

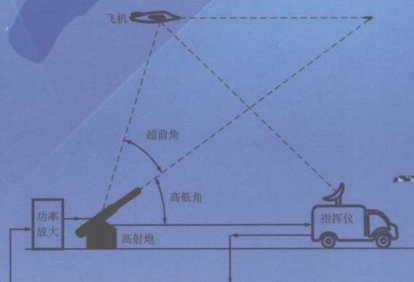
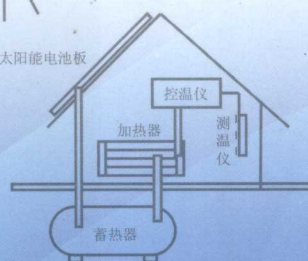
自动控制原理 习题精解与考研指导

徐薇莉 主编

韩正之 王唯一 主审



太阳能电池板



上海交通大学出版社

要 容 内

自动控制原理习题 精解与考研指导

主编 徐薇莉

编写 徐薇莉 李曼珍

副主编 傅新海

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

副主编 傅新海

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版委员会

副主编 傅新海

上海交通大学出版委员会

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书紧扣国家教育部“自动控制原理”课程教学大纲及该课程研究生入学考试的要求,编制了大量有一定技巧性和较强综合性的例题、习题、提高题和补充题,书末汇集了部分大学近年来的研究生入学考试或复试的真题。所有题目都有详解。

本书是与十一五国家规划教材《自动控制理论与设计》(新版)相配套的学习指导用书,也可作为其他《自动控制原理》教材的辅导书,同时也可作为控制工程技术人员的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理习题精解与考研指导/徐薇莉主编. —上海:
上海交通大学出版社,2009
ISBN 978-7-313-05539-2

I. 自… II. 徐… III. 自动控制理论—研究生—入学
考试—解题 IV. TP13—44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 202198 号

自动控制原理习题

精解与教研指导

徐薇莉 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

上海交大印务有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:15.5 字数:377 千字

2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷

印数:1~3 030

ISBN 978-7-313-05539-2/TP·709 定价:29.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

本书是与十一五国家规划教材《自动控制理论与设计》(新版)(上海交通大学出版社,2007年)相配套的学习指导用书,也可作为其他《自动控制原理》教材的辅导书。本书紧扣国家教育部“自动控制原理”课程教学大纲及该课程研究生入学考试的要求,编制了大量有一定技巧性和较强综合性的例题、习题、提高题和补充题。作者根据多年的教学经验在每一章的第一节总结了易混淆的概念和解题中应注意的问题。

本书的符号及习题次序与《自动控制理论与设计》(新版)基本一致。例题、习题、提高题和补充题都给出了较详细的解答。书中汇集了上海交通大学,东华大学,上海大学,同济大学近年来的研究生入学考试或复试的真题。所有试题都有详解,以满足读者自我检查和进行实战性训练的需要。我们相信,通过本书的学习,一定能使读者在有限的时间内融会贯通已学的基本概念,掌握解题的方法和技巧,大大提高解题的能力。

本书由上海交通大学徐薇莉主编,东华大学李曼珍副教授编写了第四章,第二章由李曼珍与上海理工大学杨文焕教授编写,同济大学沈祥林教授编写了第三章与第八章,第一,五,六,七章由徐薇莉编写。上海交通大学的韩正之教授和上海大学的王唯一副教授独立地对全书作了认真地审稿,并提出了中肯的修改意见。在本书的编写过程中,我们参阅了很多自动控制方面的参考书(参考文献只列出了其中的主要几本),在此向这些学者、专家表示由衷的谢意。

我们恳切希望关心本书的读者,对书中存在的问题和错误给予批评和指正,以便作进一步的修订和完善。

联系的 E-mail 地址是:

wlxu@sjtu.edu.cn

zzhan@sjtu.edu.cn

编者

2009年2月

目 录	
1. 绪论	1
1.1 分析和解决问题时的注意点	1
1.2 典型例题	1
1.3 习题精解	2
1.4 提高题精解	3
1.5 补充题精解	5
2. 控制系统的数学模型	8
2.1 分析和解决问题时的注意点	8
2.2 典型例题	8
2.3 习题精解	18
2.4 提高题精解	28
2.5 补充题精解	34
3. 控制系统的时域分析	48
3.1 分析和解决问题时的注意点	48
3.2 典型例题	48
3.3 习题精解	52
3.4 提高题精解	67
3.5 补充题精解	75
4. 根轨迹法	77
4.1 分析和解决问题时的注意点	77
4.2 典型例题	77
4.3 习题精解	85
4.4 提高题精解	92
4.5 补充题精解	98
5. 频率响应法	106
5.1 分析和解决问题时的注意点	106
5.2 典型例题	106
5.3 习题精解	112
5.4 提高题精解	123
5.5 补充题精解	131
6. 控制系统设计	136

