



大学课程学习与考研
全程辅导系列丛书

考研 大串讲

自动控制原理

梅晓榕 主 编

柏桂珍 王述一 副主编



科学出版社
www.sciencep.com

大学课程学习与考研全程辅导系列丛书

自动控制原理考研 大串讲

梅晓榕 主编

柏桂珍 王述一 副主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是高等院校“自动控制原理”课程的例题习题集,收录的题目涵盖现在通行的“自动控制原理”课程的基本内容。全书正文分为9章,每一章都列出本章的重点与考研点。附录A收录了西安交通大学、上海交通大学、哈尔滨工业大学以及中国科学院和中国科技大学的考研试卷12套,附录B给出了全部习题和考研试卷的参考答案。

本书特别适用于考研复习使用,并可作为期末考试复习和正常上课时同步学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理考研大串讲/梅晓榕主编. —北京:科学出版社,2006

(大学课程学习与考研全程辅导系列丛书)

ISBN 7-03-017892-0

I. 自… II. 梅… III. 自动控制理论-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(2006)第099996号

责任编辑: 贾丽芳 段博原 于宏丽/责任校对: 郑金红

责任印制: 张克忠/封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年9月第一版 开本: 787×1092 1/16

2006年9月第一次印刷 印张: 12 1/4

印数: 1—4 000 字数: 224 000

定价: 18.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<路通>)

《大学课程学习与考研全程辅导系列丛书》编委会

编委(按姓氏笔画排列):

于 枫 (吉林大学)

于洪珍 (中国矿业大学)

孙立山 (哈尔滨工业大学)

陈乔夫 (华中科技大学)

胡华强 (科学出版社)

徐家恺 (南京大学)

唐竞新 (清华大学)

梅晓榕 (哈尔滨工业大学)

程 靳 (哈尔滨工业大学)

焦其祥 (北京邮电大学)

责任编辑:

资丽芳 (科学出版社)

《大学课程学习与考研全程辅导系列丛书》出版说明

2006年教育部公布的最新数字显示：目前全国拥有普通高等学校1550余所；全国各级各类高等院校在校生总数超过2000万；高等教育已基本实现了由精英化向大众化的转变。

高等院校扩大招生，一方面极大地满足了我国社会主义建设对高素质人才的迫切需求，为当代青年的成才和发展提供了更高更好的平台；另一方面，其造成的最直接的矛盾就是招生与就业的矛盾。如何提高学习效果、培养科学的思维方法和解题能力、增强自身就业竞争力是广大学子面临的最为迫切的问题。为此，我们在北京地区的高校中进行了大量设计严密的，包括对教师、学生、课程、教材等各方面信息的调研，结果发现：名师的指点和加强自修练习成为解决上述问题最重要的选项。

基于上述原因，我们组织策划了本套丛书，同时面向全国重点高校遴选并约请长期在教学第一线的优秀教师，尤其是国家级教学名师和省级教学名师，来参与本套丛书的编写工作。一方面希望能使广大学子们受益于这些名师丰富的教学经验并掌握学习技巧，同时也给在教学第一线工作的青年教师们以示范和启发。

本套丛书将针对大学本科课程的学习与考研对学生进行全程辅导，考虑到学生在学习的不同阶段、不同层次的不同需要，该套丛书将分成如下两个系列：

第一层次：“名师大课堂”系列——辅助课程学习，应对各种考试。

第二层次：“考研大串讲”系列——针对考研复习，帮助考生备考。

本套丛书的编写主要具有以下特点：

【定位明确，针对性强】本丛书针对不同的读者定位对课程学习的全程进行了科学的安排，分为课程学习和考研辅导两个层次。课程学习的指导部分重在帮助学生掌握知识要点，增强分析问题及解决问题的能力；考研辅导部分重在帮助参加研究生入学考试的学生掌握课程考点，迅速提高应试能力。

【名师开讲，经验丰富】本丛书充分挖掘优秀的教师资源，从全国各重点高校中约请经验丰富的任课教师参加编写，从基本知识到重点、难点进行全程讲解，对学生容易出错的地方进行分析，指导效果显著。

【源于基础，构建网络】本丛书在深入挖掘学科知识点的基础上，梳理各部分知识间的内在联系，把零散、孤立的知识交汇，编制成具有系统性、条理性的网络结构，使学生能够在解决问题时迅速地检索、提取和应用。

