



考研专业课攻关系列

自动控制原理

考试要点与真题精解

◎刘明俊 于明祁 舒兆根 等编著

围绕学科考点

把握重点难点

收录全真试卷

附带详细解答



国防科技大学出版社

自动控制原理

考试要点与真题精解

刘明俊 于明祁 舒兆根 彭学锋 李 雯 郭鸿武 编著



作者
2007年7月

国防科技大学出版社

元00.长沙分室

内 容 简 介

本书根据教育部关于高等工业学校自动控制原理课程的基本要求及硕士生入学考试的基本要求编写。第一部分按自动控制原理课程内容分为九章,每章给出了考试内容要点,从各重点院校近几年的考研试题中归纳出典型题型,并精选一些典型题作为例题进行了分析和解答。第二部分精选全国重点院校近几年考研试卷,给出解题答案,供考试模拟参考。此次出版,力求体现内容精炼、例题典型、试题(卷)新,适应考研进展。

本书可以作为报考硕士研究生的考生在考前的复习用书,亦可以作为大学本科生学习本课程辅导教材。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理考试要点与真题精解/刘明俊等编著. —长沙:国防科技大学出版社,2007.7
(考研专业课攻关系列)

ISBN 978-7-81099-277-0

I. 自… II. 刘… III. 自动控制原理-研究生-入学考试-自学参考资料 IV. TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 077084 号

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4572640 邮政编码:410073

<http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑:潘 生 责任校对:唐卫威

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

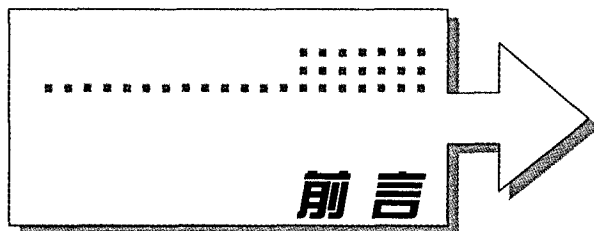
*

开本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:371

2007 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1-4000 册

ISBN 978-7-81099-277-0

定价:22.00 元



前言

自动控制技术已经广泛地应用于工农业生产、交通运输和国防、空间技术等领域,自动控制原理已经作为工科院校的技术基础课,是工科院校自动控制专业或自动化专业学生必修的专业技术基础课之一。本书为了满足报考研究生的读者进行考研复习的需要,在上一次编写考研指导书经验的基础上,作为国防科技大学出版社组织的“考研专业课攻关系列”新书之一而编写的。

该书紧扣国家教育部关于自动控制原理课程的教学大纲要求,并依据多年的教学和考研经验编写。本书收集了近年来全国部分重点大学研究生入学考试试题,加以归类、整理,作为典型例题加以采用。本书具有系统性、实用性、针对性强的特点。

本书考试内容要点和典型题型精解部分包括九章:自动控制的一般概念、控制系统的数学模型、时域分析法、根轨迹法、频率响应法、线性控制系统的补偿与综合、非线性系统分析、采样系统理论、线性系统状态空间分析基础。考试试卷部分:精选了国内重点大学 2005 年考研试卷并提供参考答案。

本书可供报考研究生的读者作为系统复习的参考书,亦可作为大学生深入学习本课程的辅助教材。

参加本书编写工作的有:刘明俊、于明祁、舒兆根、彭学锋、李雯和郭鸿武。张拥军博士为本书的编写给予了帮助,在此表示谢意。对为本书提供所选试题及资料的各高校的研究生招生办、老师和作者在此一并表示感谢。

由于作者水平和经验有限,书中仍难免有不妥之处,欢迎广大读者指正。

作 者

2007 年 7 月



第一章 自动控制的一般概念

1.1 考试要点 (1)

1.2 基础题型及综合题型精解 (1)

第二章 控制系统的数学模型

2.1 考试要点 (5)

2.2 基础题型及综合题型精解 (6)

第三章 时域分析法

3.1 考试要点 (16)

3.2 基础题型及综合题型精解 (18)

第四章 根轨迹法

4.1 考试要点 (35)

4.2 基础题型及综合题型精解 (36)

第五章 频率响应法

5.1 考试要点 (49)

5.2 基础题型及综合题型精解 (53)

第六章 线性控制系统的补偿与综合

6.1 考试要点 (77)

6.2 基础题型及综合题型精解 (80)

第七章 非线性系统分析

7.1 考试要点 (99)

7.2 基础题型及综合题型精解 (102)

第八章 采样系统理论

8.1 考试要点 (118)

8.2 基础题型及综合题型精解 (121)

Contents

第九章 线性系统状态空间分析法基础

- 9.1 考试要点 (137)
- 9.2 基础题型及综合题型精解 (141)

