



全国高等学校自动化专业系列教材  
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家精品课程配套教材

Exercises for Fundamentals of Control Engineering

# 工程控制基础 习题解答

杨明 翁正新 编著  
Yang Ming Weng Zhengxin

田作华 韩正之 主审  
Tian Zuohua Han Zhengzhi



清华大学出版社



全国高等学校自动化专业系列教材  
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

国家精品课程配套教材

Exercises for Fundamentals of Control Engineering

# 工程控制基础 习题解答

杨明 翁正新 编著  
Yang Ming Weng Zhengxin

清华大学出版社

## 内 容 简 介

本书是与上海交通大学国家精品课程“自动控制原理”主讲教材《工程控制基础》配套的学习辅导书和辅助教学用书。本书以国家精品教材《工程控制基础》为主线,参考教育部高等学校自动化类专业教学指导委员会对与“自动控制原理”课程相关的知识领域、知识单元、知识点的要求,本着“加强基础、削枝强干、注重应用、逐步更新”的原则,力图通过教材的要点提示和典型例题的分析求解,为广大读者学习此课程提供必须掌握的基础理论和基本方法。

本书可作为高等学校工科各专业,如电子信息类、机械工程类、电气工程类、仪器仪表类、工程物理类专业本科生学习控制理论的辅导书,也可供相关领域专业技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

工程控制基础习题解答/杨明,翁正新编著. —北京:清华大学出版社,2015

全国高等学校自动化专业系列教材

ISBN 978-7-302-38434-2

I. ①工… II. ①杨… ②翁… III. ①工程控制论—高等学校—题解 IV. ①TB114.2-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 260761 号

责任编辑:王一玲

封面设计:傅瑞学

责任校对:白蕾

责任印制:宋林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:175mm×245mm 印 张:17.5 字 数:359 千字

版 次:2015 年 6 月第 1 版 印 次:2015 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~1500

定 价:39.00 元

产品编号:057859-01

# 出版说明

《全国高等学校自动化专业系列教材》



为适应我国对高等学校自动化专业人才培养的需要,配合各高校教学改革的进程,创建一套符合自动化专业培养目标和教学改革要求的新型自动化专业系列教材,“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”(简称“教指委”)联合了“中国自动化学会教育工作委员会”、“中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会”、“中国系统仿真学会教育工作委员会”和“中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科委员会”四个委员会,以教学创新为指导思想,以教材带动教学改革为方针,设立专项资助基金,采用全国公开招标方式,组织编写出版了一套自动化专业系列教材——《全国高等学校自动化专业系列教材》。

本系列教材主要面向本科生,同时兼顾研究生;覆盖面包括专业基础课、专业核心课、专业选修课、实践环节课和专业综合训练课;重点突出自动化专业基础理论和前沿技术;以文字教材为主,适当包括多媒体教材;以主教材为主,适当包括习题集、实验指导书、教师参考书、多媒体课件、网络课程脚本等辅助教材;力求做到符合自动化专业培养目标、反映自动化专业教育改革方向、满足自动化专业教学需要;努力创造使之成为具有先进性、创新性、适用性和系统性的特色品牌教材。

本系列教材在“教指委”的领导下,从2004年起,通过招标机制,计划用3~4年时间出版50本左右教材,2006年开始陆续出版问世。为满足多层次、多类型的教学需求,同类教材可能出版多种版本。

本系列教材的主要读者群是自动化专业及相关专业的大学生和研究生,以及相关领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我们希望本系列教材既能为在校大学生和研究生的学习提供内容先进、论述系统和适于教学的教材或参考书,也能为广大科学工作者和工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的参考资料。感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并欢迎提出批评和意见。

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

2005年10月于北京

## 《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

---

顾问 (按姓氏笔画):