【全程优化，科学设计】本丛书根据学生学习的特点和要求，设计了不同的单元和模块，从知识点的归纳到理解再到运用，层层加深学生理解的程度，最终使学生能够达到熟练掌握所学知识并能灵活应用的目的。

【循序渐进，逐级提升】本丛书遵循由浅入深、由易到难、由简到繁的原则，例题和习题都设置了科学、合理的梯度与坡度，能够兼顾不同层次和水平的学生，使之成为

学生们十分有用而必备的学习工具。

我们相信，本套丛书的出版一定能够为提高我国高等教育的教学质量做出应有的贡献。

科学出版社高等教育分社

2006年5月

前 言

本书是高等院校“自动控制原理”课程的例题和习题集，包括现在通行的“自动控制原理”课程的基本内容。全部题目都有较详细的解答。希望读者通过对经典例题的分析理解和对常见题型的练习，深刻领会自动控制的基本概念、原理和方法，掌握相关知识点，并能融会贯通和综合应用，提高解题能力。

全书正文部分包括 9 章 130 多道题目。每一章包括“名师辅导”、“考研真题详解”、“考研试题精选”三部分。各章都列出重点与考研点。附录 A 收录了西安交通大学、上海交通大学、中国科学院和中国科学技术大学以及哈尔滨工业大学的考研试卷 12 套共近百道题。附录 B 给出全部习题和附录 A 的全部试卷的参考答案。

本书特别适用于考研复习使用，并可作为期末考试复习和正常上课时同步学习使用。

本书由哈尔滨工业大学控制科学与工程系梅晓榕教授任主编，柏桂珍、王述一任副主编。参加编写工作的还有岳海峰、王坚、于维、李醇铎等。

书中不当之处，敬请读者批评指正。

作 者

2006 年 5 月

目 录

第 1 章 自动控制的基本概念	1
1.1 名师辅导	1
1.2 考研真题详解	1
1.3 考研试题精选	3
第 2 章 系统的数学模型	4
2.1 名师辅导	4
2.2 考研真题详解	4
2.3 考研试题精选	8
第 3 章 线性系统的时域分析	9
3.1 名师辅导	9
3.2 考研真题详解	10
3.3 考研试题精选	14
第 4 章 根轨迹法	16
4.1 名师辅导	16
4.2 考研真题详解	18
4.3 考研试题精选	22
第 5 章 频域分析法	24
5.1 名师辅导	24
5.2 考研真题详解	25
5.3 考研试题精选	29
第 6 章 控制系统设计	33
6.1 名师辅导	33
6.2 考研真题详解	34
6.3 考研试题精选	38
第 7 章 非线性控制系统	42
7.1 名师辅导	42
7.2 考研真题详解	42
7.3 考研试题精选	50
第 8 章 线性离散系统	52
8.1 名师辅导	52
8.2 考研真题详解	52
8.3 考研试题精选	56
第 9 章 状态空间法	59
9.1 名师辅导	59
9.2 考研真题详解	59
9.3 考研试题精选	70

附录 A 研究生入学考试试题选	75
A.1 西安交通大学考研试题选	75
A.2 上海交通大学考研试题选	78
A.3 中国科学院和中国科学技术大学考研试题选	83
A.4 哈尔滨工业大学考研试题选	87
附录 B 参考答案	98
第 1 章	98
第 2 章	98
第 3 章	99
第 4 章	100
第 5 章	104
第 6 章	107
第 7 章	114
第 8 章	119
第 9 章	122
1 西安交通大学考研试题选	132
2 上海交通大学考研试题选	143
3 中国科学院和中国科学技术大学考研试题选	154
4 哈尔滨工业大学考研试题选	165

