

CHAMPION 考 研 辅 导 丛 书
KAO YAN FU DAO CONG SHU



考研热门专业

读书笔记及内部资料汇编

KAO YAN RE MEN ZHUAN YE
DU SHU BI JI JI NEI BU ZI LIAO
HUI BIAN

全国知名重点大学联合编写组 编

控制理论与控制工程 分册

學苑出版社

TD13
13

考研热门专业

读书笔记及内部资料汇编

控制理论与 控制工程分册

· 全国知名重点大学联合编写组 编

B2128P/06

本册主编: 宋小虎 萧 娟
本册编者: 宋小虎 萧 娟 叶茂茂
秦晓东 杨思权 李艳丽
王冬云 陈小雨 张 峥
陆 明



學苑出版社

图书在版编目(CIP)数据

考研热门专业读书笔记及内部资料汇编(全7册)/全国知名重点大学联合编写组编.
-北京:学苑出版社,2002.4
ISBN 7-5077-1239-7

I. 考… II. 全… III. 研究生-入学考试-学习参考资料 IV. G642.47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 071169 号

考研热门专业读书笔记及内部资料汇编

(控制理论与控制工程分册)

学苑出版社出版发行

北京市万寿路西街 11 号 100036

三河市长城印刷有限公司印刷

850×1168 16 开本 53.125 印张 1671 千字

2002 年 4 月北京第 1 版 2002 年 4 月北京第 1 次印刷

印数:3000 册 定价:107.00 元

编写说明

目前,考研已经成为竞争社会的一道风景而备受人们关注。面对报考人数的逐年激增,以及由此引发的“考研难”的问题,我们不禁思考:如何尽我们之所能,为广大考生做点实事,这就是我们精心策划此套图书的深层动因。

据统计,近几年来考研报名人数比较集中的专业有法学、计算机、金融学、西医、企业管理学、会计学、控制理论与控制工程、工商管理、通信工程、法律硕士、工商管理硕士等。每到考试前夕,大多数考生都陷入市场上公共课目的辅导用书“汗牛充栋”和专业辅导材料无处可寻的尴尬境地。为此,本书编写组在长期调研的基础上,策划推出《考研热门专业读书笔记及内部资料汇编》丛书。首批推出法学、计算机、金融学、西医、企业管理、会计学、控制理论与控制工程专业七个分册,该丛书规模庞大,针对性强,信息含量高,具有明确的指导意义和参考价值,堪称专业课复习中不可多得的工具与助手。

本书的编写工作,数十位专家参与其中,历经多次修改,精益求精,正是他们艰辛的劳动使本书高质量地呈现在读者面前。具体说来,本书具备以下几大特点:

一、权威性强 本丛书在编写之前,对考生进行了大量真实的调查,综合调查结果并结合北大、清华、人大、武大、浙大等著名高等院校的专家的意见,初步确定了结构框架,经过多次科学、严格的论证,组织高水平的作者队伍组建编写组,书稿不断完善之后,又由相关专业权威学者多次审稿,从而保证了书稿的权威性,并突出了其学术价值。对于书中所涉及的考试信息,如名师介绍、历年试题等,我们也从多个角度进行了核实,力争准确无误。

二、实用性强 本套丛书并没有像其他丛书一样以统一的结构和风格问世,而是依照不同专业的特点,在结构设计上突出专业特色,风格各异,但从总体上看,又有一个共同的特点,即实用性强。这主要表现在四个方面:一是“点”与“线”相结合,在理清专业课知识线索的基础上,重点讲解常考的知识点;二是例题与原理相结合,复习专业课既要掌握理论,又要学会运用原理解决问题,本丛书尽可能用例题解释原理,就是基于这点考虑;三是试题与笔记相结合,大量历年考试真题保证了考生有针对性地进行复习,专业课程读书笔记的系统整理,节省了考生宝贵的时间和精力;四是内部信息与复习资料相结合,不但帮助考生复习,而且为考生报名考试提供了技巧性的指导。

三、资料全面新颖 正如前面所述,本丛书不仅包括考生普遍急需的各科复习笔记,而且还辅之以到目前为止我们所能搜集到最新最全的相关高校考研真题、内部信息和报考指导。所谓“复习笔记”,并不仅仅局限于对教材线索的梳理,而是做到了“源于教材,高于教材”,在知识线索中穿插了众多的重点、难点问题解析。对文科相关专业的前沿学术热点进行了专题总结式的梳理。本套丛书主要是为2003年参加考研的同学准备的,在突出重点的同时,我们注重将最新的信息融入其中,特别是在考试真题的选编上,本书编写人员克服了一系列困难,将包括2002年在内的近几年考研真题提供给考生,这一开创性的工作保证了本书的时效性。

当然,由于条件所限,本丛书中的信息不可能涵盖全国所有高校,而只能选取其中的典型,有所侧重,在“特殊性”中找“共性”。因此,考生在使用本书的过程中,宜结合自己所报考院校的教学特点和出题思路,有的放矢地开展复习工作。希望读者朋友们将您对本书的意见反馈给我们,以便我们在以后的修订中加以完善,服务更多的同学。

最后,预祝考生朋友们马到成功!

