响应	26
2.3.3 传递函数的性质	27
2.3.4 典型环节及其传递函数	27
2.4 系统结构图	30
2.4.1 系统结构图的构建	31

2.4.2 结构图的变换和化简·····	34
2.5 MATLAB 中传递函数的表示与计算·····	40
2.5.1 传递函数的多项式表示·····	40
2.5.2 传递函数的零、极点表示·····	41
2.5.3 连续系统的模型转换·····	42
2.5.4 结构图化简·····	43
2.6 小结·····	44
习题·····	44
第3章 控制系统的时域分析 ·····	46
3.1 线性定常系统的时域响应·····	46
3.1.1 传递函数的零、极点与系统时域响应的关系·····	46
3.1.2 线性常系数微分方程的解·····	48
3.1.3 零、极点对消问题·····	50
3.2 控制系统的时域性能指标·····	53
3.2.1 稳态性能指标·····	53
3.2.2 动态性能指标·····	54
3.3 控制系统的稳定性分析·····	55
3.3.1 稳定性的概念·····	55
3.3.2 线性定常系统稳定的充分必要条件·····	56
3.3.3 劳斯判据·····	56
3.3.4 用劳斯判据确定系统参数·····	60
3.3.5 相对稳定性和稳定裕量·····	61
3.4 控制系统的稳态误差分析·····	62
3.4.1 稳态误差的计算·····	62
3.4.2 相对稳态误差·····	68
3.4.3 静态误差系数·····	70
3.4.4 动态误差系数·····	73
3.4.5 系统参数变化引起的稳态误差·····	78
3.4.6 改善系统稳态精度的途径·····	79
3.5 控制系统的动态品质分析·····	79
3.5.1 典型一阶系统的时域分析·····	79
3.5.2 典型二阶系统的时域分析·····	80
3.5.3 高阶系统的时域分析·····	88
3.6 用 MATLAB 进行系统时域分析·····	94
3.6.1 绘制时域响应曲线·····	94
3.6.2 求传递函数的零、极点·····	97

3.6.3	用 LTI Viewer 获得时域响应曲线	98
3.6.4	用 Simulink 进行时域响应分析	99
3.7	小结	100
	习题	100
第 4 章	控制系统的根轨迹	104
4.1	根轨迹的基本概念	104
4.1.1	什么是根轨迹	104
4.1.2	根轨迹满足的基本条件	105
4.2	根轨迹的基本规律	106
4.2.1	根轨迹的基本规律	107
4.2.2	根轨迹绘图示例	109
4.3	特殊根轨迹	113
4.3.1	以时间常数为参量的根轨迹	113
4.3.2	零度根轨迹	117
4.4	根轨迹与系统稳定性	118
4.4.1	增加开环零、极点对系统稳定性的影响	118
4.4.2	开环零、极点抵消对系统稳定性的影响	122
4.5	根轨迹与系统的动态特性	127
4.5.1	等阻尼线和等角频率线	127
4.5.2	利用根轨迹估计系统的动态特性	128
4.6	用 MATLAB 绘制根轨迹图	132
4.7	小结	134
	习题	134
第 5 章	控制系统的频域分析	136
5.1	频率特性	137
5.1.1	频率特性的定义	137
5.1.2	频率特性与传递函数的关系	139
5.1.3	频率特性曲线的三种表示形式	141
5.2	典型环节的频率特性	143
5.2.1	传递函数的典型环节分解	143
5.2.2	典型环节的频率特性	143
5.3	系统的开环对数频率特性	153
5.3.1	系统开环对数频率特性的求取	153
5.3.2	开环对数幅频渐近特性	155
5.3.3	最小相位传递函数和最小相位系统	159