第十章 硕士研究生入学考试试卷及其解答

- 1. 北京航空航天大学 2005 年硕士研究生入学考试试题(1)
..... (187)
- 2. 北京航空航天大学 2005 年硕士研究生入学考试试题(2)
..... (189)
- 3. 武汉大学 2005 年硕士研究生入学考试试题 (191)
- 4. 上海交通大学 2005 年硕士研究生入学考试试题 (193)
- 5. 浙江大学 2005 年硕士研究生入学考试试题 (195)
- 6. 北京邮电大学 2005 年硕士研究生入学考试试题 (198)
- 7. 西安电子科技大学 2005 年硕士研究生入学考试试题
..... (200)
- 8. 电子科技大学 2005 年硕士研究生入学考试试题 (202)
- 9. 南京航空航天大学 2005 年硕士研究生入学考试试题
..... (204)
- 10. 石油大学 2005 年硕士研究生入学考试试题 (206)
- 11. 武汉理工大学 2005 年硕士研究生入学考试试题 (208)
- 12. 北京交通大学 2005 年硕士研究生入学考试试题 (209)
- 试卷参考答案 (212)

第一章

自动控制的一般概念

1.1 考试要点

1. 自动控制和自动控制系统

自动控制是指在没有人直接参与下,利用控制装置,使被控对象的被控量自动地按照预定规律变化。自动地实现上述控制功能的系统称为自动控制系统。

2. 自动控制工作原理

自动控制就其工作原理,可分为开环控制、闭环控制和复合控制三种控制方式。

3. 闭环控制系统的基本组成

自动控制系统由被控对象和控制器两部分组成。对于闭环控制系统,控制器一般应包括给定装置、比较装置、放大装置、测量装置、串联校正装置、反馈校正装置和执行机构。一个典型的闭环控制系统的方框图如图 1.1 所示。

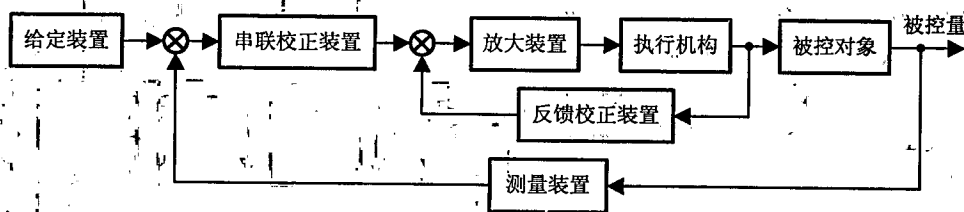


图 1.1 典型的闭环控制系统方框图

4. 要点

- (1) 正确理解和掌握开环控制、闭环控制和复合控制的特点。
- (2) 正确理解和掌握负反馈控制原理。
- (3) 根据不同自动控制系统的工作原理图,能确定出被控对象、被控量和输入量(给定值);能正确分析其工作原理、工作过程和控制任务;能指出每个环节的作用,并能画出相应的控制系统的方块图。上述内容是本章的重点也是难点。
- (4) 要掌握伺服控制系统和恒值控制系统的特点,能从系统工作原理图中加以判断。
- (5) 实现控制系统“稳、准、快”要求是本书主要研究的内容。

1.2 基础题型及综合题型精解

[例 1.1] 图 1.2 所示为自动记录仪小功率随动系统的原理图。待记录电压 u_g 为系统输入量,记录笔位移 L 为系统输出量。电位器 R_1 、 R_2 组成的桥式电路的输出 u_f 反映记录笔的位移。试分析系统的工作原理并画出原理方框图。

[解] 由图 1.2 知,桥式电路为测量元件, $u_e = u_g - u_f$ 为偏差信号。偏差信号经放大后驱动伺服电动机并经减速齿轮带动记录笔和电位器 R_2 的滑块移动。当 $u_g > u_f$ 时,偏差信号 u_e 为正,记录笔正向移动(如向左移动),同时 R_2 滑块移动结果使 u_f 增大,两者的偏差 u_e 减小;当 $u_g < u_f$ 时, u_e 为负,记录笔及 R_2 滑块均反向移动(如向右移动), u_f 减小,同样使两者偏差 u_e 的数值减小;当 $u_g = u_f$ 时, $u_e = 0$,记录笔及 R_2 滑块均停止移动。总之,该系统通过负反馈控制使记录笔的位移跟随输入信号变化而变化。系统的方框图如图 1.3 所示。

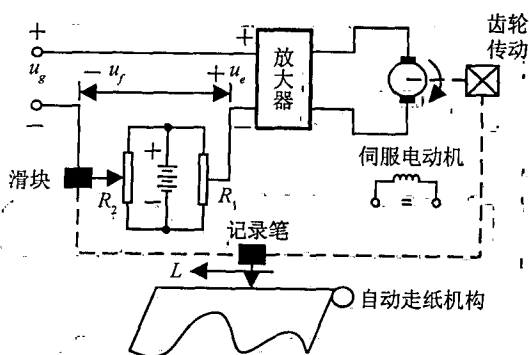


图1.2 例1.1自动记录仪随动系统原理图

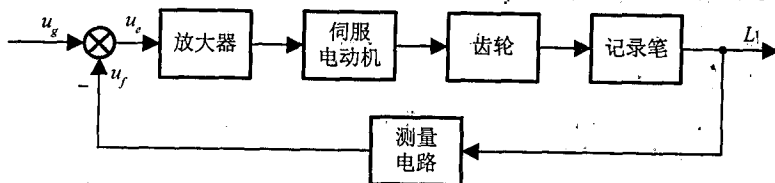


图1.3 例1.1自动记录仪方框图

[例 1.2] 某工业过程温度控制系统如图 1.4 所示,电位器上设定的电压 u_r 是系统的输入量,箱体内液体的实际温度 θ 为输出量,插入箱体内部的热电偶的输出 u_θ 与 θ 成正比。试分析该系统的工作原理并画出方框图。