王行愚(华东理工大学)	冯纯伯(东南大学)
孙优贤(浙江大学)	吴启迪(同济大学)
张嗣瀛(东北大学)	陈伯时(上海大学)
陈翰馥(中国科学院)	郑大钟(清华大学)
郑南宁(西安交通大学)	韩崇昭(西安交通大学)

主任委员: 吴澄(清华大学)

副主任委员: 赵光宙(浙江大学) 萧德云(清华大学)

委员 (按姓氏笔画):

王雄(清华大学)	方华京(华中科技大学)
史震(哈尔滨工程大学)	田作华(上海交通大学)
卢京潮(西北工业大学)	孙鹤旭(河北工业大学)
刘建昌(东北大学)	吴刚(中国科技大学)
吴成东(沈阳建筑工程学院)	吴爱国(天津大学)
陈庆伟(南京理工大学)	陈兴林(哈尔滨工业大学)
郑志强(国防科技大学)	赵曜(四川大学)
段其昌(重庆大学)	程鹏(北京航空航天大学)
谢克明(太原理工大学)	韩九强(西安交通大学)
褚健(浙江大学)	蔡鸿程(清华大学出版社)
廖晓钟(北京理工大学)	戴先中(东南大学)

工作小组(组长): 萧德云(清华大学)

(成员): 陈伯时(上海大学) 郑大钟(清华大学)  
田作华(上海交通大学) 赵光宙(浙江大学)  
韩九强(西安交通大学) 陈兴林(哈尔滨工业大学)  
陈庆伟(南京理工大学)

(助理): 郭晓华(清华大学)

责任编辑: 王一玲(清华大学出版社)

---

自动化学科有着光荣的历史和重要的地位,20世纪50年代我国政府就十分重视自动化学科的发展和自动化专业人才的培养。五十多年来,自动化科学技术在众多领域发挥了重要作用,如航空、航天等,“两弹一星”的伟大工程就包含了许多自动化科学技术的成果。自动化科学技术也改变了我国工业整体的面貌,不论是石油化工、电力、钢铁,还是轻工、建材、医药等领域都要用到自动化手段,在国防工业中自动化的作用更是巨大的。现在,世界上有很多非常活跃的领域都离不开自动化技术,比如机器人、月球车等。另外,自动化学科对一些交叉学科的发展同样起到了积极的促进作用,例如网络控制、量子控制、流媒体控制、生物信息学、系统生物学等学科就是在系统论、控制论、信息论的影响下得到不断的发展。在整个世界已经进入信息时代的背景下,中国要完成工业化的任务还很重,或者说我们正处在后工业化的阶段。因此,国家提出走新型工业化的道路和“信息化带动工业化,工业化促进信息化”的科学发展观,这对自动化科学技术的发展是一个前所未有的战略机遇。

机遇难得,人才更难得。要发展自动化学科,人才是基础、是关键。高等学校是人才培养的基地,或者说人才培养是高等学校的根本。作为高等学校的领导和教师始终要把人才培养放在第一位,具体对自动化系或自动化学院的领导和教师来说,要时刻想着为国家关键行业和战线培养和输送优秀的自动化技术人才。

影响人才培养的因素很多,涉及教学改革的一方,包括如何拓宽专业口径、优化教学计划、增强教学柔性、强化通识教育、提高知识起点、降低专业重心、加强基础知识、强调专业实践等,其中构建融会贯通、紧密配合、有机联系的课程体系,编写有利于促进学生个性发展、培养学生创新能力的教材尤为重要。清华大学吴澄院士领导的《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会,根据自动化学科对自动化技术人才素质与能力的需求,充分吸取国外自动化教材的优势与特点,在全国范围内,以招标方式,组织编写了这套自动化专业系列教材,这对推动高等学校自动化专业发展与人才培养具有重要的意义。这套系列教材的建设有新思路、新机制,适应了高等学校教学改革与发展的新形势,立足创建精品教材,重视实