第 1 章 自动控制的基本概念

1.1 名师辅导

1.1.1 重点

(1) 闭环(反馈)系统的特征:采用负反馈,被控量对控制量有直接作用,即被控量对自己有控制作用。

(2) 闭环控制系统的典型功能框图(图 1-1)。

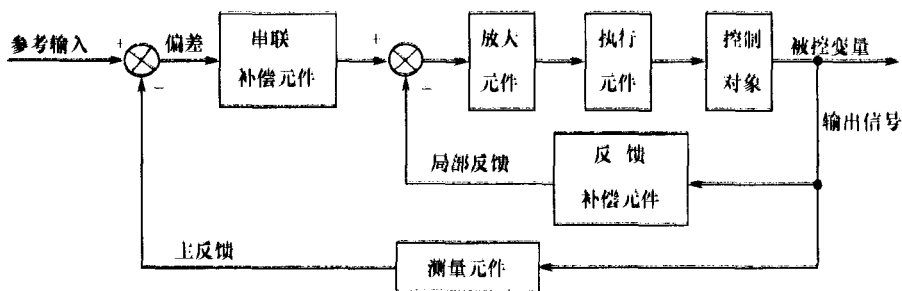


图 1-1 闭环控制系统的功能框图

(3) 对控制系统的基本要求:稳定性、准确性、快速性与平稳性。

1.1.2 考研点

由系统的物理结构图或原理示意图绘出系统元件框图。

1.2 考研真题详解

1. 图 1-2 表示一个炉温控制系统。说明工作原理,指出控制对象、参考输入、被控变量,以及功率放大元件、执行元件、测量元件,绘出元件框图。说明该系统是定值控制系统

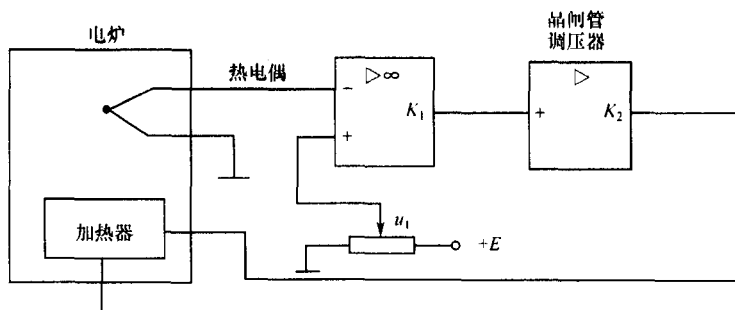


图 1-2 炉温控制系统

统、伺服控制系统，还是程序控制系统。

解 控制对象是电炉炉体，参考输入是电位器活动端电压 u ，被控变量是炉内温度 T ，功率放大元件是晶闸管调压器，执行元件是电加热器，测量元件是热电偶。该系统是定值控制系统，元件框图见图 1-3。