编者

2002年4月

目 录

第一章 自动控制原理

第一部分 基本知识点 (1)

第二部分 重点、难点、热点 (2)

I 经典控制理论部分 (2)

一、控制系统概述 (2)

二、控制系统的数学模型 (5)

三、时域分析 (17)

四、根轨迹法 (28)

五、频率响应的分析法 (36)

六、线性系统的校正 (46)

七、非线性控制系统 (60)

八、线性离散系统 (71)

II 现代控制理论部分 (81)

第三部分 习题及解答 (93)

第四部分 部分名校考研真题 (110)

第二章 模拟电子技术

第一部分 基本知识点 (139)

第二部分 重点、难点、热点 (140)

一、基本半导体器件 (140)

二、半导体三极管基本放大电路

..... (143)

三、场效应管 (159)

四、放大器的频率响应 (163)

五、功率放大器 (167)

六、反馈放大器 (170)

七、信号运算与处理电路 (176)

八、信号产生电路 (182)

九、直流电源 (190)

第三部分 习题及答案 (195)

第四部分 部分名校考研真题 (226)

第三章 数字电路

第一部分 基本知识点 (275)

第二部分 重点、难点、热点 (281)

一、数字电路基础 (281)

二、逻辑门电路 (284)

三、组合逻辑电路 (289)

四、触发器 (302)

五、时序逻辑电路 (307)

六、脉冲信号的产生与整形 (328)

七、数-模(D/A)与模-数(A/D)

转换器 (337)

八、大规模集成电路 (346)

第三部分 习题及解答 (351)

第四部分 部分名校考研真题 (384)

第四章 数据结构

第一部分 基本知识点 (456)

第二部分 重点、难点、热点 (457)

一、绪论 (457)

二、线性表 (458)

三、数组 (464)

四、堆栈和队列 (468)

五、广义表 (472)

六、串 (473)

七、树与二叉树 (476)

八、图 (484)

九、文件及查找 (490)

十、内排序	(494)	第三部分 习题及解答	(653)
第三部分 习题及解答	(498)	第四部分 部分名校考研真题 ...	(686)
第四部分 部分名校考研真题 ...	(526)	第六章 微机原理及应用	
第五章 电路分析		第一部分 基础知识点	(699)
第一部分 基本知识点	(557)	第二部分 重点、难点、热点 ...	(706)
第二部分 重点、难点、热点		一、微型计算机基础	(706)
.....	(561)	二、微机系统中的微处理器 ...	(711)
一、电路的基本概念基本定律		三、半导体存储器	(717)
.....	(561)	四、微型计算机的指令系统 ...	(722)
二、电阻电路	(566)	五、汇编语言程序设计	(732)
三、正弦电流电路	(581)	六、微型计算机的基本输入/输出和中	
四、非正弦电路	(587)	断	(743)
五、频率特性与谐振现象	(593)	七、输入/输出接口	(755)
六、三相电路	(607)	第三部分 习题及解答	(766)
七、线性动态电路的时域分析		第四部分 部分名校考研真题 ...	(795)
.....	(615)	附 录 考研信息	
八、线性电路的复频域分析 ...	(627)	第一部分 考研心得	(835)
九、双口网络	(634)	第二部分 名师、名校介绍	(837)
十、非线性电路	(646)		

第一章 自动控制原理

第一部分 基本知识点

I 经典控制理论部分

一、自动控制的系统概述

1. 控制系统的组成
2. 基本控制方式：开环、闭环、复合系统
3. 对控制系统的基本要求：稳定性、准确性和快速性。

二、控制系统数学模型

1. 控制系统的微分方程
2. 传递函数
3. 结构图、信号流图、梅逊公式
4. 典型系统传递函数
5. 非线性系统的线性化

三、时域分析

1. 一阶系统的过渡过程
2. 二阶系统的过渡过程
3. 系统稳定性分析：劳斯（Routh）稳定数据、赫尔维茨（Hurwitz）判据
4. 稳态误差分析与计算

四、根轨迹法

1. 根轨迹方程：根轨迹增益 K^* 与开环增益 K 之间的关系
2. 根轨迹绘图原则
3. 广义根轨迹

五、频率响应法

1. 频率特性
频率特性的几何表示法：幅相频率特性曲线（又称奈奎斯特曲线）、对数频率特性（又称伯德图）、对数幅相频率特性曲线（又称尼柯尔斯曲线）。
2. 典型环节的频率特性
3. 奈奎斯特判据
4. 对数频率稳定判据
5. 稳定裕量

六、系统的校正方法

1. 常用校正网络及其特性
2. 校正方法：频率响应法、根轨迹法、复合控制校正

七、非线性控制系统

1. 典型非线性特性：饱和特性、死区特性、间隙特性和继电器特性
2. 非线性系统与线性系统的区别
3. 相平面分析法：极限环
4. 描述系数

八、线性离散系统

1. 脉冲信号：脉冲信号的传递函数及特性
2. 信号的采样及复现

读书札记

3. Z变换与Z反变换
4. 离散控制系统的数学描述
5. 离散控制系统分析: 稳定性、稳态误差、动态性能分析

II 现代控制理论部分

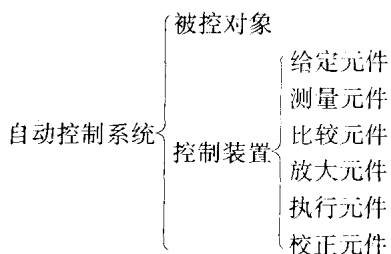
1. 线性系统的状态空间描述
2. 线性系统的可控性和可观性
3. 线性定常系统状态反馈与状态观测器
4. 李雅普诺夫稳定性分析

