



快乐大本·优秀教材辅导

KUAILE DABEN
YOLIXIJIJIAOCAIFUDAO

自动控制原理 习题精解精练

(配李友善第三版教材·国防工业版)

主 编 任伟建

- 课后习题 精析 精解
- 同步训练 勤学 勤练

XITI
JINGJIEJINGLIAN

哈尔滨工程大学出版社



快乐大本·优秀教材辅导

KUAI LE DABEN
YOUXIU JIAOCAI FUDAO

责任编辑 石 岭 封面设计 张 骏

- 线性代数习题精解精练
- 材料力学习题精解精练
- 电工学习题精解精练
- 高等数学习题精解精练
- 机械原理习题精解精练
- 电子技术习题精解精练
- 物理化学习题精解精练
- 自动控制原理习题精解精练
- 复变函数习题精解精练
- 计算机网络习题精解精练
- 普通物理论习题精解精练
- 电子线路(线性部分)习题精解精练
- 新编 16/32 位微型计算机原理及应用习题精解精练
- 理论力学习题精解精练
- 电路原理习题精解精练
- 数字逻辑习题精解精练
- 普通化学习题精解精练
- 概率论与数理统计习题精解精练
- 电工技术习题精解精练
- 信号与系统习题精解精练
- 模拟电子技术习题精解精练
- 数字电子技术习题精解精练

ISBN 978-7-81073-980-1



9 787810 739801 >

ISBN 978-7-81073-980-1

定价: 12.00 元

2007

13-3A

自动控制原理 习题精解精练

(配李友善第三版教材·国防工业版)

主 编 任伟建

副主编 于 镒 董宏丽

主 审 关学忠 邵克勇

内 容 简 介

本书是配合李友善编著的《自动控制原理》(第三版)教材而编写的辅导书。本书按教材的章节顺序编排,每章包括书后习题解析和同步训练题及答案两部分内容,旨在帮助学生熟练掌握解题的基本方法和技巧,巩固所学的知识、开阔视野。

本书可作为高等学校学生学习自动控制原理的辅导书,也可供教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理习题精解精练/任伟建主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社, 2007.4
ISBN 978 - 7 - 81073 - 980 - 1

I. 自… II. 任… III. 自动控制理论 - 高等学校 - 解题
IV. TP13 - 44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 047111 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 10
字 数 207 千字
版 次 2007 年 4 月第 1 版
印 次 2007 年 4 月第 1 次印刷
定 价 12.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

自动控制技术广泛应用于国民经济的各个领域,并成为探索各种新技术的工具,自动控制原理已经成为各工科类的专业技术基础课。自动控制原理课程内容抽象,涉及的数学知识较多,学生普遍感觉难学。本书是为帮助学生理清思路、总结归纳和系统地学习,也为满足报考研究生的读者提高复习效率的需要,针对该课程的特点,并结合作者多年从事该课程的教学经验编写而成的。

本书以李友善编著的第三版《自动控制原理》教材为基础,通过书后习题解析,帮助读者正确理解课程的基本理论和基本方法,选择具有代表性的典型题作为同步训练题,旨在提高读者分析问题、解决问题的能力。本书既可作为本专科生及自学者学习《自动控制原理》的辅导资料,又可作为考研者系统复习的参考书。

本书由任伟建任主编,于镒、董宏丽任副主编,关学忠、邵克勇主审。其中第1、2、3、4章由董宏丽编写,第5、6、10章由于镒编写,7、8、9章由任伟建编写,全书由任伟建统筹。研究生孙勤江、沈彬为本书的文字录入、编辑做了大量工作,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中可能存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2007年3月

出版说明

教材建设是高等学校教学和学科建设的主要内容之一。近几年来,我国各高等学校实施了一系列面向21世纪教学改革计划,在教学内容和课程体系改革上取得了丰硕的成果,因此需要适时推出适应教改成果的教材。同时,通信技术发展十分迅速,原有教材或者内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,需要修订或重新编写;或者需要开设新课程,编写新教材以填补空白。

电子工业出版社作为以信息技术领域出版为特色的中央级科技与教育出版社,始终关注着电子信息技术的发展方向,始终把出版适应我国高等学校发展要求的高质量精品教材放在重要位置上,出版了一系列特色鲜明的教材,希望能把它们放在学生的书包里、课桌上,为培养高素质人才打下良好的基础。