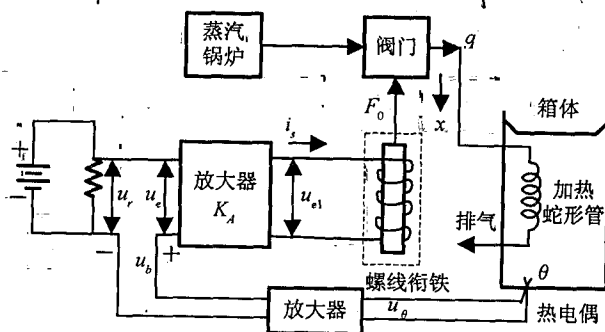


图1.4 例1.2工业过程温度控制系统

[解] 系统中,电压 u_r 为设定输入,它与设定温度 θ_0 成正比。热电偶的输出 u_θ 经过放大后得到电压 u_b ,与液体的实际温度 θ 成正比,调节放大系数,保证两者具有相同的比例。 $u_e = u_r - u_b$ 为误差信号,反映设定温度与实际温度的偏差情况。误差 u_e 放大后作为线圈的输入电压 u_{e1} 。在 u_{e1} 的作用下,线圈中产生一个与电流 i_e 成正比的作用力 F_0 ,该力作用在线圈铁芯上,控制蒸汽阀门的位置 x ,而阀门位置控制进入箱体内加热蛇形管的蒸汽流量 q ,而蒸汽流量 q 与箱体中液体的温度 θ 成正比。总之,系统中通过误差信号 u_e 控制蒸汽流量 q ,从而控制液体温度 θ 。系统方框图如图 1.5 所示。

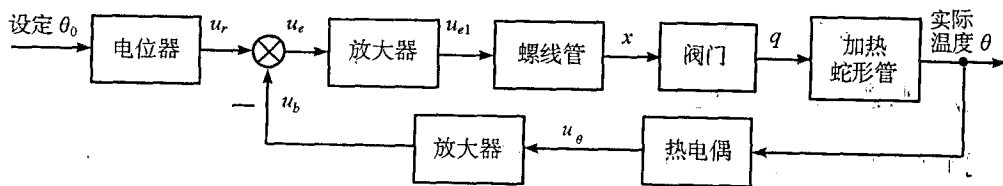


图1.5 例1.2温度控制系统方框图

〔例 1.3〕 图 1.6 为发电机电压调节系统,该系统通过测量电枢回路电流 i 产生附加的激磁电压 u_b 来调节输出电压 u_c 。试分析在电枢转速 ω 和激磁电压 u_g 恒定不变而负载变化的情况下系统的工作原理并画出原理方框图。

〔解〕 发电机在电枢转速 ω 和激磁电压 u_g 不变时,负载变化将引起输出电压 u_c 和电枢电流 i 的改变。当负载增大时,输出电压 u_c 下降,电枢电流 i 增大,相应地,通过测量电枢电流 i 得到的附加激磁电压 u_b 也增大。由图 1.6 知, u_b 和 u_g 极性一致,因此发电机的激磁电压上升,从而使输出电压加大,克服因负载增大引起的输出电压下降。系统原理方框图如图 1.7 所示。

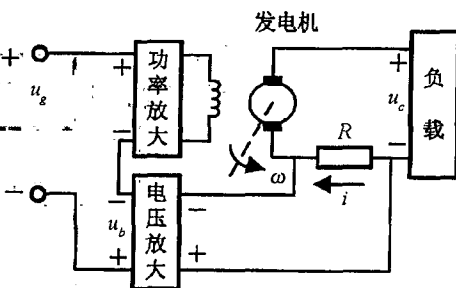


图 1.6 例 1.3 发电机电压调节系统

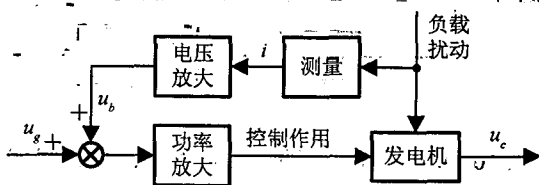


图 1.7 例 1.3 发电机电压调节系统方框图

〔例 1.4〕 (华中科技大学 2004 年研究生入学考试试题) 图 1.8 是一个阀门的人工控制系统原理示意图。操作员根据仪表显示的液体浓度来调节阀门,达到控制处理灌输出液体浓度的目的。

- (1) 该系统是开环控制还是闭环控制系统?
- (2) 画出系统的控制方框图(方框内可用文字说明),并指出什么是输入量,什么是输出量。
- (3) 为了实现自动控制功能,请用某些装置构成控制器,来取代人的操作,构成阀门自动控制系统(用控制方框图说明)。