第二部分 重点、难点、热点

I 经典控制理论部分

一、控制系统概述

1. 控制系统的组成



一个典型的自动控制系统的基本组成可用图 1-1 所示。

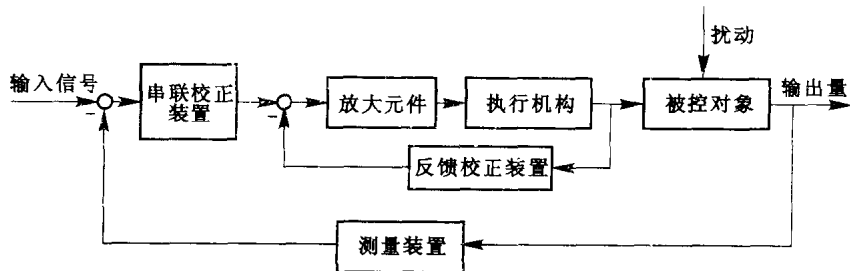


图 1-1 自动控制系统基本组成

被控对象是看得见的实体, 不能与物理量相混淆。被控制量则是表征被控制对象工作状态的物理量。确定控制对象要看控制的目的与任务。

【例 1】 电冰箱制冷原理图如图 1-2 所示。简述系统工作原理, 指出被控对象、被控量和给定量, 并画出系统方框图。

解 系统的任务是保持冰箱内温度 T_c 等于设定的温度 T_r 。冰箱的箱体是被控制对象, 箱内温度是被控量。由控制器旋钮设定出电位器输出电压 (与希望温度 T_r 值对应) 是给定量。

温度控制器中的双金属温度传感器 (测量元件) 感受冰箱内的温度, 并把它转换为电压信号, 与控制器旋钮设定的电位器 (给定元件) 输出电压 (对应于希望温度 T_r) 相比较, 利用偏差电压 Δu (表征实际温度与希望温度的偏差) 控制继电器。当 Δu 大到一定值时, 继电器接通压缩机起动将蒸发器中的高温低压气态制冷剂送经冷却器散热。降温后流出的低温低压冷却液被压缩成低温高压液态进入蒸发器急速降压扩散成气体, 吸收箱体内部的热量, 使箱体内温度下降, 而高温高压制冷剂又被吸入冷却器。如此循环, 使冰箱达到制冷的效果。继电器、压缩机、蒸发器和冷却器组成系统的执行机构, 完成降温功能。冰箱制冷系统方框图为图 1-3。

2. 基本控制方式

开环系统、闭环系统、复合系统

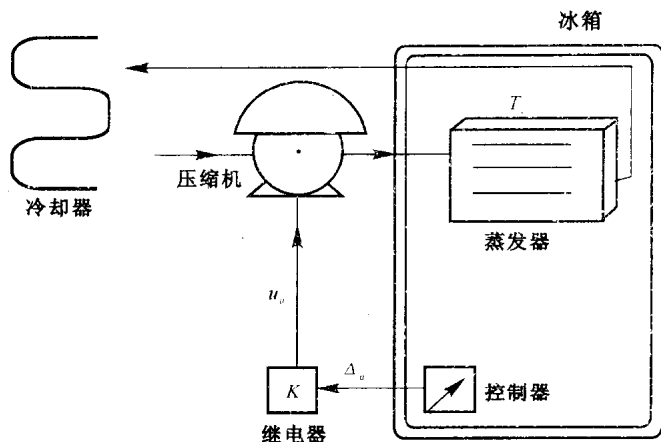


图 1-2 电冰箱系统方框图

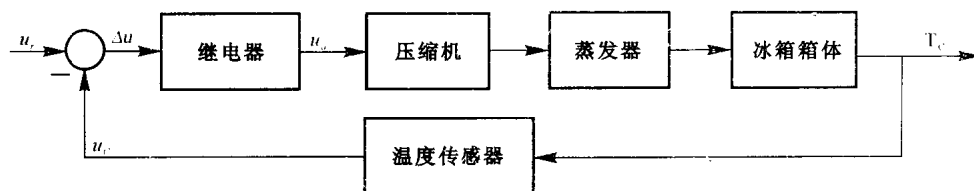


图 1-3 冰箱制冷系统方框图

【例 2】 图 1-4 是烤面包机的原理图。面包的烘烤质量由烘箱内的温度及烘烤时间决定。(1) 试说明传送带速度自动控制的工作原理，并绘制相应的原理方框图。(2) 绘制烤面包机的方框图。

解 (1) 传送带由电动机和减速器驱动，传送带的线速度与电动机及减速器的角速度是固定比例关系，因此控制电动机减速器的角速度就控制了传送器的线速度。传送器的希望速度与温度有关，温度高，要求速度快，温度低要求速度慢。

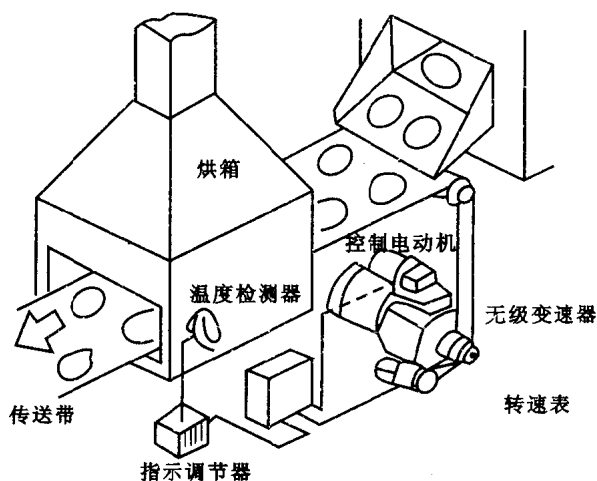


图 1-4 烤面包机

烘箱内温度检测器测出烘箱内的温度，传给指示调节器。指示调节器根据预先规定的函数关系求出希望的速度，并变成相应的电信号作为调速系统的控制输入加到控制器上。控制器带动电动机，减速器驱动传送带运动。转速表测出减速器的实际转速，反馈到控制器，若与要求转速不等，则产生偏差信