6.1	分析和解决问题时的注意点	136
6.2	典型例题	136
6.3	习题精解	141
6.4	提高题精解	153
6.5	补充题精解	163
7.	非线性反馈控制系统	169
7.1	分析和解决问题时的注意点	169
7.2	典型例题	169
7.3	习题精解	176
7.4	提高题精解	187
7.5	补充题精解	190
8.	采样控制系统	197
8.1	分析和解决问题时的注意点	197
8.2	典型例题	197
8.3	习题精解	202
9.	研究生入学试卷及精解	209
9.1	试卷(一)	209
9.2	试卷(二)	217
9.3	试卷(三)	218
9.4	试卷(四)	222
9.5	试卷(五)	225
9.6	试卷(六)	232
	主要参考文献	239

1 绪 论

1.1 分析和解决问题时的注意点

(1) 在绘制系统原理方块图时应注意以下几点:

① 要注意系统输入量、输出量的选取,被控对象通常是物理实体,表征其工作状态的物理量为系统输出量。

② 测量元件通常为反馈元件。

③ 分析是否存在扰动信号,找寻扰动的位置。

(2) 因为环节划分的细致程度可不同,所以原理方块图非唯一。

1.2 典型例题

例 1.2.1 磁盘读/写头位置控制系统如图 1-1 所示。请分析系统工作原理,并画出原理方块图。

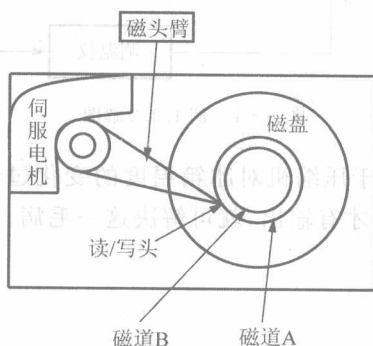


图 1-1 例 1.2.1 图

解 系统工作原理:通过传感器将磁盘读/写头的实际位置信息回送至输入端,与要求的读/写头位置信息进行比较,产生的误差信息送入控制器形成控制信号,经放大后控制伺服电机带动读/写头臂向缩小误差的方向转动,一直到误差为零。

磁盘读/写头位置控制系统原理方块图如图 1-2 所示。



图 1-2 例 1.2.1 解图

例 1.2.2 电冰箱制冷系统原理如图 1-3 所示。继电器的输出电压 u_a 为压缩机上的工作电压。绘制电冰箱制冷控制系统原理方块图。若出现压缩机频繁启动,请提出相应的改进措施。