基于上述考虑,经过一年多的调研,并征求多方的意见,根据国内高等学校通信专业的发展现状,以及教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革意见》的指示精神,电子工业出版社规划出版了这套《21世纪高等学校通信类规划教材》。

目前,我国多数高等学校都设有通信专业,但办学水平、特色及人才培养层次差异很大。这套教材定位于重点高校,即以研究型、研究教学型人才培养为主的高等学校通信类专业,包括其他相关专业的通信类课程教材。教材的作者全部来自于重点高校,多数是“信息与通信工程”一级学科设有全国重点学科的高校。

与以往出版的同类教材相比,这套教材具有以下特点:

(1) 专业特色鲜明:以重点院校本科通信类专业的专业课程教材为主线,兼顾其他相关专业的通信类课程。

(2) 突出系统性:本套规划教材覆盖了本科通信类专业的专业基础课、专业方向课及专业选修课,形成一个完整的教材系列,规模之大是以往教材中所不多见的。同时注意教材之间内容的合理划分与衔接,层次分明,重点突出,各高校可以根据需要组合选用,我们的目的是为通信类课程打造一套全方位解决方案。

(3) 体系、内容新颖:整个知识点建立在“高”、“新”平台上。基本理论阐述精练,深入浅出,便于自学;注意吸收新理论、新技术成果;加强实践性与应用性,结合实例进行讲解。

(4) 配套教学支持:多数教材配有教学课件(电子教案),部分重要课程配套出版教学辅导书或实验教材。

(5) 质量保证:多数教材为已出版教材的修订版,原教材在高校的影响大;重新规划的教材将在组织有关专家/教授对写作大纲和知识点进行充分讨论的基础上,选择优秀作者编写。

本套教材可作为高等学校通信专业及相关专业的本科生或研究生教材,也可供通信领域的有关专业人员学习参考。

为做好本套教材的出版工作,我们聘请了多位国内通信教育领域的著名教授作为教材顾问,并聘请了清华大学、东南大学、上海交通大学、北京交通大学、北京邮电大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校电子信息学院(系)的院长(系主任)成立教材编委会,从根本上保证了教材的高质量。在此对他们的辛勤工作表示衷心的感谢。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切联系和合作,广泛听取一线教师对教材的反馈意见 and 建议,以便使我们的教材出版工作做得更好。

《21世纪高等学校通信类规划教材》顾问委员

(按姓名音序排列)

迟惠生 (北京大学)	程时昕 (东南大学)
冯重熙 (清华大学)	李承恕 (北京交通大学)
吴伟陵 (北京邮电大学)	吴诗其 (电子科技大学)
谢希仁 (解放军理工大学)	袁保宗 (北京交通大学)

《21世纪高等学校通信类规划教材》编审委员

(按姓名音序排列)

主任委员 樊昌信 (西安电子科技大学)

副主任委员

顾婉仪 (北京邮电大学)	李建东 (西安电子科技大学)
彭启琮 (电子科技大学)	王金龙 (解放军理工大学)
王希勤 (清华大学)	文宏武 (电子工业出版社)
吴镇扬 (东南大学)	张思东 (北京交通大学)

委员

安建平 (北京理工大学)	鲍长春 (北京工业大学)
陈咏恩 (同济大学)	邓建国 (西安交通大学)
段哲民 (西北工业大学)	樊昌信 (西安电子科技大学)
范平志 (西南交通大学)	方 勇 (上海大学)
酆广增 (南京邮电大学)	顾婉仪 (北京邮电大学)
顾学迈 (哈尔滨工业大学)	康 健 (吉林大学)
李建东 (西安电子科技大学)	李晓峰 (电子科技大学)
刘 琚 (山东大学)	彭启琮 (电子科技大学)
仇佩亮 (浙江大学)	唐朝京 (国防科技大学)
唐向宏 (杭州电子科技大学)	田宝玉 (北京邮电大学)
王金龙 (解放军理工大学)	王希勤 (清华大学)
王祖林 (北京航空航天大学)	文宏武 (电子工业出版社)
韦 岗 (华南理工大学)	吴镇扬 (东南大学)
徐昌庆 (上海交通大学)	张德民 (重庆邮电学院)
张思东 (北京交通大学)	郑建生 (武汉大学)
朱光喜 (华中科技大学)	朱秀昌 (南京邮电大学)

