

98

7 2 1
11/10/1

高等学校教材



自动控制理论 (第二版)

文 锋 贾光辉 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书重点讲述自动控制理论的经典控制理论部分，共分为十章：绪论、线性系统的数学模型、时域分析法、频率响应法、根轨迹法、控制系统的校正、离散控制系统、非线性系统分析、现代控制理论初步、计算机辅助分析等。

书中着重介绍自动控制理论的基本内容和基本工程分析方法，以典型例题配合基本内容的论述，每章后附基本型（A类）练习题（用作学生学习练习）及提高型（B类）练习题（供高水平学生和工程技术人员学习和考研参考）。

本书可作为高等学校电气工程、自动化类专业学生的教科书，也可供从事电气自动化工作的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP) 数据

自动控制理论/文锋，贾光辉编著. —2版. 北京：中国电力出版社，2002

高等学校教材

ISBN 7-5083-0973-1

I. 自… II. ①文…②贾… III. 自动控制高等学校-教材
IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2002）第 014 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 [http://www. cepp. com. cn](http://www.cepp.com.cn)）

利森达印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1998 年 1 月第一版

2002 年 6 月第二版 2002 年 6 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23.5 印张 533 千字

印数 5071—10070 册 定价 30.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

（本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换）

编委会名单

主 编 文 锋 贾光辉

副主编 李素玲 张 利

参 编 黄明键 常 青

前 言

本书是根据高等学校电气工程及工业自动化类专业《自动控制理论》教学大纲编写的。

该书自 1998 年由中国电力出版社出版以来,在多所工科院校使用,根据广大师生在教学中的体会以及教学改革的需要,在此次修订中,充分考虑到教学计划的变更和学生考研的要求,并注意到工科类专业教学的特点,特别注重了基本概念、基本原理和基本工程方法的讲述,在理论综述和公式推导中,尽量精选内容,用经典例题代替一般性文字的叙述,增加例题和练习题的数量,加强工程技术方法的分析和训练;练习题按章分为基本型(A类)练习,供学生作业练习之用;提高型(B类)练习,系带有一定技巧性和综合性题目,多选自全国重点大学考研试题汇编,供高水平学生复习考研之用。练习题后附有部分参考答案,便于读者自学。

参加本书编写的有:山东大学贾光辉(一、五章)、济南大学黄明键(二章)、山东理工大学李素玲(三章)、山东大学文锋(四、六、九章)、山东科技大学常青(七章)、山东大学张利(十章),第八章由张利与贾光辉合编。

本书由文锋教授、贾光辉副教授主编,李素玲副教授与张利副教授任副主编。全书由山东轻工业学院常易康教授主审。

本书可作为高等学校电气工程、工业自动化及相近专业的教科书,也可供电气自动化工程类技术人员学习参考。

由于编者水平所限,书中错误和缺点在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2002 年 1 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 基本控制方式	2
第三节 自动控制系统的组成及术语	4
第四节 自动控制系统的分类	5
第五节 自动控制理论概要	7
练习题	8
第二章 线性系统的数学模型	12
第一节 系统的微分方程	12
第二节 非线性特性的线性化	15
第三节 传递函数	17
第四节 系统方框图	25
第五节 信号流图	33
第六节 多变量控制系统及传递矩阵	38
练习题	40
第三章 时域分析法	46
第一节 典型输入信号和性能指标	46
第二节 一阶系统分析	49
第三节 二阶系统分析	52
第四节 高阶系统分析	65
第五节 系统对任意输入信号的暂态响应	68
第六节 稳定性与代数判据	70
第七节 稳态误差分析及误差系数	77
练习题	88
第四章 频率响应法	94
第一节 频率特性概述	94
第二节 极坐标图	97
第三节 对数坐标图	101
第四节 系统稳定性分析	114
第五节 闭环系统的频率特性	124
第六节 频域指标与时域指标的关系	131
第七节 系统传递函数的实验确定法	135
练习题	139
第五章 根轨迹法	145