践性环节在人才培养中的作用,采用了竞争机制,以激励和推动教材建设。在此,我谨向参与本系列教材规划、组织、编写的老师致以诚挚的感谢,并希望该系列教材在全国高等学校自动化专业人才培养中发挥应有的作用。

吴恪迪 教授

2005年10月于教育部

# 序

## FOREWORD

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会在对国内外部分大学有关自动化专业的教材做深入调研的基础上,广泛听取了各方面的意见,以招标方式,组织编写了一套面向全国本科生(兼顾研究生)、体现自动化专业教材整体规划和课程体系、强调专业基础和理论联系实际的系列教材,自2006年起将陆续面世。全套系列教材共50多本,涵盖了自动化学科的主要知识领域,大部分教材都配置了包括电子教案、多媒体课件、习题辅导、课程实验指导书等立体化教材配件。此外,为强调落实“加强实践教学,培养创新人才”的教学改革思想,还特别规划了一组专业实验教程,包括《自动控制原理实验教程》、《运动控制实验教程》、《过程控制实验教程》、《检测技术实验教程》和《计算机控制系统实验教程》等。

自动化科学技术是一门应用性很强的学科,面对的是各种各样错综复杂的系统,控制对象可能是确定性的,也可能是随机性的;控制方法可能是常规控制,也可能需要优化控制。这样的学科专业人才应该具有什么样的知识结构,又应该如何通过专业教材来体现,这正是“系列教材编审委员会”规划系列教材时所面临的问题。为此,设立了《自动化专业课程体系结构研究》专项研究课题,成立了由清华大学萧德云教授负责,包括清华大学、上海交通大学、西安交通大学和东北大学等多所院校参与的联合研究小组,对自动化专业课程体系结构进行深入的研究,提出了按“控制理论与工程、控制系统与技术、系统理论与工程、信息处理与分析、计算机与网络、软件基础与工程、专业课程实验”等知识板块构建的课程体系结构。以此为基础,组织规划了一套涵盖几十门自动化专业基础课程和专业课程的系列教材。从基础理论到控制技术,从系统理论到工程实践,从计算机技术到信号处理,从设计分析到课程实验,涉及的知识单元多达数百个、知识点几千个,介入的学校50多所,参与的教授120多人,是一项庞大的系统工程。从编制招标要求、公布招标公告,到组织投标和评审,最后商定教材大纲,凝聚着全国百余名教授的心血,为的是编写出版一套具有一定规模、富有特色的、既考虑研究型大学又考虑应用型大学的自动化专业创新型系列教材。

然而,如何进一步构建完善的自动化专业教材体系结构?如何建设基础知识与最新知识有机融合的教材?如何充分利用现代技术,适应现代大学生的接受习惯,改变教材单一形态,建设数字化、电子化、网络化等多元



形态、开放性的“广义教材”？等等，这些都还有待我们进行更深入的研究。

本套系列教材的出版，对更新自动化专业的知识体系、改善教学条件、创造个性化的教学环境，一定会起到积极的作用。但是由于受各方面条件所限，本套教材从整体结构到每本书的知识组成都可能存在许多不当甚至谬误之处，还望使用本套教材的广大教师、学生及各界人士不吝批评指正。

吴俊 院士

2005年10月于清华大学



本书是上海交通大学国家精品课程“自动控制原理”主讲教材《工程控制基础》的指导性、教学用书,供教师和学生使用。《工程控制基础》是国家“十一五”规划教材,教育部自动化教学指导委员会推荐教材。该出自2006年出版以来,受到广大读者的厚爱,并于2008年被评为国家级精品教材。使用过程中,不少兄弟院校来函来电,希望能尽早出版与此教材相配套的教学指导和习题解答。经课程组老师多次协商,决定以国家精品教材为主线,参考教育部教指委对“自动控制原理”课程相关的知识领域、知识单元、知识点的要求,本着“加强基础、削枝强干、注重应用、逐步更新”的原则,编写了这本指导书,力图通过教材的要点提示和典型题例的分析求解,为广大读者掌握本课程的基础理论和基本方法提供方便。