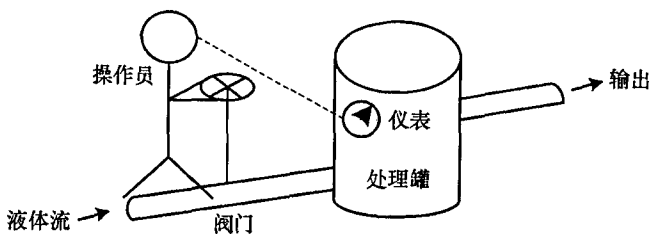


图 1.8 例 1.4 人工控制的阀门控制系统

〔解〕 (1) 该系统是闭环控制系统。

输出液体的浓度经仪表测量后反馈给操作员,操作员根据仪表显示的实际浓度,与要求的液体浓度(即给定的液体浓度)进行对比,及时控制阀门的开启程度。

(2) 人工控制系统控制方框图如图 1.9 所示。

系统中,输入量为期望的液体浓度给定值,输出量为实际的液体浓度。

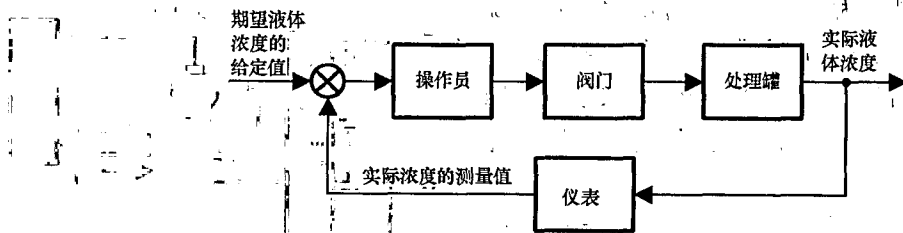


图 1.9 例 1.4 人工控制的液体浓度控制系统方框图

(3) 液体浓度自动控制系统控制方框图如图 1.10 所示。

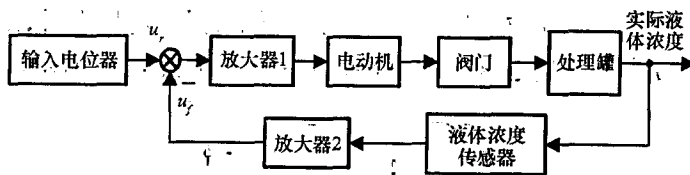


图 1.10 例 1.4 自动控制的液体浓度控制系统方框图

其中,输入电位器用来设置给定的液体浓度,其输出 u_r 与给定的液体浓度成正比。

液体浓度传感器用来测量实际的液体浓度,其输出 u_f 与实际的液体浓度成正比。调节放大器 2 的放大系数,确保 u_f 与实际液体浓度、 u_r 与给定液体浓度,两者具有相同的比例。

u_r 与 u_f 的差经放大器放大后控制电动机,电动机带阀门,从而控制了阀门的开启程度。通过控制阀门的不同开启程度,控制了液体流的流量,实现了对液体浓度的自动控制。

第二章

控制系统的数学模型

2.1 考试要点

1. 传递函数的定义和主要性质

对于线性定常系统,在零初始条件下,系统输出量的拉氏变换与输入量的拉氏变换之比称为系统的传递函数。传递函数描述了系统内在的固有特性,它只与系统的结构和参数有关而与系统输入和外干扰作用无关。传递函数是系统在 s 域的数学模型,它不仅可以表征系统的动态特性,还可以用它来研究系统的结构或参数的变化对系统性能的影响。

传递函数一般是复变量 s 的有理真分子函数,所有的系数均为实常值,故所有的零、极点均为实数或共轭复数。根据物理实现性,分子多项式的阶数小于或等于分母多项式的阶数。

传递函数只是对系统的一种外部描述,故不能反映系统内部各中间变量的情况。传递函数只能表达一个输入与一个输出量之间的关系。

传递函数是在零初始条件下得到的,已知系统的传递函数可以很容易得到系统的微分方程式,已知系统的输入和初始条件,可以求出系统的全响应。

传递函数的拉氏反变换是系统的单位脉冲响应,即 $g(t) = L^{-1}[G(s)]$ 。

2. 控制系统的典型传递函数

控制系统由一些典型传递函数组成:比例环节、微分环节、积分环节、惯性环节、一阶微分环节、振荡环节、二阶微分环节和延迟环节。后文会对这些环节从多方面进行深入研究。

3. 控制系统结构图

结构图是系统中各元件功能和信号流向的图解表示,它清楚地表明系统中各个环节间的相互关系,便于对系统进行分析和研究。典型的闭环控制系统结构如图 2.1 所示。

结构图中由信号线、引出线、比较点和方框组成,每个方框用 $G(s)$ 表示该方框对应的传递函数,基本环节包括串联、并联和反馈。

通常结构图是比较复杂的,要用结构图等等效变换来简化,这些等效包括串联等效、并联等效、反馈等效和比较点与分支点的前、后移动。结构图变换的等效变换规则必须遵循下面两个法则:

