声　明

本电子书由中国轻工业出版社出版，相关权利归中国轻工业出版社所有。读者、著作权人和（或）依法可以行使著作权的权利人如有疑问，请与中国轻工业出版社联系：

地址：北京市东长安街 6 号

邮编：100740

电话：85119838

Email: xnxltm@yahoo.com.cn

中国轻工业出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

高等学校轻工专业试用教材

家用电器中的自动控制系统

主　编　赵雅君
副主编　徐丕鉴

中国轻工业出版社

内 容 简 介

本书是结合家用电器产品中的自动控制系统的内容来编写的。全书共分三部分，第一部分为线性控制系统，第二部分为非线性控制系统，第三部分为模糊控制系统。每一部分含数学基础、系统的分析方法、系统设计举例和习题等内容。

本书为家用电器专业本（专）科的教材，也可供在家用电器、自动化和电机电器及其控制方面从事技术工作的人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

家用电器中的自动控制系统/赵雅君主编．—北京：中国轻工业出版社，1996.11
高等学校轻工专业试用教材
ISBN 7-5019-1926-7

Ⅰ.家… Ⅱ.赵… Ⅲ.日用电气器具-自动控制系统-高等学校-教材 Ⅳ.TM925.03

中国版本图书CIP数据核字（96）第18590号

中国轻工业出版社出版发行
（100740 北京市东长安街6号）
责任编辑：孟寿萱
利森达印务有限公司印刷　新华书店经销
1996年12月第1版　1996年12月第1次印刷
开本：787×1092毫米 1/16　印张：34.5
字数：803千字　插页：1　印数：1—3000册
定价：51.75元

前　言

本教材是根据原轻工业部轻工自动化类教材委员会于1991年在西安和郑州两次会议上研究决定的、家用电器专业系列教材编写计划和编写大纲的要求而编写的。

全书共分三部分，第一部分为线性控制系统，共分四章，主要介绍线性控制系统古典的分析设计方法及其在家用电器自控系统中的应用；第二部分为非线性控制系统，共分两章，主要介绍非线性系统的描述函数法和相平面法，以及家用电器中广为应用的非线性位式控制系统的分析和设计举例；第三部分为模糊控制系统，共分三章，主要介绍模糊数学基础，模糊控制原理，家用电器中的模糊控制系统的设计举例。

本教材为家用电器专业本科（兼顾专科）使用的教材（参考讲授学时为80～100学时），也可供在家用电器、自动化、电机电器及其控制等方面从事技术工作的人员参考。

本教材由郑州轻工业学院赵雅君副教授主编，徐丕鉴副教授为副主编，中国人民解放军信息工程学院关恩远教授为主审，第一、三、四、五章由赵雅君等编写，第二、八章由徐丕鉴编写，第六、七章由路康 编写，第九、十章由谢宋和编写。徐丕鉴协助主编统编了全稿。

北京轻工业学院夏德钤教授和龚富林教授对本教材的出版给予了很大的支持和关心，在此向他们致以衷心感谢。

由于编者水平有限，时间紧迫，教材中出现错误和不当之处在所难免，恳切希望读者给予批评指正。

编者

目　录

符号表…… (1)
第一章　绪论…… (5)
第一节　引言…… (5)
第二节　控制系统的基本概念和组成…… (6)
第三节　对自动控制系统性能的要求 …… (11)
第四节　自动控制系统的分类 …… (12)
一、按输入信号的变化规律分 …… (12)
二、按输入输出信号的数目分 …… (13)
三、按系统的特性分 …… (13)
四、按照系统有无反馈分 …… (13)
五、按构成系统的理论基础分 …… (14)
习题 …… (14)
第二章　数学基础——拉普拉斯变换 …… (16)
第一节　拉氏变换的定义和定理 …… (16)
一、拉氏变换的定义 …… (16)
二、拉氏变换的基本定理 …… (18)
第二节　拉氏反变换的方法 …… (26)
一、拉氏反变换公式法 …… (26)
二、查拉氏变换表法 …… (26)
三、部分分式法 …… (26)
四、赫维赛德展开式法 …… (30)
第三节　用拉氏变换求解线性微分方程 …… (32)
一、用拉氏变换求解线性微分方程的步骤 …… (32)
二、用拉氏变换求解线性微分方程的方法 …… (32)
小结 …… (34)
习题 …… (34)
第三章　线性系统的数学模型 …… (36)
第一节　线性系统运动方程的建立 …… (37)
一、建立线性系统微分方程的步骤 …… (37)
二、一般线性系统的运动方程 …… (45)
第二节　非线性系统的线性化 …… (47)
一、忽略微小的非线性 …… (48)
二、工作段线性化法 …… (48)
三、小偏差线性化法 …… (49)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第三节　线性系统的传递函数 …… (50)
一、传递函数的定义 …… (50)
二、传递函数的标准表达式 …… (51)
三、传递函数的性质 …… (53)
四、传递函数的零极点分布图 …… (54)
第四节　系统的结构图 …… (54)
一、结构图的组成 …… (55)
二、结构图的特性 …… (56)
三、绘制系统结构图的步骤 …… (57)
第五节　典型环节 …… (57)
一、典型环节的定义 …… (57)
二、典型环节的种类 …… (58)
第六节　系统传递函数的求取和结构图的简化 …… (64)
一、串联环节结构的简化 …… (65)
二、并联环节结构的简化 …… (65)
三、反馈回路结构的简化 …… (66)
四、相加点移动 …… (69)
五、分支点移动 …… (70)
第七节　系统的频率特性 …… (76)
一、系统频率特性的概念 …… (76)
二、幅相频率特性的绘制 …… (80)
三、对数频率特性的绘制 …… (82)
四、典型环节的频率特性 …… (86)
五、系统开环频率特性的绘制 …… (96)
六、最小相位系统和非最小相位系统 …… (108)
七、开环对数幅相频率特性和闭环频率特性的绘制 …… (110)
小结 …… (119)
习题 …… (119)
第四章　线性系统的性能分析 …… (127)
第一节　概述 …… (127)
第二节　系统的典型输入信号和动态指标 …… (129)
一、系统的典型输入（或试验）信号 …… (129)
二、系统的暂态（或动态）性能指标 …… (131)
第三节　系统的暂态响应 …… (132)
一、一阶系统的暂态响应 …… (132)
二、二阶系统的暂态响应 …… (134)
三、高阶系统的暂态响应 …… (154)
第四节　系统的稳态误差 …… (163)