为了进一步加深对课程的理解,我们将习题分为四种类型:基本题、深入题、实际题和MATLAB题,分别作为基本要求、进一步掌握和学会用现代计算手段分析控制系统的训练要求。力求做到:

- (1) 在指导思想,强调与信息技术结合;
- (2) 在内容安排上,坚持“加强基础,削枝强干”;
- (3) 在体系结构上,理清“三纵三横”。“三纵”指系统的“三域”模型(时域、复域、频域)，“三横”指基于“三域”的控制系统“三性”(稳定性、动态特性、稳态特性)分析。

考虑到面上的需求,本书的选题比较侧重于基本训练,同时考虑到部分同学报考硕士研究生,选题还参考了相关学校的研究生入学试卷,扩大了本书的适用面。这对教师上课、同学自学和报考研究生都是有益的。

上海交通大学国家精品课程“自动控制原理”课程组的全体老师都参加了本教材编写。这里我们要特别感谢清华大学出版社的王一玲编辑,她为本教材的编写、协调付出了大量的心血。此外,杨博、赖晓阳、鲍其莲、王伟、李亮、唐卫、黄睿、马力伟、叶琳、夏尚、华山、刘义成、汪浩、颜秉勇、冯祖莹、冯军等同志为本书做了大量的工作,在此我们一并深表谢意。

鉴于作者的能力水平所限,本书的内容和选题方面难免存在错误和不足之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2015年1月于上海

# 目录

# CONTENTS



第 1 章 导论 .....	1
要点提示 .....	1
1.1 自动控制系统的基本原理和组成 .....	1
1.2 控制系统的分类 .....	2
习题解答 .....	2
第 2 章 控制系统的数学模型 .....	10
要点提示 .....	10
2.1 控制系统的时域数学模型——微分方程 .....	10
2.2 控制系统的复域数学模型——传递函数 .....	10
2.3 控制系统的频域数学模型——频率特性 .....	12
2.4 控制系统的方块图 .....	12
2.5 信号流图 .....	14
习题解答 .....	15
第 3 章 自动控制系统的时域分析 .....	29
要点提示 .....	29
3.1 控制系统的稳定性分析 .....	29
3.2 控制系统的稳态特性——稳态误差分析 .....	30
3.2.1 稳态误差定义 .....	30
3.2.2 稳态误差系数和稳态误差计算 .....	30
3.2.3 几点结论 .....	30
3.3 控制系统的动态特性——动态响应分析 .....	31
3.3.1 控制系统动态响应指标 .....	31
3.3.2 一阶系统的单位阶跃响应 .....	31
3.3.3 二阶系统的单位阶跃响应 .....	32
3.3.4 欠阻尼二阶系统的单位阶跃响应主要指标 .....	32
3.3.5 高阶系统的动态响应 .....	32
3.3.6 主导极点、偶极子和附加零极点 .....	33
习题解答 .....	33

第 4 章 根轨迹法 .....	67
要点提示 .....	67
4.1 根轨迹的幅值条件和相角条件 .....	67
4.2 绘制根轨迹的基本规则 .....	68
习题解答 .....	68
第 5 章 线性系统的频域分析——频率响应法 .....	116
要点提示 .....	116
5.1 频率特性 .....	116
5.2 频率特性图 .....	116
5.2.1 奈奎斯特(Nyquist)图 .....	116
5.2.2 伯德(Bode)图 .....	117
5.2.3 尼科尔斯(Nichols)图 .....	117
5.3 最小相位系统和非最小相位系统 .....	117
5.4 频域中的稳定性判据 .....	117
5.4.1 奈氏稳定性判据 .....	117
5.4.2 增益裕度 GM .....	118
5.4.3 相位裕度 $\gamma$ .....	118
5.5 基于闭环频率特性的系统动态性能分析 .....	118
习题解答 .....	118
第 6 章 线性控制系统的设计 .....	166
要点提示 .....	166
6.1 常见的几种校正装置连接方式 .....	166
6.2 不同域中系统动态性能指标的相互关系 .....	167
6.3 串联超前校正 .....	167
6.3.1 伯德图法 .....	167
6.3.2 根轨迹法 .....	168
6.4 串联滞后校正 .....	169
6.4.1 伯德图法 .....	169
6.4.2 根轨迹法 .....	169
6.5 串联超前-滞后校正 .....	171
6.6 局部反馈校正 .....	172
6.7 PID 控制器 .....	173
6.8 前馈补偿与复合控制 .....	173
6.8.1 按输入补偿的复合控制系统 .....	174