第一节	根轨迹的基本概念	145
第二节	绘制根轨迹的基本规则	146
第三节	参量根轨迹和多回路系统根轨迹	159
第四节	正反馈系统和零度根轨迹	163
第五节	系统的暂态响应性能指标	167
第六节	延迟系统的根轨迹	172
	练习题	176
第六章	控制系统的校正	181
第一节	系统校正的概述	181
第二节	校正方法和校正装置	181
第三节	频率特性法校正	190
第四节	局部反馈校正	201
第五节	复合控制校正	203
第六节	根轨迹法校正	206
	练习题	212
第七章	离散控制系统	218
第一节	离散控制系统概述	218
第二节	采样过程及采样定理	220
第三节	保持器	222
第四节	z 变换	226
第五节	线性差分方程	233
第六节	脉冲传递函数	235
第七节	离散系统的时域分析	240
第八节	频率法、根轨迹法在离散系统中的应用	247
第九节	离散系统的校正	250
	练习题	259
第八章	非线性系统分析	264
第一节	非线性系统概述	264
第二节	典型非线性环节及其对系统的影响	266
第三节	描述函数法	269
第四节	用描述函数法分析非线性系统	279
第五节	相平面法	283
第六节	非线性系统的相平面分析	290
第七节	利用非线性特性改善系统的控制性能	298
	练习题	301
第九章	现代控制理论初步	308
第一节	系统的状态空间描述	308
第二节	线性系统状态方程的解	313
第三节	线性系统的能控性和能观测性	315
第四节	系统的传递函数阵	320

练习题	323
第十章 计算机辅助分析	327
第一节 MATLAB 简介	327
第二节 MATLAB 基本语法	328
第三节 MATLAB 的程序设计	332
第四节 控制系统分析——Control Toolbox 的应用	334
第五节 控制理论仿真——SimuLink 的应用	341
练习题	345
附表 I 常用函数的拉普拉斯变换和 z 变换表	346
附表 II 部分练习题参考答案	347

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、自动控制的概念

当前，自动控制技术已广泛应用于工、农业生产、交通运输、国防、航天等方面。发电厂控制原动机转速的调速器，锅炉的水位控制器等，是在工业上最早应用自动控制并获得成效的典型。随着生产和科学技术的发展，自动控制技术所起的作用越来越重要，自动化水平也越来越高。

所谓自动控制，是指在无人直接参与的情况下，利用自动控制装置（通常简称控制器）使整个生产过程或工作机械（称为被控对象）自动地按预先规定的规律运行，或使它的某些参数（称为被控量）按预定要求变化。

二、自动控制理论的发展史

自动控制理论是研究自动控制共同规律的科学。它的发展初期是以反馈理论为基础的自动调节原理，随着工业生产和科学技术的发展，现在已发展成为一门独立的学科——控制论。

在 18 世纪人们发明了两类机器：机器工具机和机器发动机，来代替人手和体力，开始实现机械化。但人们总希望能用机器来代替人的非创造性的脑力劳动，实现自动化。在本世纪的 40、50 年代即第二次世界大战期间和以后，由于军事上和生产上的需要，自动控制技术开始迅速发展，发明了第三类机器——机器控制器，来代替人的一部分简单的管理工作，形成了自动控制系统。而研究它的理论即自动控制理论也相应得到发展。到本世纪 50 年代末，自动控制理论已经形成比较完整的理论体系，形成以频率特性为主要工具的一整套自动控制理论，并在工程实践中得到成功的应用，一般称它为经典控制理论。它主要研究单输入单输出、线性、定常系统的输出控制，它的数学工具是拉氏变换、传递函数，它的主要方法是频率法和根轨迹法。进入 50 年代以来，由于航天技术的发展，要求有高性能、高精度的复杂的控制系统，经典控制理论不能满足要求。由于电子计算机技术的飞速发展，又在客观上提供了必要的技术手段。从而使自动控制理论发展到一个新的阶段——现代控制理论，并出现许多新的学科分支和边缘学科，如“工程控制论”、“生物控制论”、“社会控制论”等。现代控制理论研究多输入多输出（包括单输入单输出）、线性或非线性、定常或时变系统的状态控制，它的数学工具是矩阵理论、矢量微分方程理论、集合论等，它的主要方法是状态空间分析法。现代控制理论在解决大型、复杂的控制问题上有许多突出的优点，目前已成功地应用在航天、航空、航海和工农业生产中。当前在我国工农业生产等方面的大部分控制系统都是建立在经典控制理论基础上，因此现代控制理论不能完全取代经

典控制理论，这两种理论各有所长。

三、本课程主要内容

本课程主要介绍经典控制理论，首先介绍控制系统的数学模型，然后介绍三种分析方法：时域分析法、频率响应分析法和根轨迹分析法；在对系统进行分析的基础上介绍校正方法，这些分析和校正均是指线性连续系统。对于非线性系统扼要介绍相平面图分析和描述函数分析法。对于离散系统，介绍以脉冲传递函数为基础的分析 and 设计方法。最后简要地介绍现代控制理论的基础：状态空间表达式，状态方程的解、能控性和能观性。