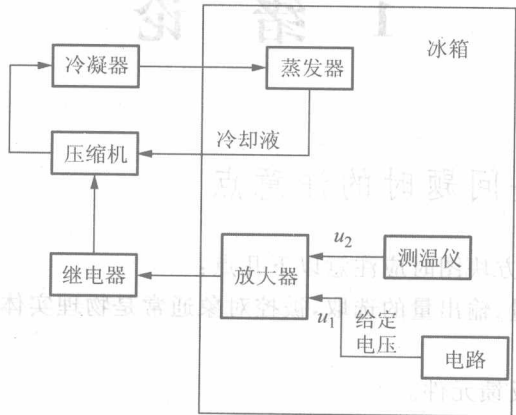


图 1-3 例 1.2.2 图

解 电冰箱制冷控制系统原理方块图如图 1-4 所示。

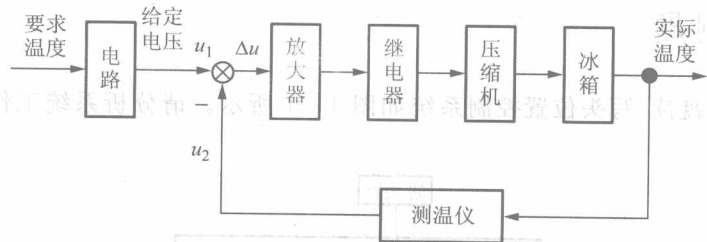


图 1-4 例 1.2.2 解图

压缩机出现频繁启动,是由于压缩机对冰箱温度的变化过于敏感。只要降低放大器的放大倍数,使 Δu 值更大些,继电器才有输出,就可解决这一毛病。

1.3 习题精解

P1.3.1 画出水位控制系统(见图 1-5)的原理方块图。图中, M 为电动机,电枢电压由电压 u 通过电位器分压提供, N_1, N_2 为齿轮齿数。

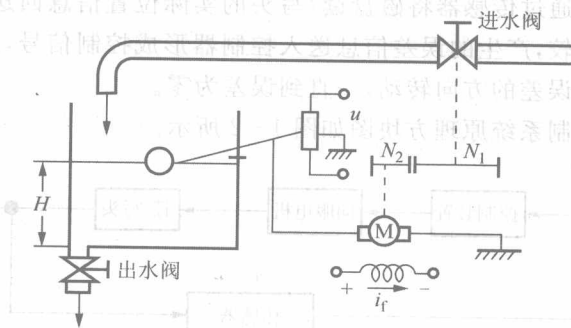


图 1-5 P1.3.1 图

解 该水位控制系统的原理方块图如图 1-6 所示。

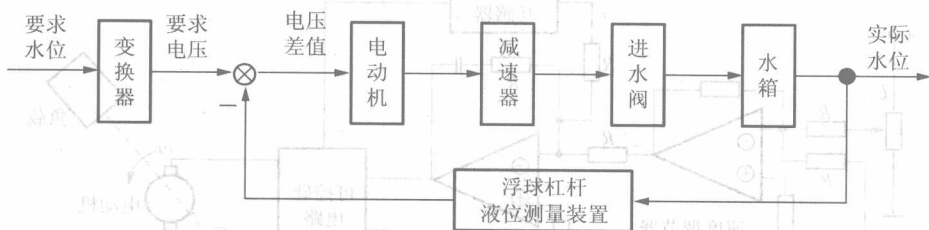


图 1-6 P1.3.1 解图

P1.3.2 张力控制系统如图 1-7 所示,试说明当送料速度在短时间内突然变化时控制系统的作用情况。

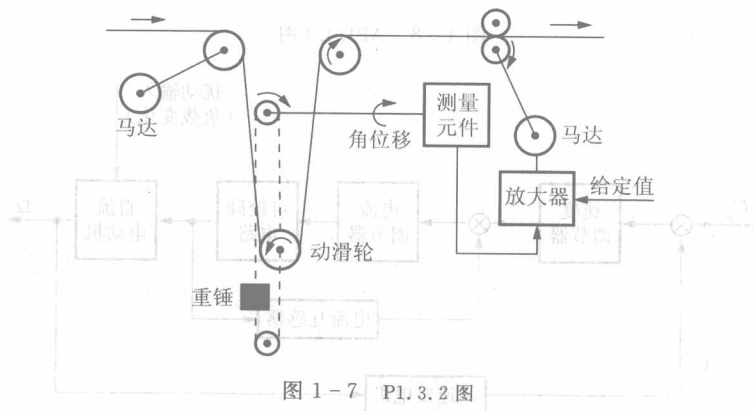


图 1-7 P1.3.2 图

解 图 1-7 为恒值控制系统。当给定值设定后,系统稳定工作的情况下,送料速度为要求的数值,此时重锤与动滑轮受力平衡,测量角位移为零,系统处于动态平衡状态。

当送料速度在短时间内突然变化,则使带料在输送过程中的张力发生改变,重锤与动滑轮的平衡状态被破坏,它们的相互位置发生改变,由此测量轴产生角位移,并经测量元件转化为电压,此电压送放大器与给定值进行比较、偏差信号经放大后成为校正电压,控制马达的转速,使送料速度恢复为要求的速度。

1.4 提高题精解

AP1.4.1 直流电动机双闭环调速系统的原理图如图 1-8 所示。该系统中除具有速度反馈(通常称为主反馈)外,还具有电流反馈(通常称为局部反馈)。试画出该系统的原理方块图并分析哪些装置起测量、比较、执行和校正作用。

解 直流电动机双闭环调速系统的原理方块图如图 1-9 所示。

可控硅电路的电流输出经电流互感器形成局部反馈。可控硅电路的电压输出加在直流电动机的电枢上使电动机旋转。电动机输出转速经测速发电机形成主反馈。

电流互感器、测速发电机起测量作用,为反馈元件。速度调节器的输入电路、电流调节器的输入电路起比较作用。执行元件为可控硅电路。速度调节器与电流调节器起校正作用。直流电动机为控制对象。