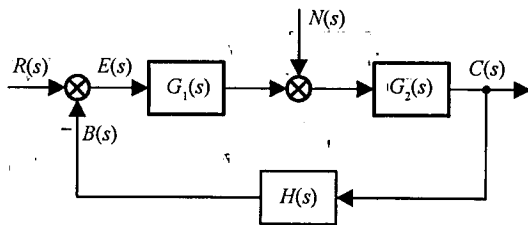


图2.1 闭环控制系统的结构图

(1) 各前向通路传递函数的乘积不变;

(2) 各回路传递函数的乘积不变。

在进行结构图简化时,比较点之间或分支点之间的前后移动比较方便,尽量不作比较点和分支点之间的交叉移动。

4 用梅逊公式求系统的传递函数

对于复杂的多回路系统,可以用梅逊公式求取闭环系统的传递函数。梅逊公式为

$$P = \frac{1}{\Delta} \sum_{k=1}^n P_k \Delta_k$$

式中, P 表示输入到输出的闭环传递函数;

n 表示从输入到输出的前向通路数;

P_k 表示第 k 条前向通路总增益;

$$\Delta = 1 - \sum L_a + \sum L_b L_c - \sum L_d L_e L_f + \cdots$$

称之为流图特征式,其中:

$\sum L_a$ 表示所有单独回路增益之和;

$\sum L_b L_c$ 表示在所有互不接触回路中,每次取两个回路的回路增益乘积之和;

$\sum L_d L_e L_f$ 表示在所有互不接触回路中,每次取三个回路的回路增益乘积之和;

Δ_k 为流图余项式,它等于在流图特征式 Δ 中除去与第 k 条前向通路相接触的回路增益后的余项式。

5. 要点

(1) 根据系统的工作原理图,确定相应环节的输入输出关系,能熟练建立各环节的传递函数。

(2) 根据各环节的传递函数能熟练画出系统的结构图。

(3) 熟练掌握结构图的变换规则,能熟练地把复杂的控制系统结构图通过结构图变换得到闭环系统的传递函数。

(4) 熟练掌握采用梅逊公式计算系统的闭环传递函数。



2.2 基础题型及综合题型精解



[例 2.1] (上海交通大学 2000 年研究生入学考试试题,哈尔滨工业大学 2000 年、1999 年,北京邮电学院 2000 年,北京航空航天大学 1999 年,上海交通大学 1996 年、1995 年研究生入学考试试题中有类似题目) 设机械系统如图 2.2 所示,其中 K_1 、 K_2 为弹性系数, μ_1 、 μ_2 为阻尼系数。试求系统传递函数 $X_c(s)/X_r(s)$, x_c 、 x_r 为位移。

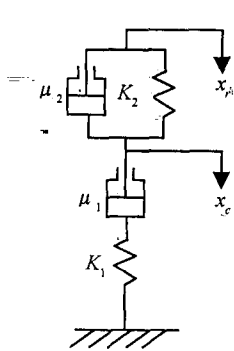


图 2.2 例 2.1 机械系统

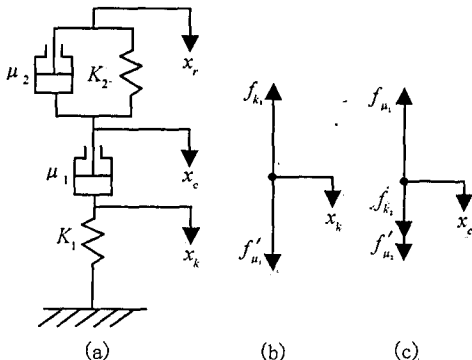


图 2.3 例 2.1 系统分析图

[解] 引入中间变量 x_k 如图 2.3(a)所示,用来反映弹簧 K_1 的位移。忽略弹簧和阻尼器的质量,对 x_k 和 x_c 的引出点分别进行受力分析如图 2.3(b)、(c)所示。

其中

$$\begin{aligned} f_{k_1} &= K_1 x_k \\ f'_{v_1} &= f_{\mu_1} = \mu_1 \frac{d}{dt}(x_c - x_k) \\ f'_{k_2} &= f_{k_2} = K_2(x_r - x_c) \\ f'_{v_2} &= f_{\mu_2} = \mu_2 \frac{d}{dt}(x_r - x_c) \end{aligned}$$

当系统平衡时,有

$$\begin{cases} \mu_1 \frac{d}{dt}(x_c - x_k) = K_1 x_k \\ \mu_1 \frac{d}{dt}(x_c - x_k) = \mu_2 \frac{d}{dt}(x_r - x_c) + K_2(x_r - x_c) \end{cases}$$

在零初始条件下,进行拉氏变换得

$$\begin{cases} \mu_1 s[X_c(s) - X_k(s)] = K_1 X_k(s) \\ \mu_1 s[X_c(s) - X_k(s)] = \mu_2 s[X_r(s) - X_c(s)] + K_2[X_r(s) - X_c(s)] \end{cases}$$