第二节 基本控制方式

自动控制系统有两种最基本的控制方式，即开环控制和闭环控制方式。

一、开环控制

如果系统的输出量不参与对系统的控制，则称为开环控制。图 1-1 所示直流电动机转速控制系统就是开环控制系统的一例。图 1-2 是开环控制系统的原理方框图。

图 1-1 所示开环系统的输入量是给定电压 u_r ，输出量（被控制量）是转速 n 。电动机励磁电压为常数，采用电枢控制方式。调整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 ，从而控制电动机的转速 n 。当负载转矩不变时，给定电压 u_r 和电动机转速 n 有一一对应关系。因此，可由给定电压直接控制电动机转速。如果出现扰动如负载转矩增加，电动机转速便随之降低而偏离给定值。要维持给定转速不变，操作人员必须经过判断，相应地调整电位器滑臂的位置来提高给定电压 u_r ，使电动机转速恢复到原给定值。

这种控制系统线路简单、成本低、工作稳定。由于开环控制系统不具备自动修正被控量偏差的能力，所以系统的精确度低。如采用闭环控制系统，或在开环控制基础上附加扰动控制等，则可提高控制精确度。

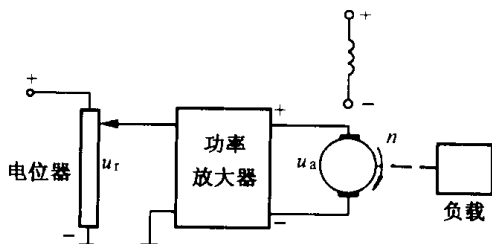


图 1-1 直流电动机转速开环控制系统

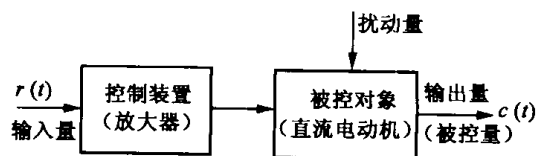


图 1-2 开环控制系统方框图

二、闭环控制

如果系统的输出量参与对系统的控制，则称为闭环控制。电动机转速的闭环控制系统如图 1-3 所示。这种系统的控制过程如下：由测速发电机检测得电动机的实际转速 n ，并转换成与给定电压相同的物理量 u_f ，然后反馈到输入端，与给定电压 u_r 相比较，其偏差值 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

转速状态下运转。

如果负载扰动增大，电动机转速下降，测速发电机输出电压（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，电枢电压 u_a 相应增大，从而使电动机的转速降得到补偿，使系统基本上恒速运行。闭环控制系统的方框图如图 1-4 所示。

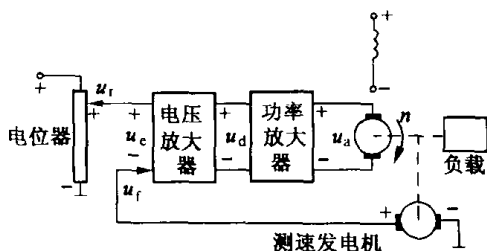


图 1-3 直流电动机转速闭环控制系统

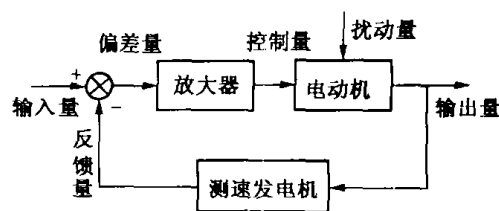


图 1-4 闭环系统方框图

根据上述分析，闭环控制系统采用的是负反馈控制原理：将系统输出量引回输入端，与输入相比较，利用所得偏差进行控制，使偏差减小或消除。由于其控制特点是检测偏差、纠正偏差，因此又可称为按偏差控制。

开环控制与闭环控制的基本区别在于闭环控制具有反馈控制，它的特点是具有自动修正被控量偏离给定值的能力，因此可以抑制内部和外部干扰所引起的偏差，具有较强的抗干扰能力。同时，在组成系统的元器件精度不高的情况下，采用反馈控制也可以达到较高的控制精度，所以应用很广。但正是由于引入了反馈作用，如果系统参数配合不当时，系统容易产生振荡甚至不稳定，使系统无法工作，这是闭环控制系统中非常突出的现象，也是本课程要解决的主要问题之一。

三、复合控制

在有些情况下，将开环控制和闭环控制结合起来构成复合控制，往往能取得更好的效果。因为补偿扰动所产生的影响，并非只有采取反馈控制一种方法。当扰动是可以测量时，利用前馈控制也是消除干扰对系统影响的有效方法，而且，它可以在扰动产生不利影响以前就产生补偿作用；而在闭环控制中，只有当输出受到影响后才能产生补偿作用，因此前馈控制有其突出的优点。