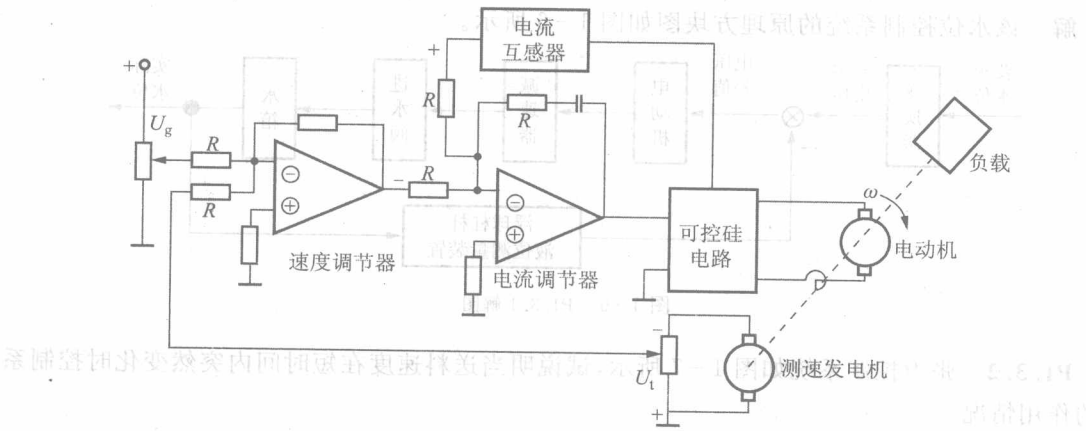


图 1-8 AP1.4.1 图

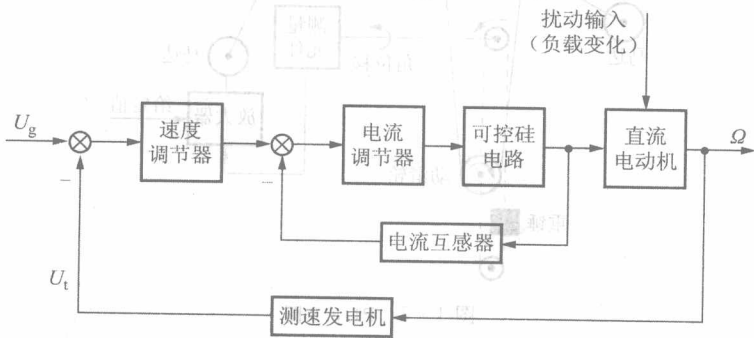


图 1-9 AP1.4.1 解图

AP1.4.2 图 1-10 是对负载力矩实现扰动补偿的恒速系统,试讨论:

- (1) 补偿装置(包括电阻 R 和电压放大器)的工作原理,画出其原理方块图。
- (2) 该补偿装置能否补偿电动机激磁电压 u_f 变化引起的转速变化。

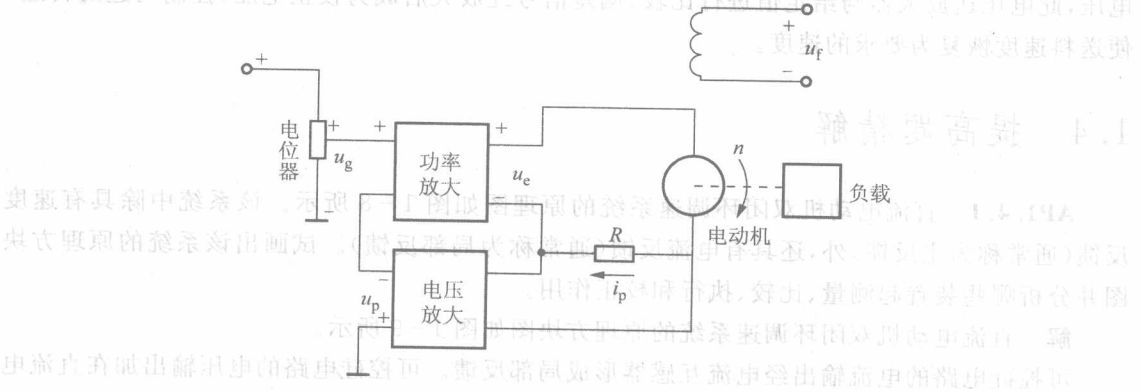


图 1-10 AP1.4.2 图

解 (1) 通过测量反映负载变化的电枢电流,进而产生附加控制信号 u_p 。这是一个扰动控制系统。要注意, u_g 与 u_p 的极性相同。原理方块图如图 1-11 所示。

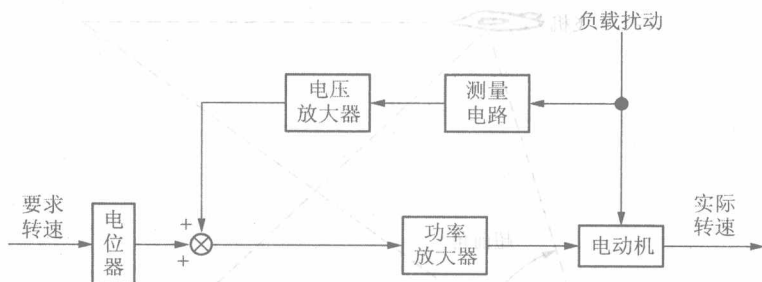


图 1-11 AP1.4.2 解图

(2) 该补偿装置不能补偿电动机激磁电压 u_f 变化引起的转速变化。因为不存在对电动机实际转速进行测量反馈的控制。

1.5 补充题精解

SP1.5.1 ① 人驾驶汽车 ② 投掷铅球 ③ 给浴缸放洗澡水

上面过程是闭环控制的是：

(A) ②, ③ (B) ①, ②, ③ (C) ①, ③ (D) ①, ②

请选择。

解 (C)