5.3.4	传递函数的频域实验室测定	162
5.3.5	利用对数幅频渐近特性的线性关系计算参数	168
5.4	系统的开环极坐标图	169
5.4.1	系统开环极坐标概略图的绘制	169
5.4.2	最小相位系统频率特性极坐标图的一般规律	172
5.4.3	$-\infty < \omega < 0$ 的极坐标图	173
5.4.4	延迟系统的极坐标图	174
5.4.5	开环极坐标图与开环 Bode 图的关系	175
5.5	奈奎斯特稳定判据	175
5.5.1	映射定理	175
5.5.2	Nyquist 稳定判据	176
5.5.3	虚轴上开环极点的影响	180
5.5.4	用广义开环极坐标图判断系统的稳定性	184
5.5.5	广义开环极坐标图环绕 $(-1, j0)$ 点次数的计算	189
5.5.6	抵消不稳定开环极点对 Nyquist 判据的影响	193
5.5.7	Bode 图上的 Nyquist 判据	193
5.6	控制系统的相对稳定性	195
5.6.1	幅值裕量	195
5.6.2	相角裕量	196
5.6.3	对数幅相图上的相对稳定性表示	203
5.7	控制系统的闭环频率特性	204
5.7.1	等 M 圆	204
5.7.2	等 N 圆	205
5.7.3	单位反馈系统闭环频率特性的求取	206
5.7.4	尼科尔斯图线	207
5.8	典型二阶系统的频域动态分析	209
5.8.1	典型二阶系统的开环频域性能指标	209
5.8.2	典型二阶系统的闭环频域性能指标	212
5.9	高阶系统的频域分析	215
5.9.1	高阶最小相位系统的开环频域指标与系统时域响应的关系	215
5.9.2	高阶系统对数幅频渐近特性中频段的形状与系统的相角裕量	219
5.10	MATLAB 频域特性分析	222
5.11	小结	226
	习题	227

第 6 章 控制系统的校正

6.1	概述	230
-----	----------	-----

6.2	PID 控制规律	232
6.2.1	PID 控制作用	232
6.2.2	用最佳二阶系统法进行 PID 校正	242
6.3	串联校正装置及其特性	242
6.3.1	相位角与向量角	243
6.3.2	超前校正装置	243
6.3.3	滞后校正装置	245
6.3.4	滞后—超前校正装置	247
6.4	采用根轨迹法进行串联校正	249
6.4.1	串联超前校正	249
6.4.2	串联滞后校正	259
6.4.3	串联滞后—超前校正	262
6.5	采用频率法进行串联校正	269
6.5.1	用频率法进行串联超前校正	270
6.5.2	用频率法进行串联滞后校正	277
6.5.3	用频率法进行串联滞后—超前校正	280
6.5.4	按期望特性进行串联校正	288
6.6	反馈校正及多闭环控制系统	290
6.6.1	局部反馈的作用	290
6.6.2	多闭环控制系统及设计方法	293
6.7	复合校正	303
6.7.1	反馈控制加前馈校正的复合控制	303
6.7.2	反馈控制加干扰补偿校正的复合控制	307
6.8	系统对扰动输入的响应及恒值调节系统设计	308
6.9	小结	315
	习题	316
	附录 典型图例的 MATLAB 源程序	318
	参考文献	328

第 1 章 绪 论

自动控制理论是自动化学科的重要理论基础,是研究自动控制系统共同规律的技术科学,专门研究自动控制系统的基本原理和基本方法。

1.1 自动控制理论的发展及其在国民经济中的作用

在现代科学技术的众多领域中,自动控制技术起着越来越重要的作用。自动控制技术给人们提供了获得动态系统最佳性能的方法,从普通的工业生产到尖端的国防科技,到处都有自动控制技术大显身手的空间,它使得无数高难度的、复杂的、高精度的控制成为可能。另一方面,自动控制技术的应用提高了产品质量,降低了生产成本,提高了劳动生产率,使人们从繁重的体力劳动和重复的手工操作中解放出来。

20 世纪初期,自动控制理论是以反馈理论为基础的自动调节原理,主要用于工业控制。第二次世界大战期间,为了设计和制造飞机及船用自动驾驶仪、火炮定位系统、雷达跟踪系统以及其他基于反馈原理的军用装备,进一步促进并完善了自动控制理论的发展。到战后,已形成完整的自动控制理论体系,这就是以传递函数为基础的经典控制理论,它主要研究单输入—单输出、线性定常系统的分析和设计问题。