投稿联系方式: 韩同平编辑 (010)88254525 E-mail: hantp@phei.com.cn

目 录

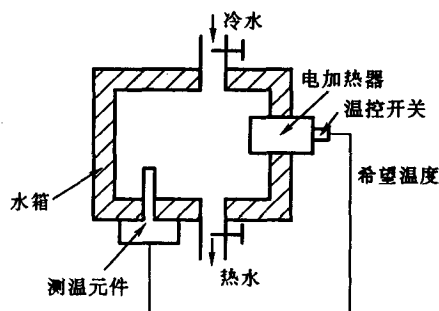
第 1 章 控制系统的一般概念	1
同步训练题	1
同步训练题答案	2
第 2 章 控制系统的数学模型	5
书后习题解析	5
同步训练题	18
同步训练题答案	20
第 3 章 线性系统的时域分析	22
书后习题解析	22
同步训练题	40
同步训练题答案	41
第 4 章 根轨迹法	43
书后习题解析	43
同步训练题	55
同步训练题答案	56
第 5 章 线性系统的频域分析	60
书后习题解析	60
同步训练题	74
同步训练题答案	76
第 6 章 控制系统的综合与校正	77
书后习题解析	77
同步训练题	89
同步训练题答案	90
第 7 章 线性离散系统的分析与综合	93
书后习题解析	93
同步训练题	100
同步训练题答案	102
第 8 章 线性系统的状态空间分析法	104
书后习题解析	104
同步训练题	114
同步训练题答案	115
第 9 章 线性系统的状态空间综合法	118
书后习题解析	118
同步训练题	127
同步训练题答案	129

第 10 章 非线性控制系统分析	132
书后习题解析	132
同步训练题	150
同步训练题答案	151

第1章 控制系统的一般概念

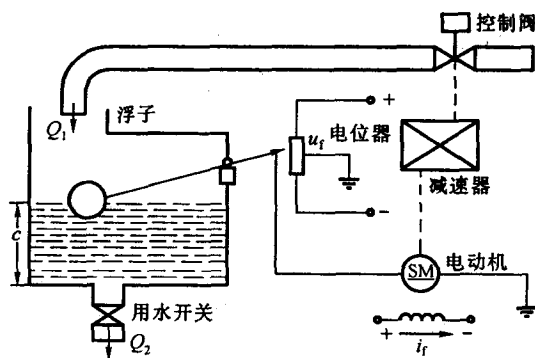
同步训练题

1. 设热水电加热器如图所示。为了保持希望的温度,由温控开关接通或断开电加热器的电源。在使用热水时,水箱中流出热水补充冷水。试说明系统工作原理并画出系统原理方框图。

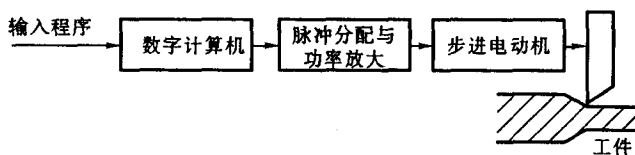


题1图

2. 题2图是液位自动控制系统原理示意图。在任何情况下,希望液面高度 c 不变,试说明系统的工作原理并画出系统方框图。



题2图



题3图

4. 下列各式是描述系统的微分方程,其中 $c(t)$ 为输出量, $r(t)$ 为输入量,试判断哪些是线性定常或时变系统,哪些是非线性系统?

$$(1) c(t) = 5 + r^2(t) + t \frac{d^2 r(t)}{dt^2};$$

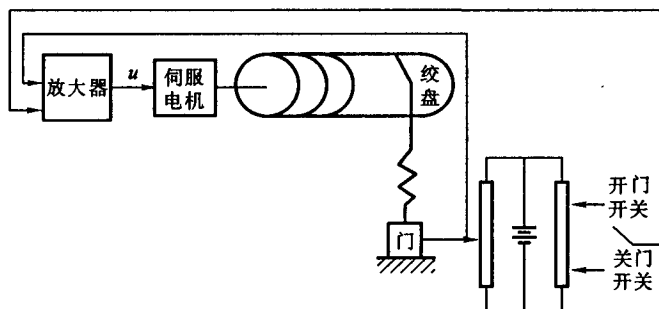
$$(2) \frac{d^3 c(t)}{dt^3} + 3 \frac{d^2 c(t)}{dt^2} + 6 \frac{dc(t)}{dt} + 8c(t) = r(t);$$

$$(3) t \frac{dc(t)}{dt} + c(t) = r(t) + 3 \frac{dr(t)}{dt}; \quad (4) c(t) = r(t) \cos \omega t + 5;$$

$$(5) c(t) = r^2(t); \quad (6) c(t) = 3r(t) + 6 \frac{dr(t)}{dt} + 5 \int_{-\infty}^t r(\tau) d\tau;$$