前馈控制的概念可以用图 1-5 说明，它是在图 1-4 中引入前馈控制器组成的。前馈控制器用来测量扰动量，并产生控制作用加在系统的输入端，用于补偿扰动对输出的不良影响。但是由于前馈控制是开环控制，受到系统结构精度的限制，所以在一般情况下，不能补偿未被测量的扰动量的影响。因此在前馈控制系统中仍然保留反馈回路。

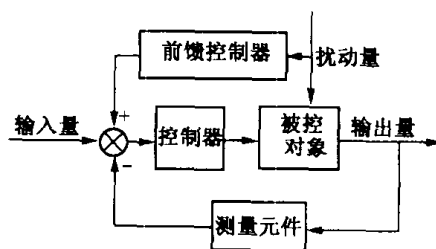


图 1-5 按扰动输入的前馈复合控制系统

四、自动控制系统举例

图 1-6 是一个恒温箱自动控制系统的原理图。被控对象是一个封闭的容器，自动控制的任务是克服外来干扰（如电源电压波动，环境温度变化等），保持恒温箱内的温度恒定。图示自动控制系统由恒温箱（被控对象）、比较环节、电压放大器、功率放大器、执行机

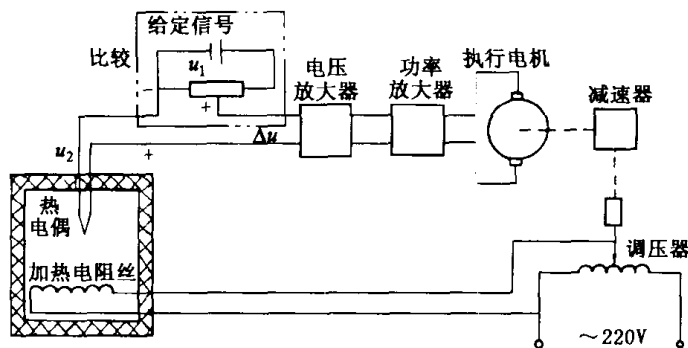


图 1-6 恒温箱自动控制系统原理图

构（包括执行电机、减速器和调压器）和温度检测元件——热电偶等组成。恒温箱温度由给定电压 u_1 控制。当各种干扰引起箱内温度变化时，热电偶将恒温箱温度转换为电压信号 u_2 ，与给定电压 u_1 进行比较，得到与温度偏差相对应的电压偏差信号 $\Delta u = u_1 - u_2$ 。 Δu 经电压放大器和功率放大器放大后，控制执行电机，再由传动装置拖动调压器滑动触头改变加热电压。

当 $\Delta u < 0$ 时，箱内温度高于给定温度，调压器滑动触头向降低加热电压的方向移动，使电阻丝产生的热量减小，最终使恒温箱内温度与给定温度相同。反之则增加电热器电压，使恒温箱内温度上升。当恒温箱内温度与给定温度相同时，电机停转，保持调压器滑动触头位置不变。图 1-7 为恒温箱温度自动控制系统原理方框图。

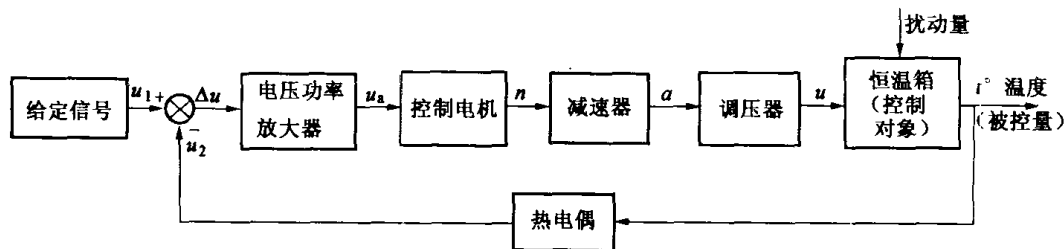


图 1-7 恒温箱温度自动控制系统原理方框图

第三节 自动控制系统的组成及术语

一、自动控制系统的组成

自动控制系统的基本组成方框图如图 1-8 所示。

自动控制系统可以分为两大组成部分，即被控对象和自动控制装置（有时也称为控制器）。自动控制系统中被控制的机器、设备或生产过程等是被控对象。而自动控制装置则是自动控制系统中对被控对象起控制作用的各部分的总称，自动控制装置又可分为下列几个部分：