对于简单系统,可以采用消元法消去中间变量求传递函数。具体地消去 $X_k(s)$,得到传递函数为

$$\frac{X_c(s)}{X_r(s)} = \frac{\mu_1 \mu_2 s^2 + (\mu_1 K_2 + \mu_2 K_1)s + K_1 K_2}{\mu_1 \mu_2 s^2 + (\mu_1 K_1 + \mu_1 K_2 + \mu_2 K_1)s + K_1 K_2}$$

注意:系统中不同部件的位移不同,而机械阻尼器和弹簧产生的力均与相对位移有关。

[例 2.2] (上海交通大学 2000 年研究生入学考试试题,浙江大学 2003 年、东北大学 2004 年、华中科技大学 2004 年、哈尔滨工业大学 2000 年研究生入学考试试题中有类似题目)图 2.4 所示系统初值为零,

- (1) 列写系统的微分方程;
- (2) 确定其传递函数。

[解] 设回路电流为 i ,电容 C_1 电压为 u_{c_1} ,电容 C_2 电压为 u_{c_2} 。

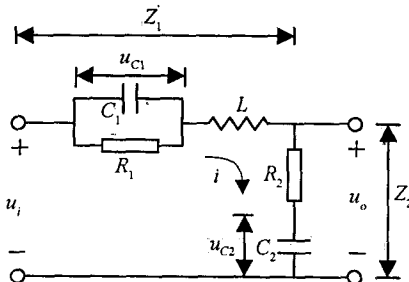


图2.4 例2.2 RLC无源网络

由基尔霍夫电压定律、电流定律得系统微分方程组为

$$\begin{cases} u_i = u_{c_1} + L \frac{di}{dt} + R_2 i + u_{c_2} \\ i = C_1 \frac{du_{c_1}}{dt} + \frac{u_{c_1}}{R_1} \\ i = C_2 \frac{du_{c_2}}{dt} \\ u_o = R_2 i + u_{c_2} \end{cases}$$

对本题,从微分方程组消去中间变量获得微分方程比较复杂,这里先确定系统传递函数,再反推微分方程。

已知系统初值为零,对上式进行拉氏变换得

$$\begin{cases} U_i(s) = U_{C_1}(s) + LsI(s) + R_2I(s) + U_{C_2}(s) \\ I(s) = C_1sU_{C_1}(s) + \frac{1}{R_1}U_{C_1}(s) \\ I(s) = C_2sU_{C_2}(s) \\ U_o(s) = R_2I(s) + U_{C_2}(s) \end{cases}$$

本例采用结构图求传递函数。为方便绘制结构图,按照输入量在方程组第一个方程的右端,输出量在最后一个方程的左端的原则整理上式,而中间变量的次序不受限制。

$$\begin{cases} I(s) = \frac{U_i(s) - U_{C_1}(s) - U_{C_2}(s)}{Ls + R_2} \\ U_{C_1}(s) = \frac{1}{C_1s + \frac{1}{R_1}}I(s) = \frac{R_1}{R_1C_1s + 1}I(s) \\ U_{C_2}(s) = \frac{1}{C_2s}I(s) \\ U_o(s) = R_2I(s) + U_{C_2}(s) \end{cases}$$

依照该方程组由左到右绘制系统结构图如图 2.5 所示。

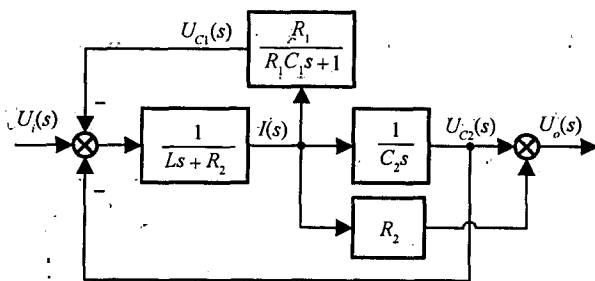


图2.5 例2.2 RLC网络的系统结构图

由结构图知:系统有两条前向通路,两个相互接触回路,其中

$$P_1 = \frac{1}{C_2s(Ls + R_2)} \quad \Delta_1 = 1$$

$$P_2 = \frac{R_2}{Ls + R_2} \quad \Delta_2 = 1$$

$$\Delta = 1 + \frac{R_1}{(Ls + R_2)(R_1C_1s + 1)} + \frac{1}{C_2s(Ls + R_2)}$$

所以
$$\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{P_1\Delta_1 + P_2\Delta_2}{\Delta}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\frac{1}{C_2s(Ls + R_2)} + \frac{R_2}{Ls + R_2}}{1 + \frac{R_1}{(Ls + R_2)(R_1C_1s + 1)} + \frac{1}{C_2s(Ls + R_2)}} \\ &= \frac{R_1R_2C_1C_2s^2 + (R_1C_1 + R_2C_2)s + 1}{R_1C_1C_2Ls^3 + (R_1R_2C_1C_2 + C_2L)s^2 + (R_1C_1 + R_2C_2 + R_1C_2)s + 1} \end{aligned}$$