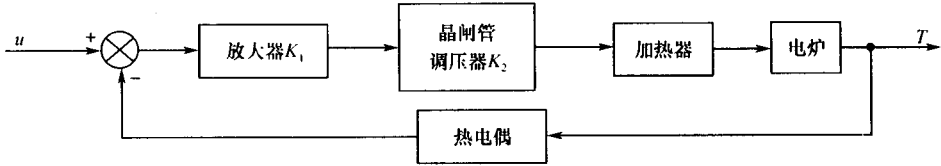


图 1-3 炉温控制系统元件框图

2. 图 1-4 表示一个角度伺服系统，M 是直流电动机，TG 是直流测速发电机。绘出该系统元件框图。

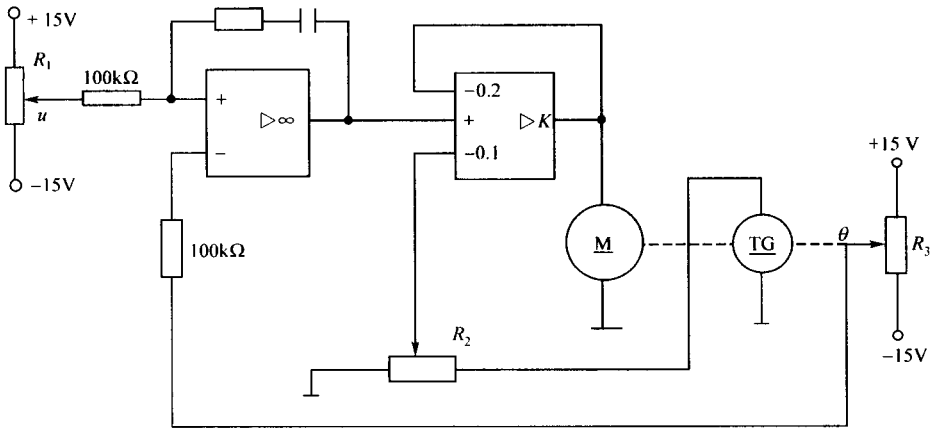


图 1-4 角度伺服系统

解 元件框图见图 1-5。

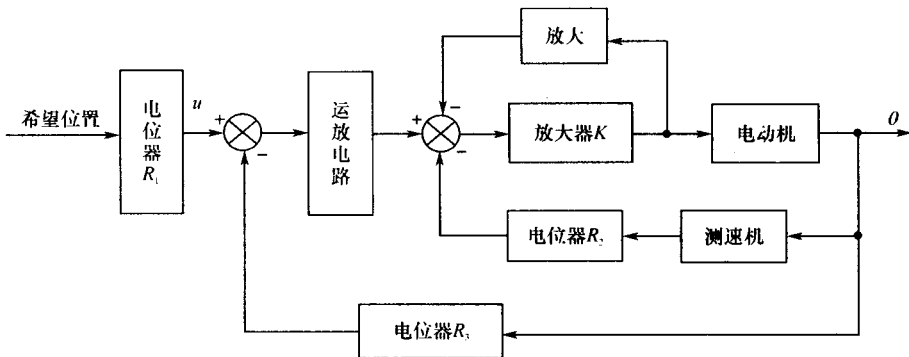


图 1-5 角度伺服系统元件框图

1.3 考研试题精选

电动机转角伺服系统示意图见图 1-6。SM 为直流伺服电动机，TG 是直流测速发电机。指出控制对象、参考输入、被控变量，绘出系统元件框图。

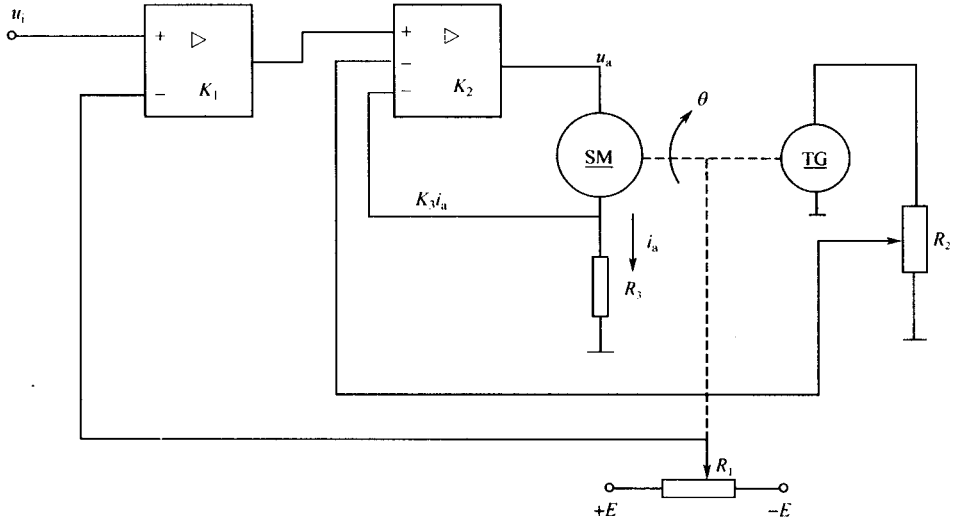


图 1-6 电机转角伺服系统示意图

第2章 系统的数学模型

2.1 名师辅导

2.1.1 重点

- (1) 建立系统的微分方程, 绘制动态框图并求传递函数。
- (2) 动态结构框图的变换与化简。
- (3) 利用梅森增益公式求传递函数。

2.1.2 考研点

- (1) 求实际系统的微分方程、动态框图和传递函数。
- (2) 求复杂框图(信号流图)的传递函数。
- (3) 把动态框图变换成信号流图。

2.2 考研真题详解

1. 图2-1中, m_1 、 m_2 是质量, x_1 、 x_2 是位移, b 是黏性阻尼系数, k 是弹簧弹性系数, 外力 $f(t)$ 是输入量, x_1 是输出量。写出系统的微分方程和传递函数。若 $f(t) = a \sin \omega t$, 选择 m_2 和 k_2 的参数, 使 m_1 不再振动。