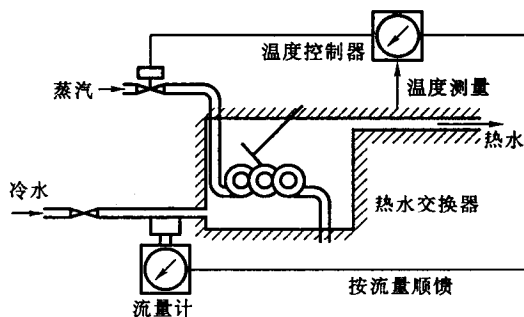
$$(7) c(t) = \begin{cases} 0 & t < 6 \\ r(t) & t \geq 6 \end{cases}$$

5. 题5图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关的工作原理,并画出系统方框图。



题5图

6. 题6图为水温控制系统示意图。冷水在热交换器中由通入的蒸汽加热,从而得到一定温度的热水。冷水流量变化用流量计测量。试绘制系统方框图,并说明为了保证热水温度为期望值,系统是如何工作的? 系统的被控对象和控制装置各是什么?

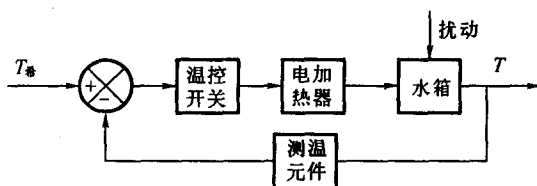


题6图

同步训练题答案

1. 解 在热水电加热器系统中,输入量为预置的希望温度(给定值),设为 $T_{\text{希}}(^{\circ}\text{C})$;输出量为水箱的实际水温,设为 $T(^{\circ}\text{C})$;控制对象为水箱;扰动信号主要是因为放出热水并注入冷水而产生的降温作用。

当 $T(^{\circ}\text{C}) = T_{\text{希}}(^{\circ}\text{C})$ 时,电加热器不工作,此时水箱中水温保持在希望温度上。当使用热水时,由于扰动作用使实际水温下降,测温元件感受 $T(^{\circ}\text{C}) < T_{\text{希}}(^{\circ}\text{C})$ 的变化,并把这一温度变

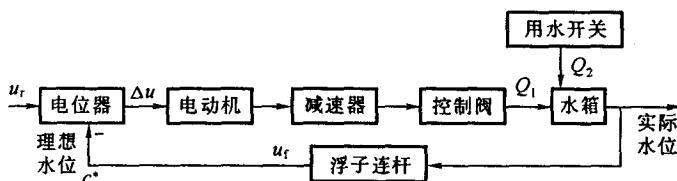


题1解图

化转化为电信号使温控开关工作。温控开关接通电源,使水箱中水升温,直至 $T(^{\circ}\text{C}) = T_*(^{\circ}\text{C})$ 为止。系统原理方框图如解图所示。

2. 解 系统的控制任务是保持液面高度不变。水箱是被控对象,水箱液位是被控量,电位器设定电压 u_r (表征液位的希望值 c^*) 是给定值。

当电位器电刷位于中点位置(对应 u_r)时,电动机不动,控制阀门有一定的开度,使水箱中流入水量与流出水量相等,从而使液面保持在希望高度 c^* 上。一旦流出量发生变化(相当于扰动),例如当流出水量减小时,液面升高,浮子位置也相应升高,通过杠杆作用使电位器电刷从中点位置下移,从而给电动机提供一定的控制电压,驱动电动机通过减速器减小阀门开度,使进入水箱的液体流量减小。这时,水箱液面下降,浮子位置相应下降,直到电位器电刷回到中点位置为止,系统重新处于平衡状态,液面恢复给定高度。反之,当流出水量在平衡状态基础上增大时,水箱液位下降,系统会自动增大阀门开度,加大流入水量,使液位升到给定高度 c^* 。系统方框图如题2解图所示。