- (1) 测量元件（或测量装置）。用于测量被控量的实际值或对被控量进行物理量变换的装置。
- (2) 比较元件（或比较器）。它将被控量的实际值（常取负号）与被控量的要求值（常取正号）相比较，得到偏差的大小和符号。
- (3) 调节元件。通常包括放大器和校正装置，它能将偏差信号放大，并使输出的控制信号与偏差信号之间具有一定的数值运算关系（也称为调节规律或控制算法）。

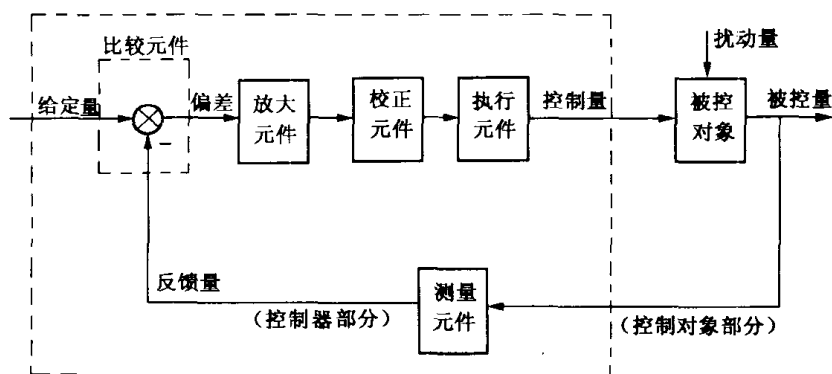


图 1-8 自动控制系统方框图

(4) 执行元件。它接受调节元件的输出控制信号，然后产生具体的控制效果，使被控量产生预期的改变。

二、控制系统中的常用术语

给定量（输入量）：系统输出量的要求值。

被控量（输出量）：被控系统所控制的物理量。

反馈量：与输出成正比或成某种函数关系，与给定量有相同量纲和数量级相同的信号。

偏差量：给定量与主反馈量之差。

控制量：作用于被控对象的信号。

扰动量：对系统输出量有不利影响的输入量。

被控对象：被控制的机器、设备或生产过程。

第四节 自动控制系统的分类

自动控制系统的种类很多，按照不同的分类方法可以分成不同的类型。而实际系统可能是几种类型的组合。

一、按给定信号分类

可以分为：

1. 恒值控制系统（自动调整系统、自动镇定系统）

输入为常数，系统能排除扰动影响，使输出保持恒定不变。恒温、恒压、恒速、恒定水位等系统都属这类。

2. 随动控制系统（跟踪系统、伺服系统）

输入是时间的未知函数，要求输出跟随输入信号变化。如跟踪飞机的雷达——高炮指挥仪系统等。

3. 程序控制系统

输入量是时间的已知函数，要求输出尽快跟随输入信号变化。如热处理的加热炉和程

控机床等。

二、按数学描述分类

可分为：

1. 线性控制系统

当组成系统的元件的特性都是线性的，其输入输出关系能用线性微分方程描述的系统称为线性控制系统或线性系统。线性系统的主要特点是具有齐次性和叠加性。当线性微分方程的系数均为常数时称为线性定常系统或线性时不变系统；当微分方程的系数是时间的函数称为线性时变系统。线性定常系统的响应只与输入信号有关，与初始条件无关。

2. 非线性控制系统

严格地讲，实际的物理系统中不存在线性系统，总是或多或少存在着不同程度的非线性特性。为研究问题方便，当非线性特性不显著或者系统非线性特性区域的工作范围不大，可将其视为线性的；或将它们线性化，然后按线性系统处理。将可以线性化的元件称为非本质非线性特性元件；将不能线性化的元件称为本质非线性特性元件。系统中只要包含一个本质非线性特性元件，系统的性能即由非线性微分方程描述，用这种非线性微分方程描述的系统称为非线性控制系统或称非线性系统。在非线性系统中，不能使用叠加原理。非线性微分方程式的求解尚无完整统一的方法，非线性微分方程的响应既与输入量有关，也与初始条件有关。

典型本质非线性特性简称非线性特性，图 1-9 是几种常见的非线性特性，其中 (a) 是饱和非线性；(b) 是死区非线性；(c) 是间隙非线性；(d) 是继电非线性。