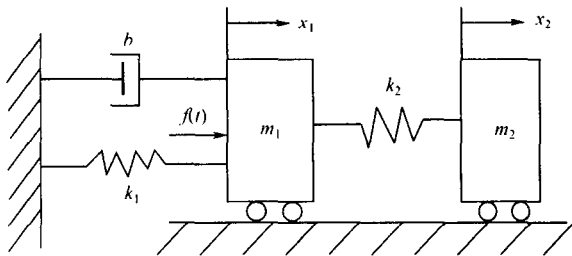


图2-1 弹簧-质量块

解 对于质量块 m_1 、 m_2 , 应用牛顿第二定律可得

$$\begin{cases} f(t) + k_2(x_2 - x_1) - b\dot{x}_1 - k_1x_1 = m_1\ddot{x}_1 \\ k_2(x_1 - x_2) = m_2\ddot{x}_2 \end{cases}$$
$$\Rightarrow \begin{cases} m_1\ddot{x}_1 + b\dot{x}_1 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2x_2 = f(t) \\ -k_2x_1 + m_2\ddot{x}_2 + k_2x_2 = 0 \end{cases}$$
$$\Rightarrow \begin{bmatrix} m_1s^2 + bs + k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & m_2s^2 + k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1(s) \\ X_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F(s) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta = (m_2 s^2 + k_2)(m_1 s^2 + bs + k_1 + k_2) - k_2^2$$

$$\frac{X_1(s)}{F(s)} = \frac{m_2 s^2 + k_2}{\Delta}$$

若

$$f(t) = a \sin \omega t \Rightarrow X_1(s) = \frac{am_2 \omega (s^2 + k_2/m_2)}{(s^2 + \omega^2) \Delta}$$

$$s^2 + k_2/m_2 = s^2 + \omega^2$$

即

$$\frac{k_2}{m_2} = \omega^2$$

$$\Rightarrow X_1(s) = \frac{am_2 \omega}{\Delta}$$

$$\Rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} x_1(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s X_1(s) = 0$$

2. 图 2-2 中, 电压 $u_1(t)$ 、 $u_2(t)$ 分别是输入量和输出量, 求传递函数。

名师提示 采用运算阻抗法, 运算放大器正、反相输入端电位为零。

解 设电压 $u_3(t)$ 如图 2-2 所示。根据节点电流定律有

$$\begin{cases} U_3 \frac{R_2 C_1 s + 1}{R_2} + U_3 \frac{C_2 s}{R_4 C_2 s + 1} + \frac{U_3 - U_2}{R_3} = 0 \\ \frac{U_1}{R_1} + U_3 \frac{R_2 C_1 s + 1}{R_2} = 0 \end{cases}$$

消去 U_3 可得

$$\frac{U_2(s)}{U_1(s)} = - \frac{R_2 R_3 R_4 C_1 C_2 s^2 + [(R_2 + R_3) R_1 C_2 + (C_1 + C_2) R_2 R_3] s + R_2 + R_3}{R_1 (R_2 C_1 s + 1) (R_4 C_2 s + 1)}$$

3. 图 2-3 中, 电压 $u_1(t)$ 、 $u_2(t)$ 分别是输入量和输出量, 绘出系统动态框图并求传递函数。

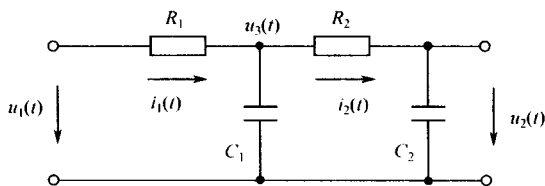


图 2-3 真题 3 电路

名师提示 列写微分方程组时, 可从输出端向输入端列写。

解 设电压 $u_3(t)$, 电流 $i_1(t)$ 、 $i_2(t)$ 如图 2-3 所示。采用运算阻抗法, 根据欧姆定律有

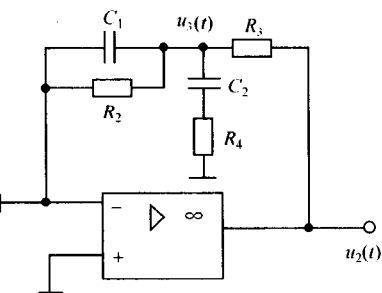


图 2-2 真题 2 电子电路

$$U_2(s) = \frac{1}{C_2 s} I_2(s), \quad I_2(s) = \frac{U_3(s) - U_2(s)}{R_2}$$

$$U_3(s) = \frac{I_1(s) - I_2(s)}{C_1 s}, \quad I_1(s) = \frac{U_1(s) - U_3(s)}{R_1}$$