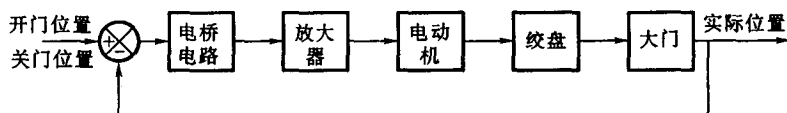


题2解图

3. 解 该系统是开环程序控制系统,被控对象为刀具,被控量为刀具位置,给定量是程序设定的刀具位置。计算机按编制的程序调节输出脉冲频率,通过脉冲分配与功率放大装置控制步进电机的转动,从而带动刀具按预定的轨迹进刀,完成加工任务。

- | | |
|--------------------|---------------|
| 4. 解 (1)非线性时变动态系统; | (2)线性定常动态系统; |
| (3)线性时变动态系统; | (4)非线性时变静态系统; |
| (5)非线性定常静态系统; | (6)线性定常动态系统; |
| (7)线性时变静态系统。 | |

5. 解 当合上开门开关时,电桥会测量出开门位置与大门实际位置间对应的偏差电压,偏差电压经放大器放大后,驱动伺服电动机带动绞盘转动,将大门向上提起。与此同时,和大门连在一起的电刷也向上移动,直到桥式测量电路达到平衡,电动机停止转动,大门达到开启位置。反之,当合上关门开关时,电动机带动绞盘使大门关闭,从而可以实现大门远距离开闭自动控制。系统方框图如解图所示。

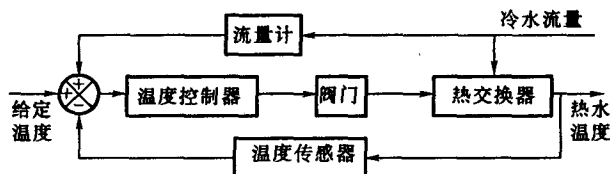


题5解图

6.解 温度传感器不断测量交换器出口处的实际水温,并在温度控制器中与给定温度相比较,若低于给定温度,其偏差使蒸汽阀门开大,进入热交换器的蒸汽量加大,热水温度升高,直至偏差为零。如果由于某种原因,冷水流量加大,则流量值由流量计测得,通过温度控制器,开大阀门,使蒸汽量增加,提前进行控制,实现按冷水流量进行顺馈补偿,保证热交换器出口的水温波动不大。

系统中,热交换器是被控对象,控制装置由控制器(完成比较、运算功能),阀门(执行机构),温度传感器和流量计(测量元件)组成。实际水温为被控量,给定量(希望温度)在控制器中设定;冷水流量是干扰量。

系统方框图如解图所示。这是一个按干扰补偿的复合控制系统。

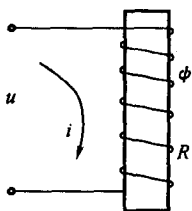


题6解图

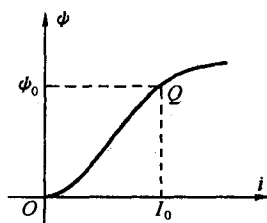
第2章 控制系统的数学模型

书后习题解析

2-1 求取题2-1图所示电路的传递函数 $I(s)/U(s)$ 。图中 ϕ 为铁心线圈磁链, R 为线圈电阻。



题2-1图



题2-1解图

解 描述铁心线圈特性的微分方程式为

$$\frac{d\phi(i)}{dt} + Ri = u$$

其中磁链 $\phi(i)$ 是线圈电流 i 的函数, 如题2-1解图所示, 磁链 ϕ 是电流 i 的非线性函数。假设在某一工作点 $Q(\phi_0, I_0)$ 上, 电流 $i = I_0 \pm \Delta i$ 的变化甚微, 即增量 Δi 很小, 从而对应的磁链增量 $\Delta \phi$ 也很小, 则在工作点 $Q(\phi_0, I_0)$ 两侧的微小区域内便可视 $d\phi(i)/di$ 为常值。近似为小偏差线性, 方程两边取拉氏变换, 得

$$\left. \frac{d\phi(i)}{di} \right|_{i=I_0} \cdot [sI(s) - i(0)] + RI(s) = U(s)$$

$$\left(\left. \frac{d\phi(i)}{di} \right|_{i=I_0} \cdot s + R \right) I(s) - \left. \frac{d\phi(i)}{di} \right|_{i=I_0} \cdot I_0 = U(s)$$