20 世纪 60 年代初期,随着现代应用数学新成果的推出和电子计算机技术的应用,为适应宇航技术的发展,自动控制理论跨入了一个新的阶段——现代控制理论。它主要研究具有高性能、高精度的多变量系统的最优控制问题,主要采用的方法是以状态变量为基础的状态空间法。目前自动控制理论还在继续发展,正向着以控制论、信息论、仿生学为基础的智能控制理论深入。本教材讲述经典控制理论的主要内容——线性控制系统的分析和设计方法。

自动控制技术在国民经济中的应用有如下几个方面:

(1) 自动控制技术应用于军事、航天领域:火炮、雷达自动跟踪目标;人造卫星、宇宙飞船的发射与回收;导弹的精确制导;无人驾驶飞机的飞行控制等。

(2) 自动控制技术应用于民用领域:电机转速控制;锅炉的温度和压力控制;电压自动稳定控制;机器人控制;工业生产过程控制(例如,轧钢过程、造纸过程、发电过程)等。

由于计算机等技术的诞生和飞速发展,使得控制技术水平不断提高,应用领域不断扩大,已扩大到经济与社会生活的各个领域,如通信、交通、医学、环境保护、经济管理等领域,自动控制技术已成为现代社会不可缺少的重要组成部分。

1.2 自动控制系统的基本概念

1.2.1 手动控制与自动控制

“控制”是一个非常普通的概念,日常生活中随处可见,如图 1-1 所示的水箱水位手

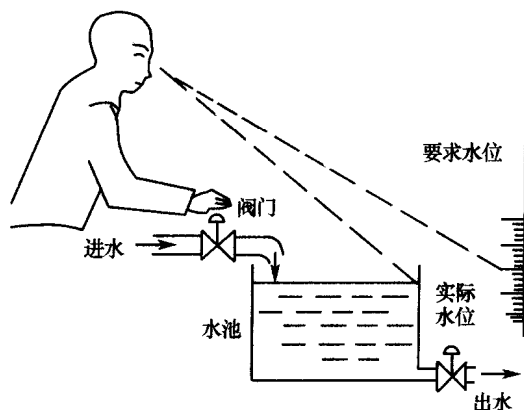


图 1-1 水箱水位的手动控制系统

动控制系统就是一个例子。

人工控制水位的方法如下：

观察实际水位,将实际水位与要求的水位相比较,得出两者偏差。根据偏差的大小和方向调节进水阀门的开度,从而改变水箱水位,使之与要求值保持一致。这是个人工控制的过程,称为“手动控制”。

所谓自动控制,就是在没有人直接参与的情况下,利用外加设备或装置(称为自动控制装置)使被控对象(如机器、设备、生产过程等)自动地按照预定的规律运行,使被控对象的一个或多个物理参数(如温度、流量、成分等)能够自动地在一定的精度范围内,按照给定的规律变化。

水箱水位的自动控制系统如图 1-2 所示。

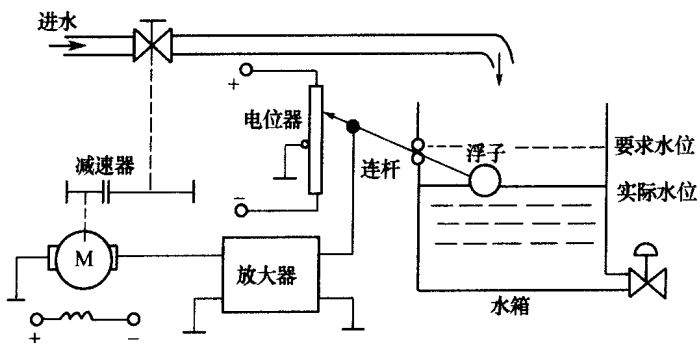


图 1-2 水箱水位的自动控制系统示意图

当实际水位低于要求水位时,电位器输出电压值为正,且其大小反映了实际水位与水位要求值的差值,放大器输出电压升高,电动机带动减速器使阀门开度增加,直到实际水位重新与水位要求值相等时为止。当实际水位高于要求水位时,则进行相反的调节。