号。通过控制器控制电动机加速或减速,使速度趋于希望的速度。该调速系统的方框图如图 1-5。

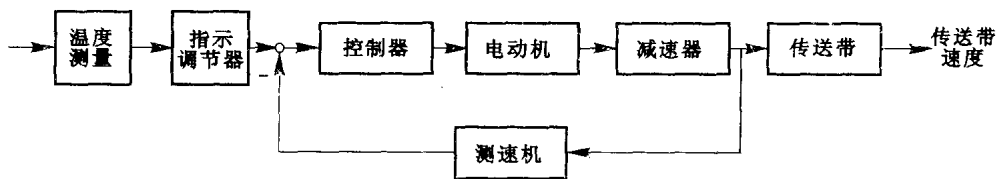


图 1-5 调速系统方框图

(2) 面包的烘烤质量与烘烤箱温度与面包在烘箱内烘烤的时间有关,而烘烤时间又与传送带的速度有关。在该烤面包机中,只控制烘烤时间而未控制烘烤温度。但希望的烘烤时间又与温度有关。该系统可以看作一个按扰动补偿的开环控制系统,温度就是扰动量,方框图如图 1-6。

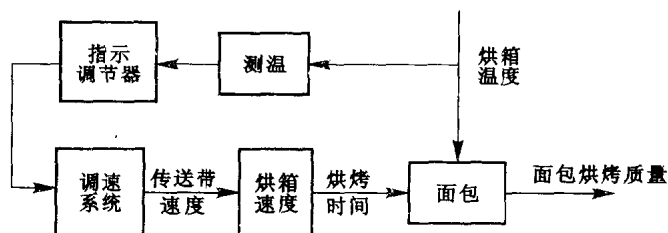


图 1-6 烤面包机方框图

3. 对控制系统的基本要求

对反馈控制系统最基本的要求是工作的稳定性,同时对准确性(稳定精度)、快速性及阻尼程度也要提出要求。上述要求通常是通过系统响应特定输入信号的过渡过程及稳定的一些特征值来表征的。

过渡过程是指反馈控制系统的被控制量 $c(t)$, 在受到控制量或干扰量作用时,由原来的平衡状态(或叫稳定)变化到新的平衡状态时的过程。

稳态精度:控制系统的稳态精度表征系统的稳定品质,把被控制信号的希望值 $C_r(t)$ 与稳定值 $c(\infty)$ 之差叫做稳态误差;稳态误差与静差是表征系统稳态精度的二项性能指标。

快速性和阻尼特性:

控制系统响应单位阶跃信号作用下的过渡过程的一般形式示于图 1-7。

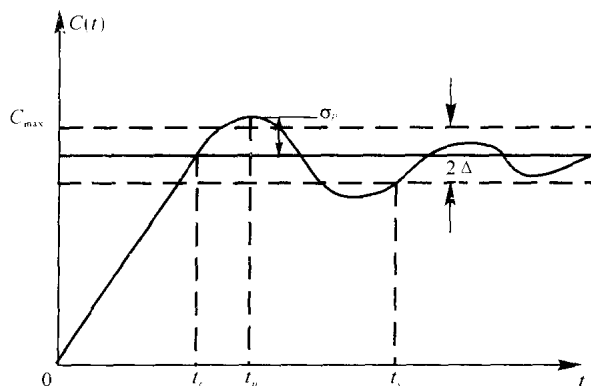


图 1-7 单位阶跃信号作用下控制系统的过渡过程

如果 $t \geq t_s$ 时,有 $|C(t) - C(\infty)| \leq \Delta$, 则定义 t_s 为系统过渡过程时间。式中 Δ 为系统输出稳态值的百分数,一般取 $\Delta = 2\%$ 或 $\Delta = 5\%$ 。

图 1-7 中曲线 $C(t)$ 是一条衰减的正弦振荡曲线,其振荡过程用超调量 σ_p 来描述。 σ_p 定义如下:

$$\sigma_p = \frac{|C_{\max} - C(\infty)|}{|C(\infty)|} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中: $C_{\max}$ ——过渡过程曲线 $C(t)$ 第一次达到极值时的数值。

过渡过程时间 t_s 和超调量 σ_p 是描述控制系统过渡过程好坏的两个重要指标。 t_s 越小, 说明系统从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态所需的时间越短, 反之则越长。因此, t_s 是表征系统响应输入信号速度的性能指标。而 σ_p 越小, 说明在过渡中引起的超调量越小。

按照过渡过程评价控制系统的性能, 除了 t_s 和 σ_p 两项指标外, 有时还需注意 $c(t)$ 穿越 $C(\infty)$ 水平线的次数。定义在 $0 < t < t_s$ 时间内, $C(t)$ 穿越 $C(\infty)$ 水平线的次数的一半为控制系统过渡过程的振荡次数 N 。 N 的数值越小, 说明控制系统的阻尼性能越好。有时还通过过渡过程达到第一个峰值所需要的时间 t_p (t_p 称为峰值时间) 以及上升时间 t_r , (见图 1-7 中所示) 来表征控制系统响应输入信号的快速性。