动态框图如图 2-4 所示。可以用图中虚线所示方法变换和进一步化简框图,也可采用梅森公式计算传递函数,可求得

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

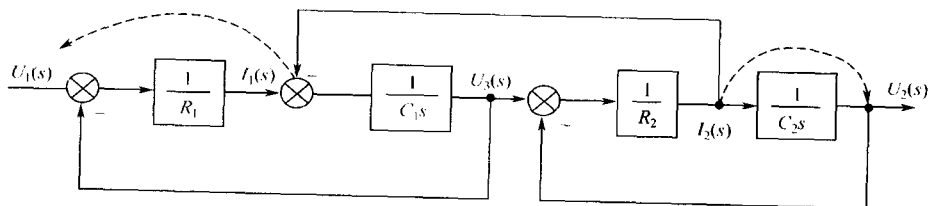


图 2-4 动态框图

4. 系统框图见图 2-5,求传递函数 $C(s)/R(s)$ 。

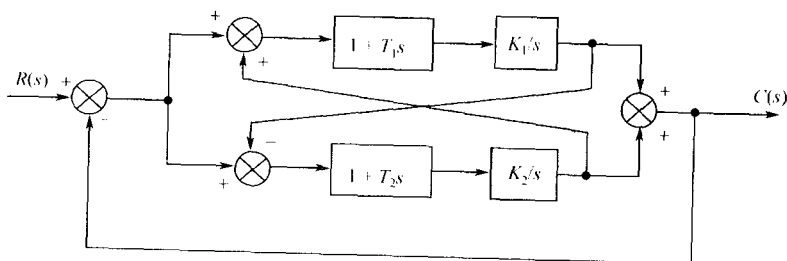


图 2-5 系统框图

名师提示 采用代数方法和框图化简法。也可采用梅森公式求解,但比较麻烦。图 2-6(a)有 5 个回路,4 条前向通路。

解 先求图 2-6(a)所示系统的传递函数,设变量 $E(s)$ 、 $Y_1(s)$ 、 $Y_2(s)$ 如图所示。

$$Y_1(s) = G_1(E + Y_2) = G_1 E + G_1 Y_2 \quad (1)$$

$$Y_2(s) = G_2(E - Y_1) = G_2 E - G_2 Y_1 \quad (2)$$

将式(2)代入式(1),得

$$Y_1 = G_1 E + G_1 G_2 E - G_1 G_2 Y_1 \Rightarrow Y_1 = \frac{G_1 + G_1 G_2}{1 + G_1 G_2} E$$

$$Y_2 = G_2 E - G_2 \frac{G_1 + G_1 G_2}{1 + G_1 G_2} E = \frac{G_2(1 - G_1)}{1 + G_1 G_2} E$$

$$C(s) = Y_1 + Y_2 = \frac{G_1 G_2}{1 + G_1 G_2} E$$

系统框图见图 2-6(b)。由图知

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_1 + G_2}{1 + G_1 G_2 + G_1 + G_2} \quad (3)$$

$$G_1 = \frac{K_1(1 + T_1 s)}{s}, \quad G_2 = \frac{K_2(1 + T_2 s)}{s} \quad (4)$$

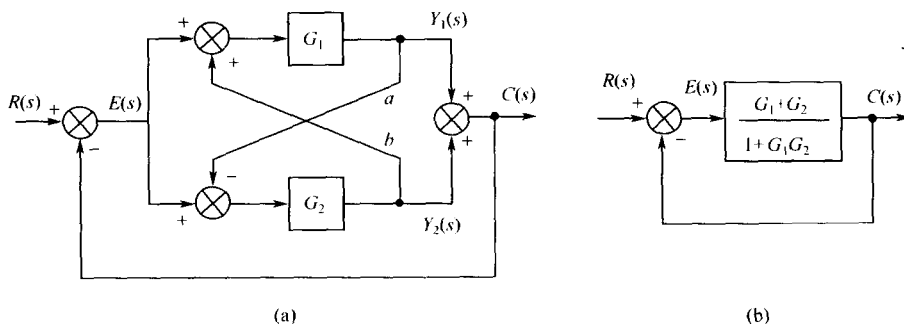


图 2-6 系统框图

将式(4)代入式(3),得

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{s[(K_1 T_1 + K_2 T_2)s + K_1 + K_2]}{(1 + K_1 T_1 + K_2 T_2 + K_1 K_2 T_1 T_2)s^2 + [K_1 + K_2 + K_1 K_2 (T_1 + T_2)]s + K_1 K_2}$$