比较一下自动控制与手动控制的共同之处：

(1) 必须给定水位要求值,需要水位给定元件。手动控制靠标尺,自动控制靠电位器。

- (2) 必须测量实际水位,需要测量元件。手动控制靠观察,自动控制靠浮子。
- (3) 必须比较实际水位与要求水位,需要比较元件。手动控制靠观察,自动控制靠连杆和电位器。
- (4) 必须产生控制策略,需要调节元件。手动控制靠人脑,自动控制靠误差放大器。
- (5) 必须操纵阀门,需要执行元件。手动控制靠人手,自动控制靠伺服电动机、减速器和阀门。
- (6) 必须有被控对象,即水箱中的水,被控量为水箱水位。

1.2.2 自动控制系统的组成

由水箱水位的人工控制和自动控制过程可知,要实现系统的自动控制,有6个元素是必不可少的。为了清楚地表示控制系统的组成及各组成部分之间信号的传输关系,画出的控制系统元件作用图称为系统的原理框图。它由4种符号组成:①装置(元件)用方框表示;②信号用带箭头的线段表示;③信号引出点用“·”表示;④信号相加点(比较点)用“⊗”表示。图1-3是典型控制系统的原理框图。

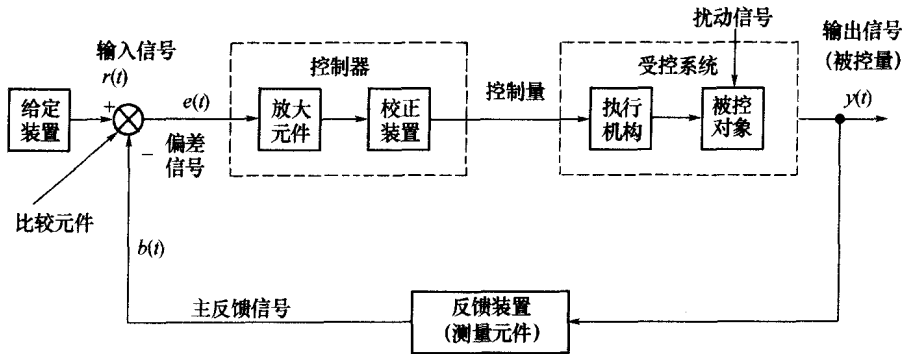


图 1-3 典型控制系统的原理框图

自动控制系统可分为下列几个部分:

- (1) 给定装置(元件):它产生系统的给定值,给定值正比于被控量的希望值。
- (2) 测量装置(元件):用于测量被控量的实际值并对其进行物理量变换。
- (3) 比较元件:它将对被控量测量、变换后的值(常取负号)与给定值(常取正号)进行比较,得到偏差的大小和符号。
- (4) 调节元件:也称为控制器。它由放大元件和校正装置组成,能将偏差信号放大,并使输出控制信号与偏差信号之间具有一定的数学运算关系(也称为调节规律或控制算法)。
- (5) 执行机构(元件):接受调节元件的输出控制信号(控制量),产生具体的控制效果,使被控制量产生预期的改变。
- (6) 被控对象:产生被控量的物理装置。

执行元件和被控对象组成的物理系统称为被控系统(或受控系统)。

在实际系统中,组成控制系统的各个部分有时是不能严格分开的,例如,常用的加入校正网络后的误差放大器,包含了比较元件和调节元件,它实际上是一个电路,如图1-4所示的比例—积分调节器。

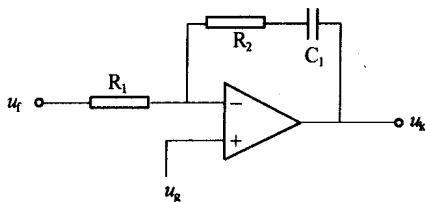


图 1-4 比例—积分调节器

$$\Delta u_k = \frac{1}{CR_1} \int e dt + \frac{R_2}{R_1} e \quad (e = u_g - u_f \quad \Delta u_k = u_k - u_g)$$