过渡过程时间 t_s , 峰值时间 t_p , 上升时间 t_r , 超调量 σ_p 和振荡次数 N 称为控制系统的动态指标, 而其中的 t_s 、 t_p 及 t_r 表征系统的快速性能, σ_p 和振荡次数 N 表征系统的阻尼性能。

二、控制系统的数学模型

连续系统的数学模型有: 微分方程、传递函数、动态方框图和脉冲响应函数等。

如果系统中各变量随时间变化缓慢, 以至于它们对时间的变化率(导数)可以忽略不计, 这些变量之间的关系称为静态特性或静态关系。静态特性的数学表达式中不含有变量对时间的导数。如果系统中的变量对时间的变化率不可忽略, 这时各变量之间的关系称为动态特性或动态关系, 而系统称为动态系统, 相应数学模型称为动态模型。控制系统中的数学模型绝大部分都是指动态系统的数学模型。

建立系统的数学模型一般采用解析法和实验法(或称辩识)。解析法的一般步骤如图(1-8)所示。

1. 控制系统微分方程

很多常见元件或系统的输出量和输入量之间的关系都可以用一个微分方程表示, 方程中含有输入量、输出量及它们对时间的导数或积分。这种微分方程又称为动态方程或运动方程。微分方程的阶数一般是指方程中最高导数项的阶数, 又称为系统的阶数。

对于单输入-单输出线性定常系统, 采用下述微分方程来描述。

$$\begin{aligned} y^{(n)}(t) + a_{n-1}y^{(n-1)}(t) + a_{n-2}y^{(n-2)}(t) + \cdots + a_1\dot{y}(t) + a_0y(t) = \\ b_mx^{(m)}(t) + b_{m-1}x^{(m-1)}(t) + \cdots + b_1\dot{x}(t) + b_0x(t) + A \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中, $x(t)$ 为系统输入量, $y(t)$ 为系统输出量, $a_i (i = 0, \cdots, n-1)$, $b_j (j = 0, \cdots, m)$ 和 A 都是由系统结构参数决定的系数。

根据要求, 确定系统的输入量和输出量。

按照系统中元件所遵循的科学规律, 围绕输入量, 输出量及其导数和有关量, 列出原始方程式, 它们一般构成微分方程组。对于复杂系统, 可以增设中间变量, 方程数目一般要比中间变量的个数多。

消去中间变量, 整理出只含有输出量和输入量及其导数的方程。

标准化, 一般将输出量及其导数放在方程式的左边, 将输入量及其导数放在方程式的右边, 各项导数按阶次由高到低的顺序排列。

图 1-8 解析法的一般步骤

许多表面上完全不同的系统(如机械系统、电气系统、液压系统及经济学系统等)都可能具有完全相同的数学模型, 数学模型表达了这些系统的共性, 因此研究了一种数学模型, 也就完全了解了具有这种数学模型的各种各样的系统的特性。因此, 数学模型建立以后, 研究系统主要指的就是研究系统所对

读书札记

应的数学模型, 而不再涉及实际的物理性质和具体特点.

【例 3】图 1-9 表示一个具有 2 级减速的齿轮传动系统. T 为电动机输出的力矩, 作用在轴 1 上, T_{fz} 是作用在轴 3 上的负载转矩, (J_1, f_1) 、 (J_2, f_2) 和 (J_3, f_3) 分别代表相应轴的转动惯量和粘滞阻尼系数, θ_1 、 θ_2 、 θ_3 分别表示相应轴的转角. i_1 、 i_2 为传动比, $i_1 = \frac{\theta_1}{\theta_2}$, $i_2 = \frac{\theta_2}{\theta_3}$. 求以转矩 T 和 T_{fz} 为输入量, 以转角 θ_1 为输出量的运动方程.

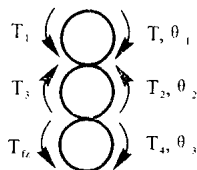
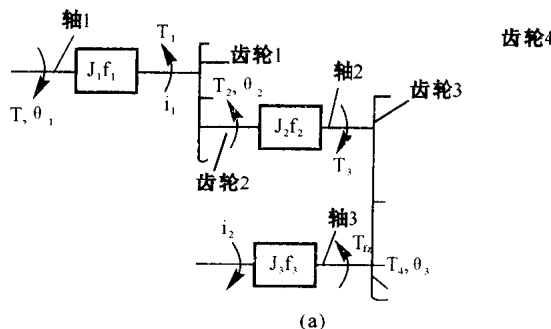


图 1-9 齿轮传动系统

解 由题知, 输入量是转矩 T 和 T_{fz} , 输出量是 θ_1 .