6.8.2 按扰动补偿的复合控制系统 .....	174
习题解答 .....	175
<b>第7章 非线性反馈控制系统 .....</b>	<b>227</b>
要点提示 .....	227
7.1 非线性控制系统的概述 .....	227
7.2 描述函数法 .....	228
7.2.1 描述函数 .....	228
7.2.2 描述函数分析 .....	230
7.3 相平面法 .....	231
7.3.1 相轨迹的基本概念 .....	231
7.3.2 奇点和极限环 .....	231
7.3.3 相轨迹的绘制 .....	233
7.3.4 非线性系统的相平面分析 .....	234
习题解答 .....	234
<b>第8章 计算机控制系统 .....</b>	<b>245</b>
要点提示 .....	245
8.1 计算机控制系统的硬件组成 .....	245
8.2 采样与恢复 .....	245
8.2.1 采样过程 .....	245
8.2.2 采样定理 .....	245
8.2.3 信号恢复 .....	246
8.3 $z$ 变换 .....	246
8.3.1 $z$ 变换的定义 .....	246
8.3.2 $z$ 变换的基本性质 .....	246
8.3.3 $z$ 变换的求法 .....	247
8.3.4 $z$ 反变换的求法 .....	247
8.4 脉冲传递函数 .....	247
8.4.1 数字部分的脉冲传递函数 .....	248
8.4.2 连续部分的脉冲传递函数 .....	248
8.4.3 闭环脉冲传递函数 .....	248
8.5 离散控制系统的性能分析 .....	248
8.5.1 离散控制系统的稳定性分析 .....	248
8.5.2 离散控制系统的动态性能和稳态性能分析 .....	249
8.6 数字控制器的设计 .....	249
习题解答 .....	249