它包含了偏差计算和系统调节作用,但又不能从电路上严格加以区分,因此,系统的原理框图是按功能来区分元件,而不是按物理装置来区分元件的。

1.2.3 自动控制系统中信号的定义

典型控制系统的原理框图中出现了 6 种信号,定义如下:

- (1) 输入信号:指给定装置输出的给定信号,又称为参考输入或给定量,它是控制着输出量变化规律的指令信号。
- (2) 输出信号(被控量):指控制系统中被控制的物理量,控制系统的目的就是使被控量按照要求的规律变化。
- (3) 反馈信号:将系统(或环节)的输出信号经变换、处理后送到系统(或环节)的输入端信号,称为反馈信号。
- (4) 偏差信号:输入信号与反馈信号之差。
- (5) 误差信号:它指系统输出量的希望值与实际值之差。
- (6) 扰动信号:除控制信号以外,对系统的输出有影响的信号。

1.3 开环控制和闭环控制

1.3.1 开环控制

开环控制系统是指没有被控量反馈的控制系统,即被控量对于控制作用没有任何影响的系统。结构如图 1-5 所示。

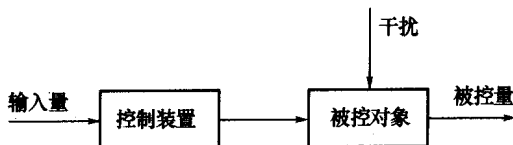


图 1-5 开环控制系统

开环控制系统具有如下特点:

- (1) 不对输出量进行检测,即便对输出量进行检测,也只是为了观察,不是用于控制。
- (2) 只要被控对象稳定,系统就能稳定的工作,控制简单。

(3) 当被控对象或控制装置受到干扰,或系统参数发生变化时,会直接影响被控量,系统对此无能为力,因此,开环控制系统的控制精度取决于系统的参数稳定性和受干扰情况。这就意味着,开环控制系统对组成系统的元件有较高的技术要求,并且要尽量避免干扰。

实际中有许多采用开环控制的例子,如灯光亮度控制、电风扇转速控制等,都是开环控制系统。

1.3.2 闭环控制

闭环控制的定义是有被控制量反馈的控制,其原理框图如图 1-6 所示。从系统中信号流向看,系统的输出信号沿反馈通道又回到系统的输入端,构成闭合通道,故称闭环控制系统,或反馈控制系统。

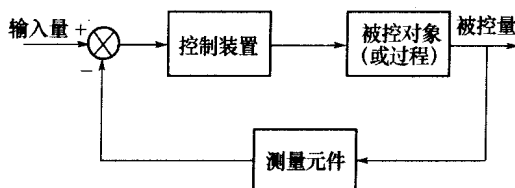


图 1-6 闭环控制系统

闭环控制系统具有如下特点:

(1) 必须对输出量进行检测,并且用于系统控制。

(2) 闭环控制是偏差控制,即无论是由于干扰,还是由于系统参数的变化引起被控量出现误差,经反馈就会产生偏差,系统就利用放大的偏差信号产生控制作用去纠正偏差。因此,闭环控制系统的突出优点是利用偏差来纠正偏差,使系统达到较高的控制精度。

(3) 与开环控制系统比较,闭环系统的结构比较复杂,构造比较困难。更重要的是,闭环控制系统存在稳定性问题,就是说,即使开环系统稳定,闭环系统也有可能不稳定,不稳定的系统是无法正常工作的,这就要求精心地设计控制装置。

自动控制原理研究在扰动存在并考虑参数变化的条件下,闭环系统的性能分析和系统设计问题。

开环控制和闭环控制方式各有优缺点,在实际工程中应根据工程要求及具体情况来决定选择哪种方式。如果系统的输出量无法测量,无法实现闭环控制,或对控制精度要求不高且干扰影响较小,或扰动信号可以补偿,则可以采用开环控制。如果对系统外部干扰无法预测,系统内部参数又经常变化,为保证控制精度,采用闭环控制则更为合适,多数系统属于这种类型。

1.4 自动控制系统的分类

1. 按信号流向划分

(1) 开环控制系统。信号流动由输入端到输出端单向流动,如图 1-5 所示。