SP1.5.2 某一洗衣机控制原理如图 1-12 所示，

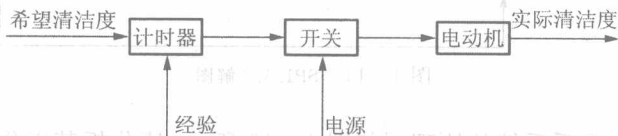


图 1-12 SP1.5.2 图

该系统为：

(A) 恒值控制系统； (B) 随动控制系统； (C) 程序控制系统。

解 该洗衣机控制是开环程序控制系统。

SP1.5.3 图 1-13 为高射炮炮管高低角控制系统，请分析其工作原理，画出系统原理方块图。

解 高射炮炮管高低角与炮身水平角控制系统的工作原理类似，高射炮炮管高低角控制系统的原理方块图如图 1-14 所示，炮管高低角的速度信号（即高低角的微分信号）经补偿装置形成前馈控制，由于炮管高低角的速度信号总比高低角信号提前起控制作用，因此只要能选择合适的前馈补偿器参数，就能使系统跟踪高速的飞行目标，提高射击精度。

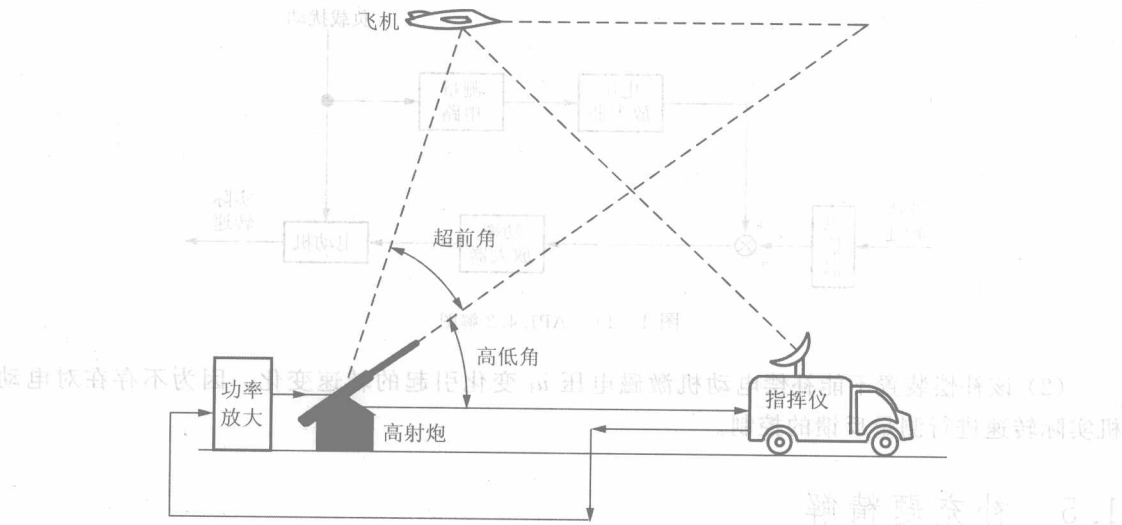


图 1-13 SP1.5.3 图

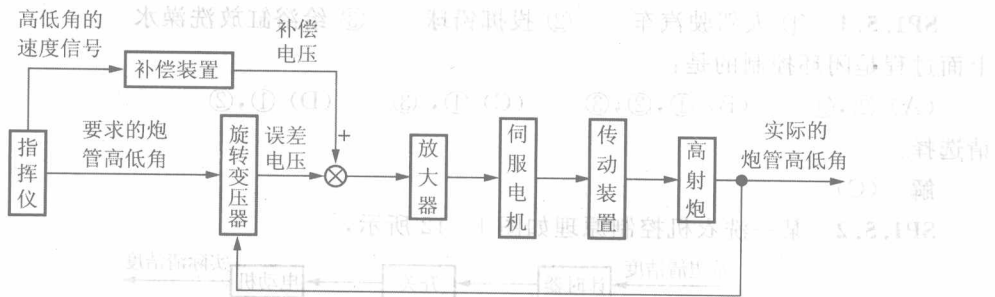


图 1-14 SP1.5.3 解图

SP1.5.4 太阳能采暖系统的原理图如图 1-15 所示,请分析其工作原理,画出系统原理方块图,并说明太阳能电池板和蓄电器在系统中的作用。