其中 $I_0 = i(0)$ ——工作点电流;

$\left. \frac{d\phi(i)}{di} \right|_{i=I_0}$ ——在工作点 Q 附近微小区域内的常值。

令 $I_0 = 0$, 由此求得传递函数为 $\frac{I(s)}{U(s)} = \frac{1/R}{Ts + 1}$, 式中 $T = \left. \frac{d\phi(i)}{di} \right|_{i=I_0} / R$, 称为时间常数。

2-2 求取题2-2图所示无源电路的传递函数 $U_o(s)/U_i(s)$ 。

解 应用电路中的阻抗概念求该电路的传递函数, 有

$$\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{\frac{1}{Cs} // R_2}{R_1 + \frac{1}{Cs} // R_2} = \frac{R_2}{R_1 R_2 Cs + R_1 + R_2}$$

2-3 求取题2-3图所示有源网络的传递函数 $U_o(s)/U_i(s)$ 。

解 根据放大器的虚短、虚断的性质,有

$$I_i(s) = \frac{U_i(s)}{R_1 + R_1 // \frac{1}{C_1 s}} \cdot \frac{1}{R_1 + \frac{1}{C_1 s}}$$

$$I_o(s) = - \frac{U_o(s)}{R_2 + R_2 // \frac{1}{C_2 s}} \cdot \frac{1}{R_2 + \frac{1}{C_2 s}}$$

又因为 $I_o(s) = I_i(s)$, 故传递函数为

$$\frac{U_o(s)}{U_i(s)} = - \frac{R_2 \left(\frac{1}{2} R_2 C_2 s + 1 \right)}{R_1 \left(\frac{1}{2} R_1 C_1 s + 1 \right)}$$

2-4 题 2-4 图所示为机械平移系统, 其中 m, k, f 分别代表物体质量、线性弹簧的弹性系数、阻尼器的黏性摩擦系数。设输入信号为作用力 $f_i(t)$, 输出信号为物体位移 $y(t)$, 试求取该系统的传递函数 $Y(s)/F_i(s)$ 。

解 根据牛顿定律 $ma = \sum F$, 题 2-4 图所示平移运动方程式为

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = f_i - f \frac{dy}{dt} - ky$$

设初始条件为零, 方程两边取拉普拉斯变换, 得

$$ms^2 Y(s) = F_i(s) - fsY(s) - kY(s)$$

则该机械平移系统的传递函数 $Y(s)/F_i(s)$ 为

$$\frac{Y(s)}{F_i(s)} = \frac{\frac{1}{k}}{\frac{m}{k}s^2 + \frac{f}{k}s + 1}$$

2-5 题 2-5 图所示为机械转动系统, 其中 J 表示转动惯量, f 表示黏性摩擦系数。设输入信号为外作用力矩 $m_i(t)$, 输出信号为轴角位移 $\theta(t)$, 试求取该系统的传递函数 $\theta(s)/M_i(s)$ 。

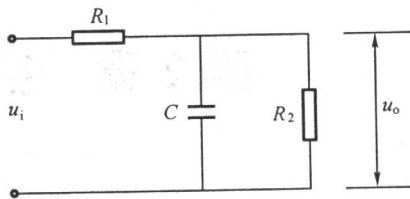
解 根据牛顿定律, 机械转动系统的力矩方程式为

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} = m_i - f \frac{d\theta}{dt}$$

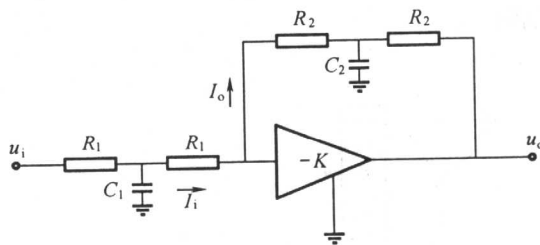
设初始条件为零, 方程两边取拉普拉斯变换, 得

$$Js^2 \theta(s) = M_i(s) - fs\theta(s)$$

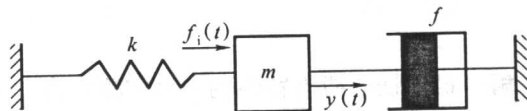
则机械转动系统的传递函数 $\theta(s)/M_i(s)$ 为



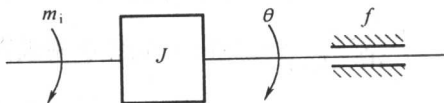
题 2-2 图



题 2-3 图



题 2-4 图



题 2-5 图

$$\frac{\theta(s)}{M_i(s)} = \frac{\frac{1}{f}}{s\left(\frac{J}{f}s + 1\right)}$$