求系统传递函数,还可以使用第二种解法:应用阻抗法直接求电路的传递函数。

[解] 阻抗 Z_1 、 Z_2 如图 2.4 所示, 由图知

$$Z_1 = Ls + \frac{1}{C_1 s} \parallel R_1 = Ls + \frac{R_1}{R_1 C_1 s + 1}$$

$$Z_2 = R_2 + \frac{1}{C_2 s} = \frac{R_2 C_2 s + 1}{C_2 s}$$

$$\begin{aligned} \frac{U_o(s)}{U_i(s)} &= \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{\frac{R_2 C_2 s + 1}{C_2 s}}{\frac{R_2 C_2 s + 1}{C_2 s} + Ls + \frac{R_1}{R_1 C_1 s + 1}} \\ &= \frac{(R_2 C_2 s + 1)(R_1 C_1 s + 1)}{(R_2 C_2 s + 1)(R_1 C_1 s + 1) + C_2 L s^2 (R_1 C_1 s + 1) + R_1 C_2 s} \\ &= \frac{R_1 R_2 C_1 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2)s + 1}{R_1 C_1 C_2 L s^3 + (R_1 R_2 C_1 C_2 + C_2 L)s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_1 C_2)s + 1} \end{aligned}$$

对所得传递函数进行拉氏反变换, 求得输入输出间的微分方程为

$$\begin{aligned} R_1 C_1 C_2 L \ddot{u}_0 + (R_1 R_2 C_1 C_2 + C_2 L) \ddot{u}_0 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_1 C_2) \dot{u}_0 + u_0 \\ = R_1 R_2 C_1 C_2 \dot{u}_i + (R_1 C_1 + R_2 C_2) \dot{u}_i + u_i \end{aligned}$$

[例 2.3] (上海交通大学 2004 年研究生入学考试试题, 西安交通大学 2000 年研究生入学考试试题中有类似题目) 试求图 2.6 所示运算放大器电路的传递函数 $E_o(s)/E_i(s)$ 。

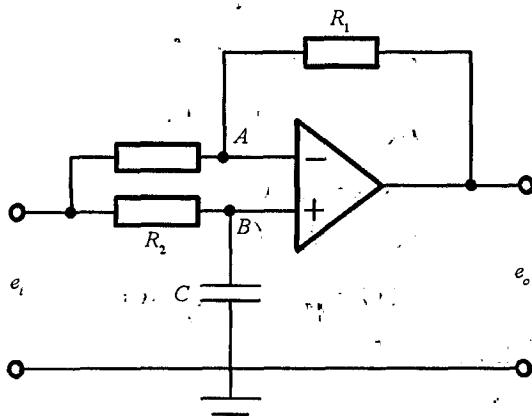


图 2.6 例 2.3 RC 有源网络

[解] 由图知, 运算放大器为本级反馈, 反馈通路接回到反相输入端, 因此运算放大器为负反馈, 近似有正、反相输入端输入电流为零, 即 $i_+ = i_- = 0$, 正、反相输入端电压相等, 即 $u_A = u_B$ 。

由电路知

$$\begin{cases} \frac{e_o - u_A}{R_1} = \frac{u_A - e_i}{R_1} \\ i_c R_2 + u_B = e_i \\ i_c = C \frac{dU_B}{dt} \end{cases}$$

整理得

$$\begin{cases} e_0 = 2u_A - e_i \\ R_2 C \frac{du_A}{dt} + u_A = e_i \end{cases}$$

在零初始条件下,进行拉氏变换得

$$\begin{cases} E_0(s) = 2U_A(s) - E_i(s) \\ (R_2 Cs + 1)U_A(s) = E_i(s) \end{cases}$$

所以

$$\frac{E_0(s)}{E_i(s)} = \frac{1 - R_2 Cs}{1 + R_2 Cs}$$

[例 2.4] 已知机电系统如图 2.7 所示。

求传递函数 $G(s) = X(s)/E(s)$ 。提示:假定电磁线圈的反电势 $e_b = K_1 \frac{dx}{dt}$, 线圈电流 i_2 对衔铁 M 产生的力 $F_0 = K_2 i_2$ 。

[解] 本系统的输入量为 $e(t)$, 输出量为 $x(t)$, 中间变量取 $i_1(t)$ 、电容上电压 $u_c(t)$ 、 $i_2(t)$ 、 $F_0(t)$ 及 $e_b(t)$ 。这些量之间的物理关系为

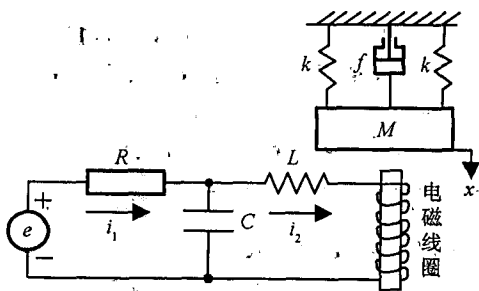


图2.7 例2.4机电系统

$$\begin{cases} I_1(s) = \frac{E(s) - U_c(s)}{R} \\ U_c(s) = \frac{I_1(s) - I_2(s)}{Cs} \\ I_2(s) = \frac{U_c(s) - E_b(s)}{Ls} \\ E_b(s) = K_1 sX(s) \\ F_0(s) = K_2 I_2(s) \\ X(s) = \frac{1}{Ms^2 + fs + 2k} F_0(s) \end{cases}$$