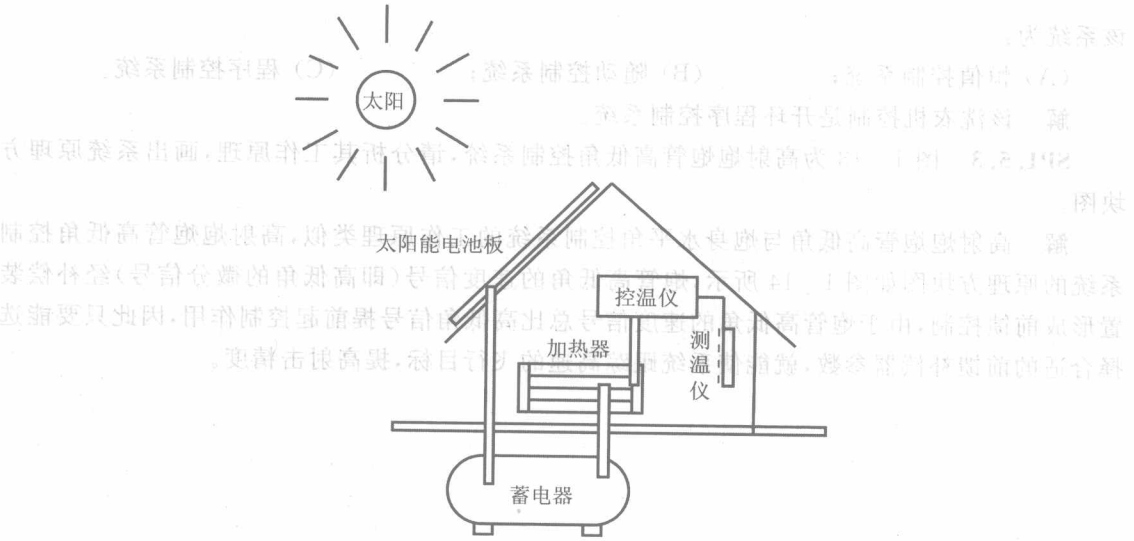


图 1-15 SP1.5.4 图

解 太阳光照在太阳能电池板上,将光能转变为电能储存在蓄电器中以备使用。当房间温度低于或高于要求的温度时,测温仪将测定的房间实际温度值送入控温仪,与要求温度的设定值进行比较,产生一控制信号,使蓄电器中的电能通过加热器转化的热量增加或减少,使房间温度达到要求。

太阳能采暖系统的原理方块图如图 1-16 所示。

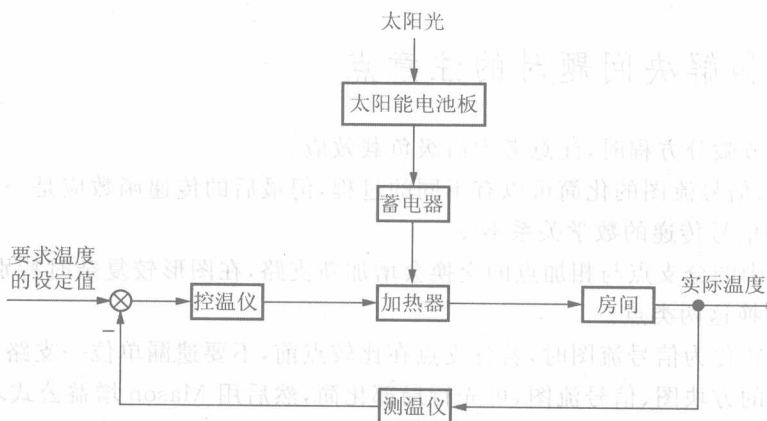


图 1-16 SP1.5.4 解图

SP1.5.5 两个系统如图 1-17(a)、(b)所示,都是自动调压系统。

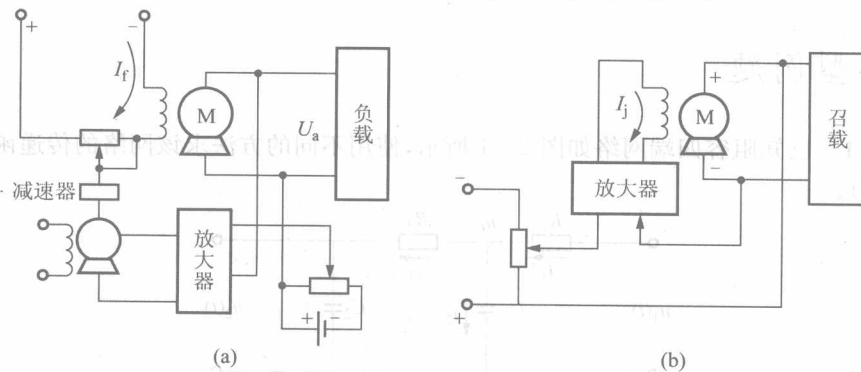


图 1-17 SP1.5.5 图

空载时系统(a)、(b)的端电压相同,试问:带上负载后,以下哪个答案是正确的。

- (A) 两系统都不能保持发电机端电压不变;
- (B) 两系统都能保持发电机端电压不变;
- (C) 系统(a)能保持发电机端电压不变;
- (D) 系统(b)能保持发电机端电压不变。