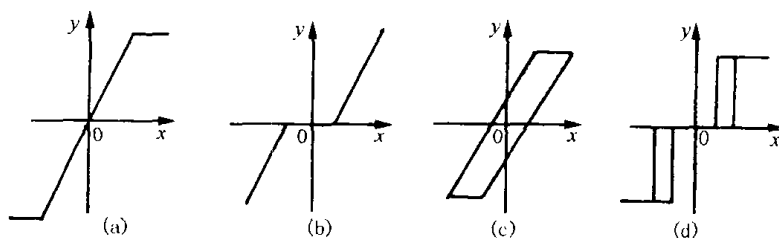


图 1-9 几种非线性特性

三、按时间信号的性质分类

1. 连续时间系统

当系统各部分的信号都是连续函数形式的模拟量时，称为连续时间系统或称连续数据系统，简称连续系统。连续系统的性能用微分方程描述，上例所举都是连续系统。

2. 离散时间系统

当系统各部分的信号均以脉冲序列或数码的形式传递，称为离散时间系统或离散数据系统，简称离散系统。

离散系统是一个总称，如果系统中使用了采样开关，将连续函数形式的信号转变为离散脉冲序列形式的信号进行控制，这样的系统通常称为采样控制系统或脉冲控制系统。如果使用数字计算机或数字控制器，离散信号以数码形式传递，这样的系统称为采样数字控

制系统，简称数字控制系统。

离散系统的性能用差分方程描述，如果差分方程是线性的称为线性离散系统，如果差分方程为非线性的称为非线性离散系统。

四、按系统输入输出信号的数量分类

1. 单输入单输出系统：只有一个输入量、一个输出量的系统。
2. 多输入多输出系统：有两个或两个以上输入量或输出量的系统。

第五节 自动控制理论概要

自动控制系统虽然有不同的类型，但其研究内容和方法是类似的。自动控制理论就是对系统进行分析和设计的一般理论。自动控制系统的设计首先要符合自动控制系统的基本要求，其次要遵循自动控制系统设计的基本原则。

1. 对自动控制系统的基本要求

对于一个控制系统首要的要求是系统的绝对稳定性。否则系统无法正常工作，甚至毁坏设备，造成重大损失。直流电动机的失磁、运动机械的增幅振荡等都属于系统不稳定。

在系统稳定的前提之下，要求系统具有好的动态性能和稳态性能。系统的动态性能和稳态性能是由相应的性能指标来描述的，工程上常从稳、快、准三个方面来评价自控系统的总体精度。即：动态过程平稳 响应动作快 跟踪值准确

自动控制系统的上述三条基本要求可简单地用图 1-10 来表示。

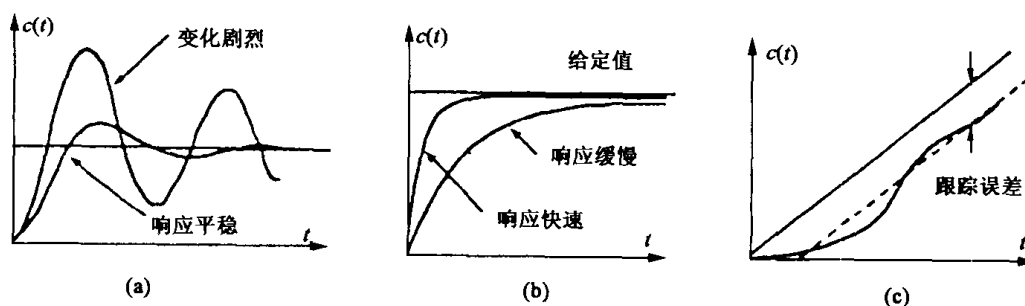


图 1-10 控制系统的基本要求

(a) 动态平稳性；(b) 响应快速性；(c) 跟踪准确性

图 (a) 说明了给定恒值信号时，系统的响应能够很快稳定在稳态值附近与在稳态值附近上下波动的两种比较情况。图 (b) 显示了给定恒值信号时，系统达到稳态值的快速性。图 (c) 说明了跟踪等速率变化信号的系统，系统的响应能否准确地跟踪输入信号。能够准确地跟踪的系统，就没有跟踪误差或者跟踪误差很小，否则，跟踪误差就大。

上述的基本要求只是定性的描述。在设计一个控制系统或者考察一个控制系统时，上述三条均需要有定量的要求，也正是本门课程中系统分析与设计的任务。

2. 自动控制系统的设计原则

自动控制系统设计的目的是要保证系统的输出在给定性能要求的基础上跟踪输入信号，并且要有一定的抗干扰能力。

由于对系统的要求不同，实际中系统的设计可能会是复杂多样，但是自动控制系统的的设计大体上可以归结为以下几个步骤。

(1) 系统分析

首先要了解系统的工作原理，分析系统的性能。系统的分析是在描述系统的数学模型的基础上来进行的，利用系统的数学模型就可以将系统分析的工作转化为数学问题来研究与讨论。如何得到系统的数学模型，属于系统的建模问题，在本书中主要利用解析法，即基于物理学的定律来得到系统的数学模型。其他得到数学模型的方法还有实验法等。有了描述系统的数学模型，就可以用数学方法来具体分析一个自动控制系统了。