## 要点提示

自动化是工业现代化的基础。自动化水平是反映现代化程度的重要标志之一。

自动控制——指在脱离人的直接干预,利用控制装置使被控对象的某些指标(如温度、压力、PH 值等)按照预先设计的规律运行。

自动控制系统——指完成自动控制的一个整体。

本章主要介绍一般自动控制系统的工作原理、组成、分类及常规的研究手段。

## 1.1 自动控制系统的基本原理和组成

典型的闭环系统结构框图一般具有如图 1-1 所示的形式。

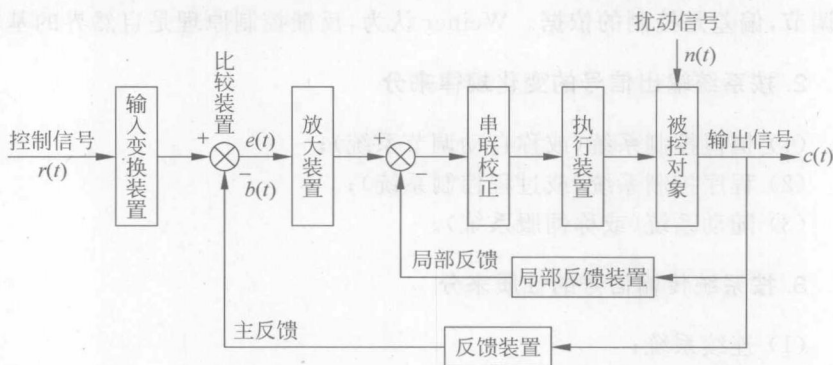


图 1-1 典型闭环控制系统的组成框图

**输入信号  $r(t)$  与输入变换元件** 输入到系统中控制输出量变化的信号称为输入信号  $r(t)$  (又称给定量或控制量), 它通过输入变换装置转换成比较装置要求的物理量。

**反馈装置与反馈信号  $b(t)$**  用来测量被控量并按特定的函数关系反馈到系统输入端的器件称为反馈(检测)装置, 反馈装置的输出叫反馈信号。用来减小误差的反馈为负反馈, 由它和输入产生误差信号。

**比较装置与误差信号  $e(t)$**  比较装置是把输入信号与反馈信号相减,其输出为误差信号,简称为误差。

**放大装置** 比较装置给出的信号通常很小,必须将它进行放大(包括幅值和功率等)。常用的有电子放大器、液压放大器等。

**执行装置** 能产生驱动被控对象的信号,以改变系统输出,常用的有直流伺服电机等。

**校正装置** 它是为了改善系统的性能而引入的。串联校正装置是串接在系统前向通道中的校正装置,而在系统局部反馈回路内接入的反馈装置称为反馈校正装置。

**被控对象与输出信号  $c(t)$**  被控对象即系统要求控制的对象,其输出量为系统的输出信号,又称为被控制量。

**扰动信号  $n(t)$**  除输入信号外,影响系统输出的其他输入统称为扰动信号。扰动信号通常是不能量测和控制的。

## 1.2 控制系统的分类

控制系统种类很多,有不同的分类方法,这里介绍三种常见的分类。

### 1. 按信号的传递路径来分

- (1) 开环控制系统;
- (2) 闭环控制系统。

反馈控制原理检测偏差、利用偏差、消除偏差。闭环控制系统根据反馈原理进行调节,偏差是控制的依据。Weiner 认为,反馈控制原理是自然界的基本规律之一。

### 2. 按系统输出信号的变化规律来分

- (1) 恒值控制系统(或称自动调节系统);
- (2) 程序控制系统(或过程控制系统);
- (3) 随动系统(或称伺服系统)。

### 3. 按系统传输信号的性质来分

- (1) 连续系统;
- (2) 离散系统。

## 习题解答

### A 基本题

**A1-1** 什么是反馈?什么是正反馈和负反馈?为消除系统误差,为什么工程上反馈控制必须是负反馈?

**解** 根据结果来改变控制的称为反馈。反馈的特点是存在从结果(输出)到原因(输入)的信息通道,测量装置将测量到的输出信号的全部或部分返回输入端。在工程控制系统中,由测量装置量测输出情况,将它与理想目标进行比较,产生偏差,利用偏差来消除偏差。

**正反馈和负反馈** 反馈元件的输出叫反馈信号,根据反馈信号的极性,又把反馈信号与输入信号同极性的反馈叫正反馈,反极性的反馈叫负反馈。

社会系统经常采用正反馈,如果一项政策、措施产生的效果好,就加强,效果不好就取消,这就是正反馈。

工程系统通常采用负反馈,这是因为工程上的控制装置常常是用来保障被控对象按照预定的规律运行的,由于外界扰动和系统参数变化等因素会导致对象输出与目标值之间产生误差,工程控制的目标就是克服这种偏差,因此工程上反馈控制必须是负反馈。