设 T_1 为齿轮 2 作用齿轮 1 的力矩, T_2 , T_3 , T_4 分别为齿轮 2、3、4 受到的力矩. 对于轴 1, 根据转动情况下的牛顿第二定律可得:

$$J_1 \frac{d^2 \theta_1}{dt^2} + f_1 \frac{d\theta_1}{dt} = T - T_1 \quad (1-3)$$

对于轴 2, 有

$$J_2 \frac{d^2 \theta_2}{dt^2} + f_2 \frac{d\theta_2}{dt} = T_3 - T_2 \quad (1-4)$$

对于轴 3, 有

$$J_3 \frac{d^2 \theta_3}{dt^2} + f_3 \frac{d\theta_3}{dt} = T_4 - T_{fz} \quad (1-5)$$

上述各式中, θ_2 、 θ_3 及 T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 均为中间变量, 还应再列 4 个方程. 根据已知条件, 有

$$\theta_2 = \frac{\theta_1}{i_1} \quad (1-6)$$

$$\theta_3 = \frac{\theta_2}{i_2} = \frac{\theta_1}{i_1 i_2} \quad (1-7)$$

忽略齿轮啮合中的功率损耗, 可得

$$T_1 \theta_1 = T_2 \theta_2$$

$$T_3 \theta_2 = T_4 \theta_3$$

即

$$T_2 = i_1 T_1 \quad (1-8)$$

$$T_4 = i_2 T_3 \quad (1-9)$$

将式 (1-3) 到式 (1-9) 整理可得该传动系统的运动方程式为

$$\left(J_1 + \frac{J_2}{i_1^2} + \frac{J_3}{i_1^2 i_2^2} \right) \frac{d^2 \theta_1}{dt^2} + \left(f_1 + \frac{f_2}{i_1^2} + \frac{f_3}{i_1^2 i_2^2} \right) \frac{d\theta_1}{dt} = T - \frac{T_{fz}}{i_1 i_2} \quad (1-10)$$

讨论: 在写系统的微分方程或是传递函数时, 各种系统变量有相似对应关系. 例如在电气系统和机械系统中有下表所示的对应关系.

表 1-1 电气系统与机械系统的对应关系

电气系统	机械系统
电压 u	位移 x
电阻 R	粘滞阻尼系数 f
电容 C	弹性系数的倒数 $\frac{1}{k}$

2. 传递函数

微分方程是在时域描述系统动态性能的数学模型；传递函数是通过运用拉氏变换求解系统的线性定常微分方程而得到的，它是系统在复数域的数学模型，在经典控制理论中广泛应用的频率法和根轨迹法，就是在传递函数的基础上建立起来的。

如果一般的线性定常系统的动态方程可用式 (1-2) 的线性定常微分方程表示，令 $x(t)$ 和 $y(t)$ 的初始值为 0，即

$$\begin{aligned} x^{(i)}(0) &= 0 \quad (i = 0, 1, \dots, m-1) \\ y^{(i)}(0) &= 0 \quad (i = 0, 1, \dots, n-1) \end{aligned}$$

对式 (1-2) 取拉氏变换得其传递函数

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \quad (1-11)$$

传递函数除了写成式 (1-11) 所示的形式以外，还常写成如下两种形式：

$$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)} = K \frac{(s - z_1)(s - z_2)(s - z_3) \dots (s - z_m)}{(s - p_1)(s - p_2)(s - p_3) \dots (s - p_n)} \quad (1-12)$$

及

$$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)} = K \frac{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1) \dots (\tau_m s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1) \dots (T_n s + 1)} \quad (1-13)$$

对于实际物理元件和系统而言，输入量与它所引起的响应（输出量）之间的传递函数，分子多项式 $N(s)$ 的阶次 m (s 的最高幂次数) 总是小于分母多项式 $D(s)$ 的阶次 n ，即 $m < n$ 。这个结论可以看成是客观的物理世界的基本属性。它反映了这样一个基本事实：一个物理系统的输出不能立即完全复现输入信号，只有经过一定时间过程后，输出量才能达到输入量所要求的数值。传递函数只取决于系统和元件的结构，与外部作用形式无关。

基本环节及其传递函数如表 1-2 所示。

表 1-2 基本环节及其传递函数表

环节名	动态方程	传递函数	说 明
比例环节	$y(t) = Kx(t)$	$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = K$	K 是常数，是放大倍数
惯性环节	$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$	$G(s) = \frac{1}{Ts + 1}$	T 称为惯性环节的时间常数
积分环节	$y(t) = \int x(t) dt$	$G(s) = \frac{1}{s}$	
振荡环节	$\frac{T^2 d^2 y(t)}{dt^2} + 2\xi T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t) \quad (0 \leq \xi \leq 1)$	$G(s) = \frac{1}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1}$ $= \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$ $(0 \leq \xi \leq 1)$	$\omega_n = \frac{1}{T}$ ω_n 为无阻尼频率 ξ 为阻尼比

读书札记

续表

环节名	动态方程	传递函数	说 明
微分方程	$y(t) = \frac{dx(t)}{dt}$	$G(s) = s$	
一阶微分方程	$y(t) = \tau \frac{dx(t)}{dt} + x(t)$	$G(s) = \tau s + 1$	τ 为环节的时间常数
二阶微分方程	$y(t) = \tau^2 \frac{d^2x(t)}{dt^2} + 2\xi\tau \frac{dx(t)}{dt} + x(t)$	$G(s) = \tau^2 s^2 + 2\xi\tau s + 1$	
延迟环节	$y(t) = x(t - \tau)$	$G(s) = e^{-\tau s}$	τ 为环节的延迟时间

【例 4】 图 1-10 中, $u_1(t)$ 、 $u_2(t)$ 分别是输入电压和输出电压, x_i 、 x_o 分别是输入位移和输出位移, f_1 、 f_2 是粘滞阻尼系数, k_1 、 k_2 是弹性系数. 求两系数的传递系数.