在系统分析中，利用各种系统分析方法可以得到系统的运动规律和系统的运动性能。采用什么分析方法来分析一个自动控制系统？如何来评价系统的性能？如何加以改进和修正？这些问题都是系统分析中需要解决的问题。

(2) 系统设计

系统设计的任务就是寻找一个能够实现所要求性能的自动控制系统。设计系统时，要找出影响系统性能的主要因素，确定控制量和被控制量。然后根据要求确定采取什么样的控制规律来改进系统的性能。例如比例控制、比例-微分-积分控制等。要确定和选用合理的控制装置例如控制器、执行器、工控机等。设计过程并不是一次就能够完成的，必须经过反复的选择和试探，才能达到满意的效果。

(3) 实验仿真

设计工作完成以后，可以利用计算机把数学模型在各种信号及扰动作用下的响应进行测试分析，确定所设计的系统性能是否符合要求，并且加以修正使其进一步完善，以寻求达到最佳的控制效果。

仿真的方法有除了算法仿真之外，还有半物理仿真以及物理仿真。其中算法仿真的费用是最低的，而物理仿真的费用最高。可以根据实际需要来决定仿真实验选用什么样的方式。

(4) 控制实现

系统仿真工作完成之后，就可以进入样机制作阶段了。对于制作的样机，还要进行反复的实验调试，直至满足设计要求为止。

从上面叙述的设计步骤可以得出，一个自动控制系统的设计，是一个复杂和反复的过程，在本书中，重点从理论上探讨、研究自动控制系统的分析问题和系统的设计问题。

练 习 题

A 类 题

1-A-1 根据图 1-11 所示的电动机速度控制系统工作原理图：

(1) 将 a ， b 与 c ， d 用线连接成负反馈系统；

(2) 画出系统方框图。

1-A-2 烘箱温度控制系统工作原理

如图 1-12 所示。试分析系统工作原理，确定被控对象、被控量和给定量，画出系统方框图。

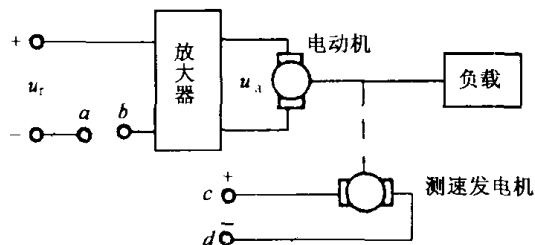


图 1-11 题 1-A-1 图

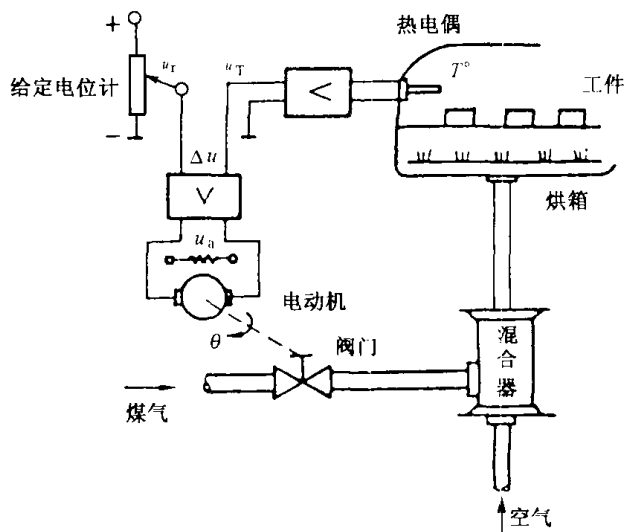


图 1-12 题 1-A-2 图

1-A-3 图 1-13 为自整角机随动系统，试指出系统的输入量和被控制量，区分控制对象和自动控制器。说明控制器各组成部分的作用，画出原理方框图，并分别说明系统偏差出现后是如何检测和消除偏差的。