由上列关系可得如图 2.8 所示信号流图。

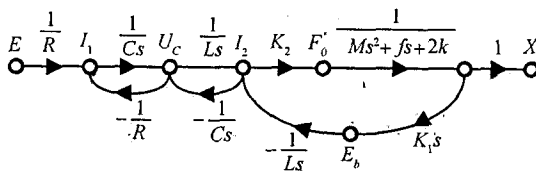


图2.8 例2.4系统信号流图

由图知,有一条前向通道,三个单独回路上有两两互不接触回路,具体地:

$$P_1 = \frac{K_2}{RCLs^2(Ms^2 + fs + 2k)} \quad \Delta_1 = 1$$

$$\Delta = 1 + \frac{1}{RCs} + \frac{1}{LCs^2} + \frac{K_1 K_2}{L(Ms^2 + fs + 2k)} + \frac{K_1 K_2}{RCLs(Ms^2 + fs + 2k)}$$

所以

$$G(s) = \frac{X(s)}{E(s)} = \frac{P_1 \Delta_1}{\Delta}$$

$$= \frac{K_2}{RLCMs^4 + (RLCf + LM)s^3 + (2RLCk + If + RM + RCK_1 K_2)s^2 + (2Lk + Rf + K_1 K_2)s + 2Rk}$$

[例 2.5] (中国科学院—中国科学技术大学 2004 年研究生入学考试试题, 西安电子科技大学 2005 年、电子科技大学 2003 年、哈尔滨工业大学 1999 年、南京航空航天大学 1998 年研究生入学考试试题中有类似题目) 控制系统方块图如图 2.9 所示。试用化简方块图方法, 求闭环传递函数 $Y(s)/R(s)$ 和 $Y(s)/N(s)$ 。

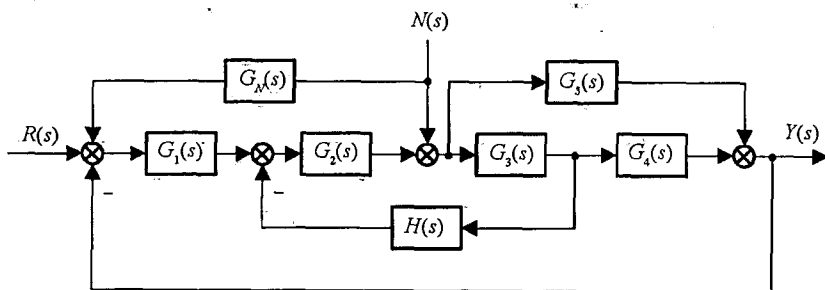
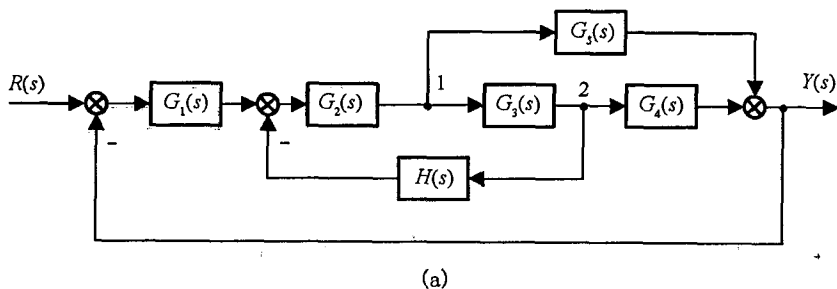


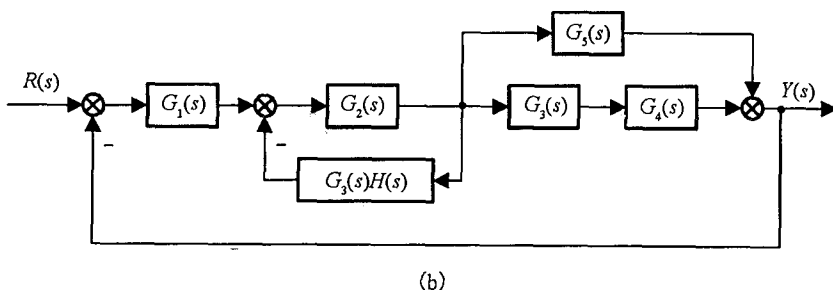
图 2.9 例 2.5 系统结构图

[解] (1) $R(s) \neq 0, N(s) = 0$, 方块图简化为图 2.10(a)。



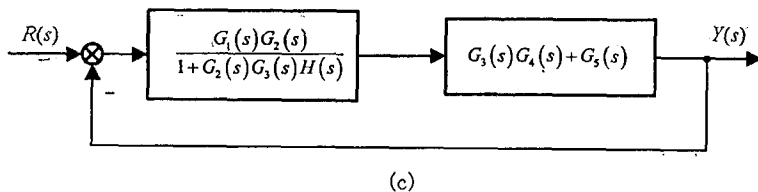
(a)

将图 2.10(a)引出点 2 移至引出点 1 前, 得图 2.10(b)。



(b)

进一步简化得图 2.10(c)。



(c)