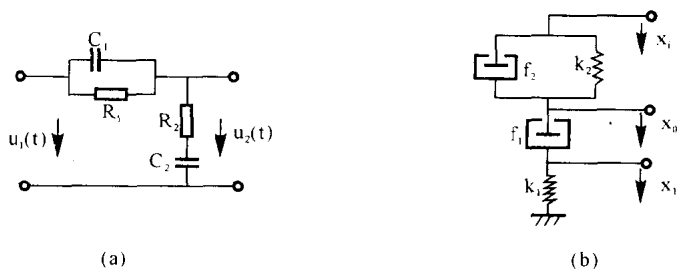


图 1-10

解 对于图 (a) 有

$$\frac{U_2(s)}{U_1(s)} = \frac{R_2 + \frac{1}{C_2 s}}{\frac{R_1}{1 + \frac{1}{C_1 s}} + R_2 + \frac{1}{C_2 s}} = \frac{R_1 R_2 C_1 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2)s + 1}{R_1 R_2 C_1 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_1 C_2)s + 1} \quad (1-14)$$

对于图 (b), 设 A、B、C 点的位移分别为 x_i 、 x_0 、 x_1 . 对于 B 点, 根据牛顿第二定律, 有

$$f_2 \frac{d(x_i - x_0)}{dt} + K_2(x_i - x_0) + f_1 \frac{d(x_1 - x_0)}{dt} = 0$$

取拉氏变换得

$$(f_2 s + K_2)X_i(s) - [(f_1 + f_2)s + K_2]X_0(s) + f_1 s X_1(s) = 0 \quad (1-15)$$

对于 C 点有

$$f_1 \frac{d(x_0 - x_1)}{dt} - K_1 x_1 = 0$$

取拉氏变换整理得

$$X_1(s) = \frac{f_1 s}{f_1 s + K_1} X_0(s) \quad (1-16)$$

将式 (1-16) 代入式 (1-15) 得

$$(f_2 s + K_2)X_i(s) - [(f_1 + f_2)s + K_2]X_0(s) + f_1 s \frac{f_1 s}{f_1 s + K_1} X_0(s) = 0$$

由此得

$$\begin{aligned} \frac{X_0(s)}{X_i(s)} &= \frac{f_1 f_2 s^2 + (K_2 f_1 + K_1 f_2) s + K_1 K_2}{f_1 f_2 s^2 + (K_1 f_1 + K_1 f_2 + K_2 f_1) s + K_1 K_2} \\ &= \frac{f_1 f_2 \frac{1}{K_1 K_2} s^2 + (f_1 \frac{1}{K_1} + f_2 \frac{1}{K_2}) s + 1}{f_1 f_2 \frac{1}{K_1 K_2} s^2 + (f_1 \frac{1}{K_1} + f_2 \frac{1}{K_2} + f_1 \frac{1}{K_2}) s + 1} \end{aligned} \quad (1-17)$$

比较式 (1-14) 和 (1-17) 可知两个系统传递系数相同, 且两系统变量间有相似对应关系。

不同系统之间的对应关系还有一些掌握了系统之间的对应关系就能根据一种系统的数学模型类推出其他系统的数学模型, 这样在做题时就会有事半功倍的效果。

3. 控制系统的方框图, 传递函数框图和动态结构图

一个系统可以有不同的方框图, 但由方框图得到的输出与输入信号的关系都是相同的。对方框图进行变换所要遵循的基本原则是等效原则, 即对方框图的任一部分进行变换时, 变换前后该部分的输入量、输出量及其相互之间的数学关系应保持不变。根据等效原则推导的几条方框图变换原则如下表所示。

表 1-3 方框图变换原则

环节名	原方框图	等效方框图	化简后的传函
串联环节			$G = \frac{X_n}{X_0} = G_1 G_2 \cdots G_n$
并联			$G = G_1 + G_2 + \cdots + G_n$
反馈回路			$\Phi = \frac{G}{1 \pm GH}$
相加点和分支点的移动	相加点前移 		$C = G (A \pm \frac{1}{G} B)$
	相加点之间的移动 		$D = A \pm B \pm C$ $= A \pm C \pm B$
	分支点后移 		
	相邻分支点之间的移动 		

读书札记

读书札记

续表

环节名	原方框图	等效方框图	化简后的传函
分支点前移			
相加点和分支点的移动			
变单位反馈			

注：(1) . 等效串联环节时，前后环节 $G_n(s)$ 与 $G_{n+1}(s)$ 之间必须不存在负载效应。

(2) . 在移动比较点或引出点的位置，或者移动比较号“-”时，必须注意的是在移动前后必须保持信号的等效性，而且在比较点和引出点之间，一般不宜交换其位置，比较号“-”也不能越过比较点或引出点。

信号流图：

与结构图相比，信号流图只适应于线性系统，不适用于非线性系统。

信号流图常采用的名词术语有：源节点（或输入节点）、阱节点（或输出节点）、混合节点、前向通道、回路、不接触回路

不接触回路——回路之间没有公共节点时，称这种回路为不接触回路。

梅逊（Mason）公式

梅逊公式的一般形式为：

$$\Phi(s) = \frac{\sum_{k=1}^n P_k \Delta_k}{\Delta} \quad (1-18)$$

式中： $\Phi(s)$ 是系统的输出量与输入量之间的传递函数， Δ 称为特征式，且

$$\Delta = 1 - \sum L_i + \sum L_i L_j - \sum L_i L_j L_k + \cdots \quad (1-19)$$