解 (C)是正确的。

2 控制系统的数学模型

2.1 分析和解决问题时的注意点

- (1) 列写环节微分方程时,注意考虑后级负载效应。
- (2) 方块图、信号流图的化简可以有不同的过程,但最后的传递函数应是一致的。在简化过程中必须保持信号传递的数学关系不变。
- (3) 方块图中的分支点与相加点的交换会增加新支路,在图形较复杂时特别容易出错,所以应尽量避免交换这两类点。
- (4) 方块图转化为信号流图时,若分支点在比较点前,不要遗漏单位一支路。
- (5) 对复杂的方块图、信号流图,可先行局部化简,然后用 Mason 增益公式求解。
- (6) 利用 Mason 增益公式求传递函数时,要注意互不接触环的概念,在求 Δ_i 时不要漏项。
- (7) 在计算旋转机械系统的数学模型时,不要忘记将负载及传动齿轮的转动惯量和粘摩擦折算到电机轴上。

2.2 典型例题

例 2.2.1 已知阻容四端网络如图 2-1 所示,使用不同的方法求该网络的传递函数 $G(s) = U_2(s)/U_1(s)$ 。

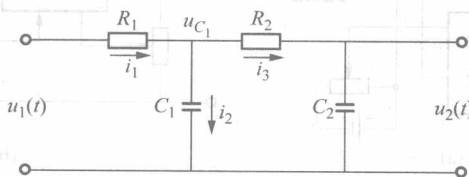


图 2-1 例 2.2.1 图

解法 1 利用传递函数定义求,由图 2-1 列写微分方程组

$$u_2 + i_3 R_2 = u_{C_1},$$

$$u_{C_1} + i_1 R_1 = u_1,$$

$$i_3 = C_2 \frac{du_2}{dt},$$

$$i_1 = i_2 + i_3,$$

$$i_2 = C_1 \frac{du_{C_1}}{dt}.$$

消去中间变量 i_1, i_2, i_3, u_{C_1} , 整理得到该网络的微分方程为

$$R_1 C_1 R_2 C_2 \frac{d^2 u_2}{dt^2} + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2) \frac{du_2}{dt} + u_2 = u_1.$$

设初始条件为零,对上式取拉氏变换得

$$R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 U_2(s) + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2) s U_2(s) + U_2(s) = U_1(s),$$

所以
$$G(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = \frac{1}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2) s + 1}.$$

解法 2 利用复阻抗法求传递函数。

将图 2-1 改为图 2-2 形式,其中电阻和电容表示为复阻抗。

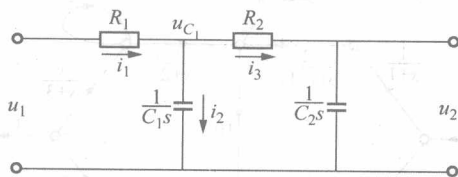


图 2-2 例 2.2.1 解图(一)

根据电路基本定律可求得

$$\begin{aligned} G(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} &= \frac{\frac{1}{C_1 s} \left(R_2 + \frac{1}{C_2 s} \right)}{\frac{1}{C_1 s} + R_2 + \frac{1}{C_2 s}} \cdot \frac{\frac{1}{C_2 s}}{R_2 + \frac{1}{C_2 s}} \\ &= \frac{1}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2) s + 1}. \end{aligned}$$

解法 3 利用方块图化简求传递函数。

将图 2-2 改画为图 2-3,进行等效变换和运算后,分别得到图 2-4 和图 2-5。

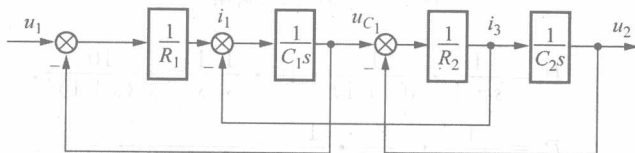


图 2-3 例 2.2.1 解图(二)

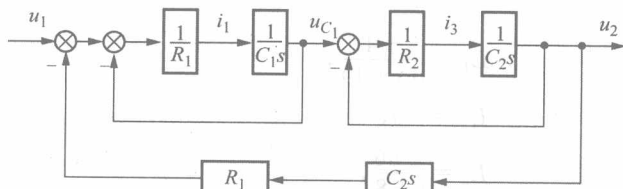


图 2-4 例 2.2.1 解图(三)

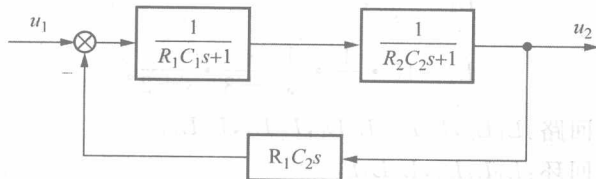


图 2-5 例 2.2.1 解图(四)

由图 2-5 可得

$$G(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = \frac{1}{1 + \frac{R_1 C_2 s}{(R_1 C_1 s + 1)(R_2 C_2 s + 1)}} = \frac{1}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2)s + 1}。$$