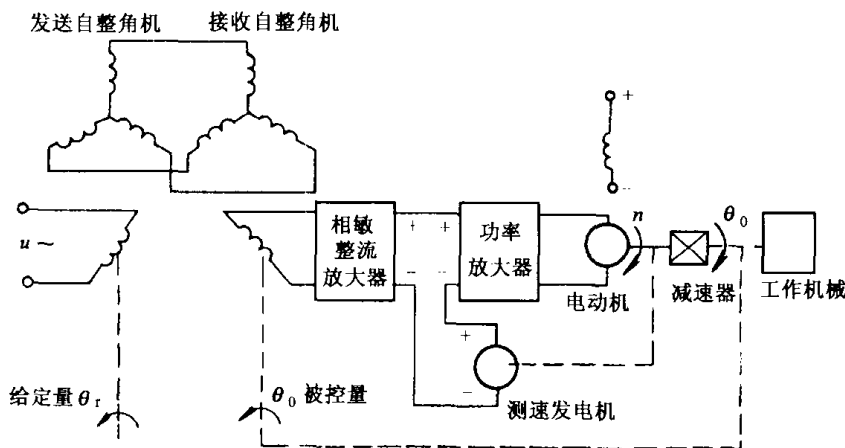


图 1-13 题 1-A-3 图

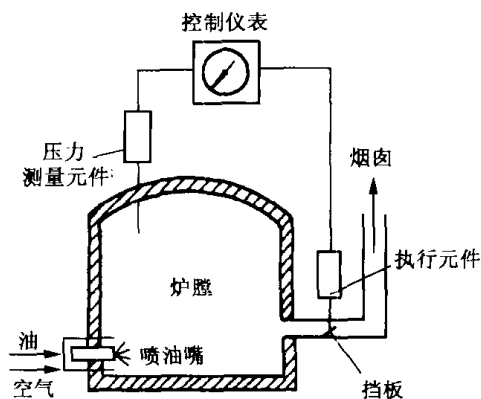
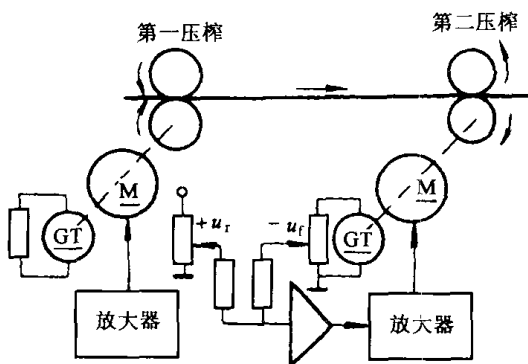
1-A-4 画出一个冰箱的温度反馈控制系统的原理框图。并说明其工作原理。

1-A-5 造纸机分部传动速度反馈控制系统如图 1-14 所示，试分析系统的工作原理。

1-A-6 图 1-15 所示为一个压力控制系统，试述系统如何自动保持炉膛内的压力恒定。

1-A-7 试比较开环控制系统和闭环控制系统的优缺点，并举出三个以上工程技术和日常生活中的例子进行分析说明。

1-A-8 试说明开环控制系统与闭环控制系统的主要特征，并画出系统的方框图。

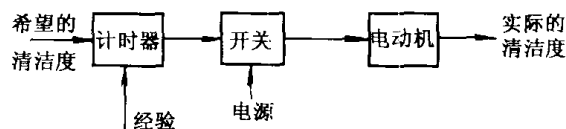
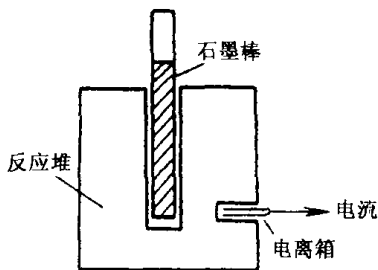


B 类 题

1-B-1 试列举三个你所接触到的自动控制装置,说明每个装置的控制结构是开环的还是闭环的。

1-B-2 核反应堆的裂变反应水平受石墨棒插入深度的控制，当插入愈深时，其反应水平愈降低。反应水平可用一个电离箱来测量，它的输出电流与反应水平成正比。其原理示意图如图 1-16 所示。试设计一台自动控制装置控制该核反应堆，使其裂变反应程度维持在给定水平。

1-B-3 洗衣机控制系统方框图如图 1-17 所示, 试问该系统属于开环控制还是闭环控制系统? 请设计一个闭环控制的洗衣机系统方框图。



1-B-4 有两台汽轮发电机组其转速调节系统如图 1-18 (a)、(b) 所示。试分析它们的控制原理, 指出两者是开环控制还是闭环控制系统。你能画出它们的系统方框图吗?

1-B-5 有一水位控制装置如图 1-19 所示。试分析它的控制原理, 指出它是开环控制系统还是闭环控制系统, 它的被控制量、参考输入量、扰动量是什么? 并给出它的系统方框图。

1-B-6 图 1-20 是仓库大门自动控制系统原理示意图。试说明系统自动控制大门开闭的工作原理并画出系统方框图。