**A1-2** 人在平时生活中做的许多事情,如走路、取物、吃食物、阅读、清扫等都带有反馈控制作用,试举例,并用框图说明其反馈工作原理。

**解** 日常生活中,人们朝一个预定目标的行走便带有负反馈控制作用。首先,人会根据自己的目的地设定一条行走的路线,然后沿着设定的路线行走,但在行走的过程中可能会受到一些干扰(如路线中某一段路上有障碍物挡住了路线)而偏离了设定的路线,人通过感官感觉偏离了预定路线,就将偏差送给人的大脑,大脑会控制人的脚朝着减小偏差的方向行走。这便是一个典型的负反馈控制系统。其框图如图 1-2 所示。

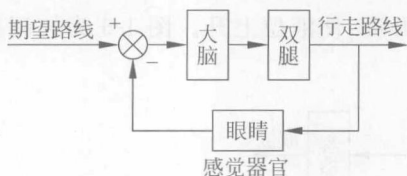


图 1-2 人的反馈控制系统框图



图 1-3 电视机频道控制系统框图

**A1-3** 现在家电设备在人们日常生活中已经十分普及。试从家电中举几个开环和闭环控制系统的例子,说明它们的工作原理,并画出其框图。

**解 开环控制系统** 电视机的频道控制是一个开环控制系统,人根据自己的喜好通过电视机的遥控器(或电视机面板上的控制器)选择对应的频道,控制器发出控制命令使电视机切换到对应的频道。其框图如图 1-3 所示。

**闭环控制系统** 家用空调的温度控制是一个闭环控制系统。开始人设定期望的温度,通过电子线路将这一信号传给控制器,控制器发送命令给执行机构(如空气压缩机,风扇等)使它们动作,传感器检测室内的温度,这个温度与设定温度相比较得出差值,控制器根据差值来操纵执行机构。其框图如图 1-4 所示。



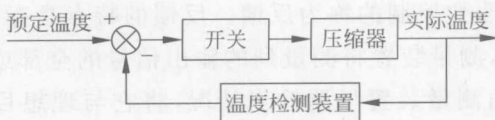


图 1-4 空调温度控制系统框图

**A1-4** 在日常也有许多人参与系统的控制。图 1-5 是一个液位控制系统，其输出管路是一直开启的，控制目标是保持容器中的液位为恒值，液位由仪表中读出。

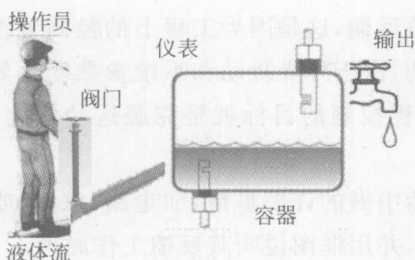


图 1-5 液位控制系统示意图

- (1) 说明系统的工作原理，画出其框图，并指出系统的测量装置与执行装置；
- (2) 配上适当的元器件，将系统改为自动控制系统，并说明其工作原理，画出系统框图，指出输入量、输出量、被测量和控制器。

**解** (1) 系统要求液位有一个设定值，仪表测得液位的实际值，操作人员将实际值与设定值相比较，如果实际值比设定值大，操作人员就减小阀门的开度，使液位下降；如果实际值比设定值小，操作人员就增大阀门的开度，使液位上升。图 1-6 为控制系统框图，

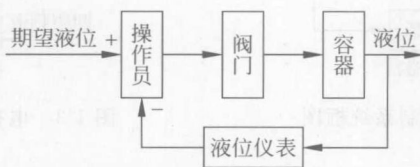


图 1-6 液位控制系统框图

其中测量装置为仪表，执行装置为阀门。（应该将操作员放在比较器的位置上）

(2) 略。

**A1-5** 试绘制图 1-7 随动系统的方框图。如果系统的反馈变成正反馈，会产生什么后果？

**解** 随动系统的方框图如图 1-8 所示。

如果系统的反馈变成正反馈，无法得到发信器的转角  $\theta_r$  与收信器的转角  $\theta_c$  的角偏差  $\theta = \theta_r - \theta_c$ ，得到的是  $\theta = \theta_r + \theta_c$ ，无法根据这个信号实现角度跟踪。