例 2.2.2 研究图 2-6 所示系统, 利用 Mason 公式求输入 $R(s)$ 到输出 $C(s)$ 的传递函数。

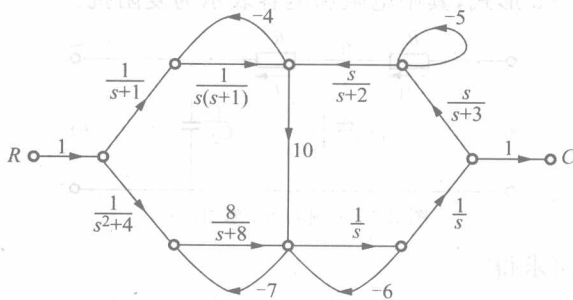


图 2-6 例 2.2.2 图

解 由图 2-7 可见, 仅有 2 条前向通路

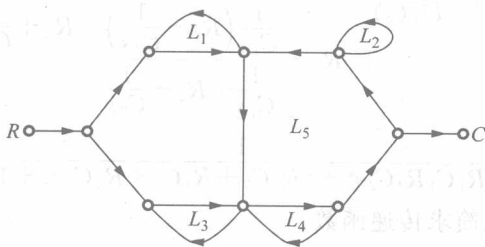


图 2-7 例 2.2.2 解图

$$P_1 = \frac{1}{s+1} \cdot \frac{1}{s(s+1)} \cdot 10 \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{s} = \frac{10}{s^3(s+1)^2},$$

$$P_2 = \frac{1}{s^2+4} \cdot \frac{8}{s+8} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{s} = \frac{8}{s^2(s^2+4)(s+8)}。$$

有 5 个单独回路

$$L_1 = \frac{-4}{s(s+1)},$$

$$L_2 = -s,$$

$$L_3 = \frac{-56}{s+8},$$

$$L_4 = \frac{-6}{s},$$

$$L_5 = 10 \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{s}{s+3} \cdot \frac{s}{s+2}。$$

5 个两两互不接触回路: $L_1 L_2, L_1 L_3, L_1 L_4, L_2 L_3, L_2 L_4。$

2 个三三互不接触回环: $L_1 L_2 L_3, L_1 L_2 L_4。$

$$\Delta = 1 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5) + (L_1 L_2 + L_1 L_3 + L_1 L_4 + L_2 L_3 + L_2 L_4) - (L_1 L_2 L_3 + L_1 L_2 L_4),$$

$$\Delta_1 = 1 - L_2,$$

$$\Delta_2 = 1 - (L_1 + L_2) + L_1 L_2.$$

最后,利用 Mason 公式可求得从 $R(s)$ 到 $C(s)$ 的总增益为

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{P_1 \Delta_1 + P_2 \Delta_2}{\Delta}.$$

式中: $P_1, P_2, \Delta_1, \Delta_2, \Delta$ 已由前面计算结果给出。

例 2.2.3 利用传递函数方法求解微分方程 $\frac{d^2 y}{dt^2} + 4 \frac{dy}{dt} + 3y = 2r(t)$,

初始条件为: $y(0) = 1, \left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=0} = 0; r(t) = 1, t \geq 0$ 。

解 对微分方程两边进行 Laplace 变换得

$$[s^2 Y(s) - sy(0) - \dot{y}(0)] + 4[sY(s) - y(0)] + 3Y(s) = 2R(s),$$

代入初始条件后求得

$$Y(s) = \frac{s^2 + 4s + 2}{s(s^2 + 4s + 3)} = \frac{s^2 + 4s + 2}{s(s+1)(s+3)}.$$

利用部分分式展开法得

$$Y(s) = \frac{2}{3s} + \frac{1}{2(s+1)} - \frac{1}{6(s+3)},$$

Laplace 反变换后得

$$y(t) = \frac{2}{3} + \frac{1}{2}e^{-t} - \frac{1}{6}e^{-3t},$$

该解由两部分组成

$$\text{稳态分量: } y(\infty) = \frac{2}{3}; \text{ 瞬态分量: } \frac{1}{2}e^{-t} - \frac{1}{6}e^{-3t}.$$

例 2.2.4 一个线性定常系统的传递函数为

$$G(s) = \frac{3s+2}{2s^3+4s^2+5s+1},$$

试用 Matlab 建立其传递函数并确定它的极点和零点;绘制系统的脉冲响应。

解 %例 2.2.4 源程序

```
num=[3 2];den=[2 4 5 1];
```

```
g=tf(num,den)
```

%传递函数一般形式的分子分母多项式;

```
gg=zpk(g)
```

%传递函数的时间常数表达式;

```
impz(g)
```

%绘制脉冲响应曲线(见图 2-8)。

Transfer function:

$$\frac{3s+2}{2s^3+4s^2+5s+1}$$

gain:/Zero/pole:

$$\frac{1.5(s+0.6667)}{(s+0.2408)(s^2+1.759s+2.076)}$$