2-6 题2-6图所示为齿轮传动系统,其中 M_1 为主动轴上的外作用力矩, M_1 为齿轮1承受的阻力矩, M_2 为齿轮2的传动力矩。试求传递函数 $\theta_2(s)/M_1(s)$ 。

解 由题2-6图得下列方程为

$$J_1 \frac{d^2 \theta_1}{dt^2} + f_1 \frac{d\theta_1}{dt} + M_1 = M_i$$

$$J_2 \frac{d^2 \theta_2}{dt^2} + f_2 \frac{d\theta_2}{dt} = M_2$$

$$M_1 \theta_1 = M_2 \theta_2$$

设初始条件为零,取拉普拉斯变换,得

$$J_1 s^2 \theta_1(s) + f_1 s \theta_1(s) + M_1(s) = M_i(s)$$

$$J_2 s^2 \theta_2(s) + f_2 s \theta_2(s) = M_2(s)$$

$$M_2 = M_1 \frac{\theta_1}{\theta_2} = M_1 \frac{Z_2}{Z_1}$$

式中的 Z_1, Z_2 分别表示齿轮1,2的齿数。

经计算求得传递函数 $\theta_2(s)/M_i(s)$ 为

$$\frac{\theta_2(s)}{M_i(s)} = \frac{\frac{Z_1}{Z_2}}{\left[J_1 + \left(\frac{Z_1}{Z_2} \right)^2 J_2 \right] s^2 + \left[f_1 + \left(\frac{Z_1}{Z_2} \right)^2 f_2 \right] s}$$

2-7 已知系统方框图如题2-7图所示。试计算传递函数 $C_1(s)/R_1(s)$, $C_2(s)/R_1(s)$, $C_1(s)/R_2(s)$ 及 $C_2(s)/R_2(s)$ 。

解 根据叠加原理,求得

$$\frac{C_1(s)}{R_1(s)} = \frac{G_1(s)}{1 - G_1(s)G_2(s)G_3(s)G_4(s)}$$

$$\frac{C_2(s)}{R_1(s)} = -\frac{G_1(s)G_2(s)G_3(s)}{1 - G_1(s)G_2(s)G_3(s)G_4(s)}$$

$$\frac{C_1(s)}{R_2(s)} = -\frac{G_1(s)G_3(s)G_4(s)}{1 - G_1(s)G_2(s)G_3(s)G_4(s)}$$

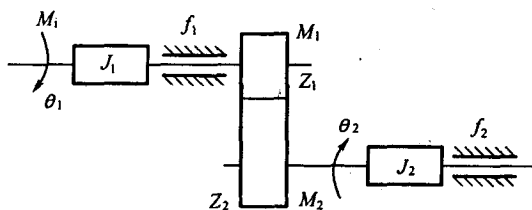
$$\frac{C_2(s)}{R_2(s)} = \frac{G_3(s)}{1 - G_1(s)G_2(s)G_3(s)G_4(s)}$$

2-8 设已知描述某控制系统的运动方程如下:

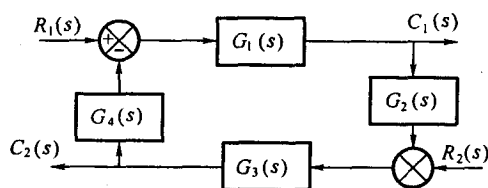
$$x_1(t) = r(t) - c(t) - f_1(t); \quad x_2(t) = K_1 x_1(t); \quad x_3(t) = x_2(t) - x_5(t);$$

$$T \frac{dx_4(t)}{dt} = x_3(t); \quad x_5(t) = x_4(t) - K_2 f_2(t); \quad K_0 x_5(t) = \frac{d^2 c(t)}{dt^2} + \frac{dc(t)}{dt}。$$

式中 $r(t)$ ——系统的控制信号;



题2-6图



题2-7图