5. 系统框图如图 2-7 所示, 绘出信号流图, 并求 $\frac{C(s)}{R(s)}$ 及 $\frac{E(s)}{R(s)}$ 。

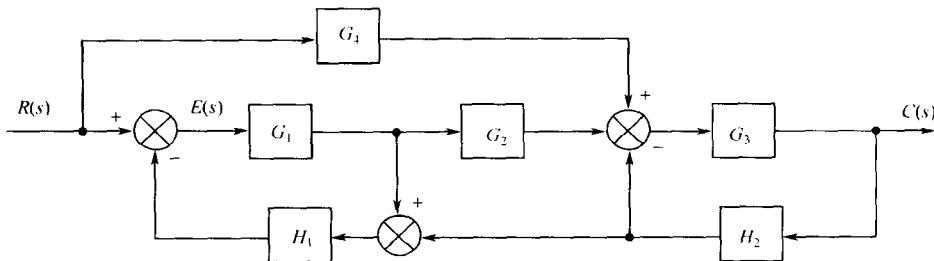


图 2-7 系统框图

名师提示 系统框图中, 相加点的输出及分支点可取为信号流图中的一个节点。

解 信号流图见图 2-8, 有两条前向通路, 3 个回路, 有两个回路互不接触。

$$\Delta = 1 + G_3 H_2 + G_1 H_1 + G_1 G_2 G_3 H_1 H_2 + G_1 G_3 H_1 H_2$$

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

$$\frac{E(s)}{R(s)} = \frac{1 + G_3 H_2 - G_3 G_1 H_1 H_2}{\Delta}$$

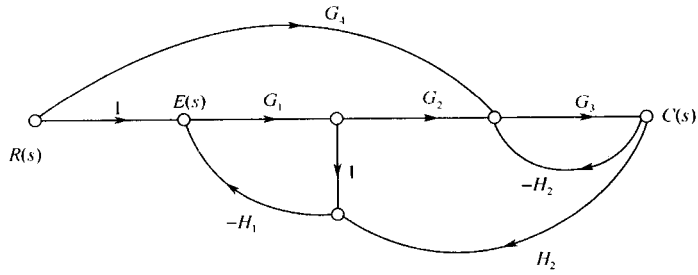


图 2-8 信号流图

2.3 考研试题精选

1. 系统框图见图 2-9, 求 $\frac{C(s)}{R(s)}$ 。

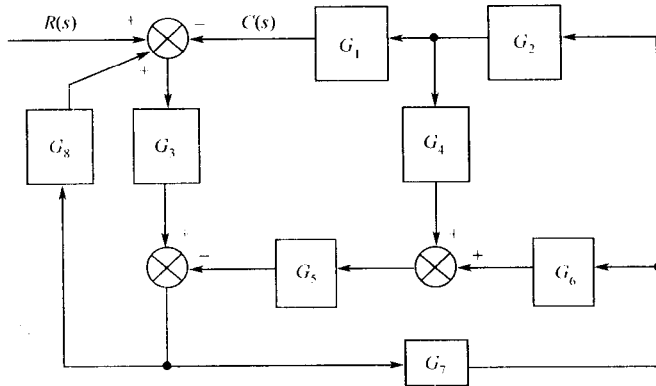


图 2-9 试题 1 框图

2. 求图 2-10 所示系统的 $\frac{C(s)}{R(s)}$ 。

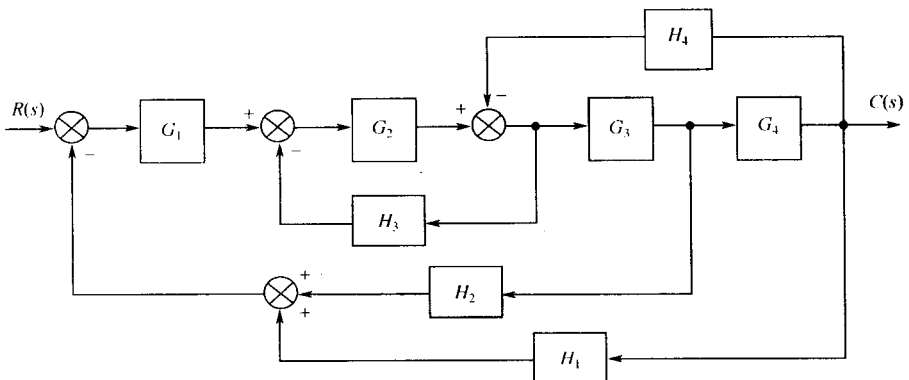


图 2-10 试题 2 框图