其中： $\sum L_i$ ——所有各回路的回路传递函数之和。

$\sum L_i L_j$ ——两两互不接触的回路，其“回路传递函数”乘积之和。

$\sum L_i L_j L_k$ ——所有的三个互不接触的回路，其“回路传递函数”乘积之和。

n ——系统前向通道个数。

P_k ——从输入端到输出端的第 k 条前向通道上各传递函数之和。

Δ_k ——在 Δ 中，将与第 k 条前向通道相接触的回路所在项除去后所余下的部分，称为余子式。

“回路传递函数”指的是反馈回路的前向通道和反馈通道的传递函数的乘积，并且包括相加点前的代表反馈极性的正负号。

【例 5】求图 1-11 所示信号流图的传递函数 X_4/X_1 和 X_2/X_1

解 由图知有三个单独回路，即 $\sum L_a = -d - b c g -$

eg

有两个互不接触的回路，即 $\sum L_b L_c = d e g$

所以说信号流图的特征式为 $\Delta = 1 - \sum L_a + \sum L_b L_c = 1 + d + b c g + e g + d e g$

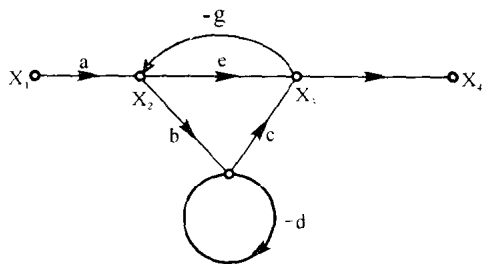


图 1-11

从 X_1 点到 X_4 点的前向通路有两条, 即 $P_1 = ae$, $P_2 = abc$

又回路 $(-d)$ 与 P_1 不接触, 故余子式 $\Delta_1 = 1 + d$; 同理 $\Delta_2 = 1$

从 X_1 点到 X_2 点的前向通路有一条, 即 $P_3 = a$, 余子式 $\Delta_3 = 1 + d$

因此, 传递函数分别为

$$\frac{X_4}{X_1} = \frac{1}{\Delta} (p_1 \Delta_1 + p_2 \Delta_2) = \frac{ae(1+d) + abc}{1+d+bcg+eg+deg}$$

$$\frac{X_2}{X_1} = \frac{1}{\Delta} (p_3 \Delta_3) = \frac{a+ad}{1+d+bcg+eg+deg}$$

【例 6】 试简化图 1-12 所示系统结构图, 并求系统的传递函数 $\frac{C(s)}{R(s)}$ 。

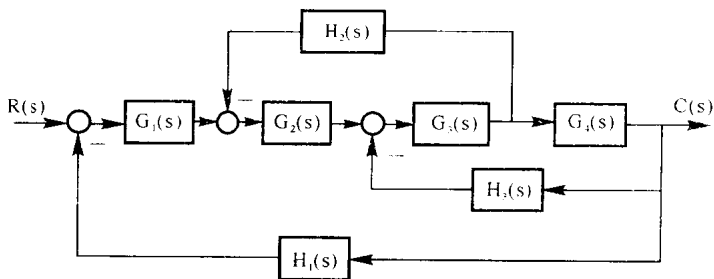


图 1-12

解 在图 1-12 中若不动比较点或引出点的位置, 就无法进行方框的等效运算。为此, 首先将 $G_3(s)$ 与 $G_4(s)$ 之间的引出点向后移动到 $G_4(s)$ 方框的输出端, 见图 1-13 (a)。其次简化由 $G_3(s)$ 、 $G_4(s)$ 和 $H_3(s)$ 组成的反馈回路, 其等效传递函数为

$$G_{34}(s) = \frac{G_3(s)G_4(s)}{1 + G_3(s)G_4(s)H_3(s)}$$

如图 1-13 (b) 所示。再次, 简化由 $G_2(s)$ 、 $G_{34}(s)$ 、 $H_2(s)$ 和 $\frac{1}{G_4(s)}$ 组成的反馈回路, 其等效传递函数为

$$G_{23}(s) = \frac{G_2(s)G_3(s)G_4(s)}{1 + G_3(s)G_4(s)H_3(s) + G_2(s)G_3(s)H_2(s)}$$

如图 1-13 (c) 所示。最后简化由 $G_1(s)$ 、 $G_{23}(s)$ 和 $H_1(s)$ 组成反馈回路, 便可得系统的传递函数为

$$\Phi(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_1(s)G_2(s)G_3(s)G_4(s)}{1 + G_2(s)G_3(s)H_2(s) + G_3(s)G_4(s)H_3(s) + G_1(s)G_2(s)G_3(s)H_1(s)G_4(s)}$$

【例 7】 系统结构图如 1-14 所示, 求系统传递函数 $\frac{C(s)}{R(s)}$ 。

解 法 1 用结构图等效化简法求解, 见图 1-15 所示。化简得

$$\Phi(s) = \frac{G_1(s)G_2(s) - (1 + H(s))G_3(s)}{1 + G_1(s) + G_2(s) + H(s) + G_1(s)G_2(s) - G_3(s)H(s)}$$

法 2 用 Mason 公式求解, 本题结构图中有两条前向通道, 6 个回路, 其中有一组两两互不接触回路。

$$\Delta = 1 - \{-H(s) - G_2(s) - G_1(s) - G_1(s)G_2(s) - [-G_3(s)] -$$

$$[-(-G_3(s))]\} + [-(-G_3(s))(-H(s))]$$

$$= 1 + H(s) + G_2(s) + G_1(s) + G_1(s)G_2(s) - G_3(s)H(s)$$

$$P_1 = G_1(s)G_2(s)$$

$$\Delta_1 = 1$$

$$P_2 = -G_3(s)$$

$$\Delta_2 = 1 - (-H(s)) = 1 + H(s)$$