一、稳态误差的概念……（163）
二、系统稳态误差的计算方法……（166）
三、静态误差系数……（171）
四、动态误差系数……（175）
五、减少稳态误差的方法……（181）
第五节　系统的稳定性……（184）
一、系统稳定的基本概念……（184）
二、线性定常系统稳定的充要条件……（185）
三、系统稳定的代数判据……（186）
四、奈奎斯特判据……（194）
五、系统的相对稳定性……（203）
六、用频率特性估算系统的稳态和动态性能……（206）
小结……（219）
习题……（221）
第五章　线性控制系统设计……（232）
第一节　控制系统设计的步骤……（232）
一、初步设计……（232）
二、原理试验……（241）
三、样机的生产和调试……（241）
第二节　系统的模拟仿真试验……（242）
一、数学模拟仿真的概念……（242）
二、数学模拟的一般解题方法……（242）
三、模拟机中的主要运算部件……（244）
四、典型环节的模拟……（250）
五、线性系统的模拟……（258）
第三节　线性自控系统设计实例……（270）
一、录像机简介……（270）
二、录像机鼓伺服控制系统和主导伺服系统的被控对象……（276）
三、伺服系统的性能指标……（283）
四、系统控制方案的确定……（284）
五、鼓伺服系统各元部件的选择……（287）
六、鼓伺服系统的实际电路……（295）
七、建立系统的数学模型……（296）
八、系统动态特性分析和系统校正装置的确定……（296）
小结……（301）
习题……（302）
第六章　非线性控制系统的分析方法……（305）
第一节　概述……（305）

一、控制系统中的典型非线性特性…… (305)
二、非线性控制系统的特点…… (309)
三、非线性系统的分析方法…… (311)
第二节　描述函数法…… (312)
一、描述函数的基本概念…… (312)
二、典型非线性特性的描述函数…… (315)
三、用描述函数分析非线性系统…… (323)
四、典型非线性特性系统的描述函数分析…… (329)
第三节　相平面法…… (337)
一、相平面法的基本概念…… (337)
二、相轨迹的绘制…… (338)
三、用相平面求取时间解和加速度…… (347)
四、非线性控制系统的相平面分析…… (349)
五、利用非线性特性改善系统性能…… (356)
小结…… (357)
习题…… (358)
第七章　家用电器中的非线性控制系统…… (361)
第一节　位式控制系统…… (361)
一、位式控制的概念…… (361)
二、位式控制系统的调节过程…… (362)
三、位式控制系统参数的选择…… (362)
四、位式控制器…… (364)
第二节　恒温式多用电热锅的控制系统…… (365)
一、恒温多用电热锅的结构和控制要求…… (365)
二、电热锅温控系统的分析…… (366)
第三节　电冰箱的温度控制系统…… (368)
一、电冰箱的控制方案…… (369)
二、电冰箱温控系统线路和组成元件…… (369)
三、电冰箱温控系统的数学模型…… (372)
四、系统的性能分析…… (373)
小结…… (374)
第八章　模糊数学基础…… (376)
第一节　普通集合及其运算…… (376)
一、普通集合与元素…… (376)
二、普通集合表示法…… (376)
三、论域、空集、子集、幂集…… (377)
四、集合的基本运算…… (377)
五、映射…… (379)

六、集合的特征函数……(380)
第二节　模糊集合……(381)
一、模糊集合的定义……(381)
二、模糊集合表示法……(382)
三、模糊集合的运算……(384)
四、模糊集合和普通集合的转化……(390)
五、凸模糊集与模糊数……(395)
六、隶属函数……(398)
第三节　模糊矩阵……(405)
一、模糊矩阵的概念……(405)
二、模糊矩阵的运算……(405)
第四节　普通关系与模糊关系……(410)
一、普通关系……(410)
二、模糊关系……(416)
第五节　模糊映射与模糊变换……(421)
一、点集映射与集合变换……(421)
二、模糊映射……(422)
三、模糊变换……(423)
第六节　模糊逻辑……(426)
一、二值逻辑……(426)
二、模糊命题……(428)
三、模糊逻辑公式……(430)
四、模糊逻辑函数的分析与综合……(433)
第七节　模糊语言……(437)
一、形式语言与自然语言……(437)
二、词义……(438)
三、模糊语言算子……(439)
四、语言值……(442)
五、语言变量……(443)
第八节　模糊推理……(443)
一、模糊判断句……(444)
二、模糊推理句……(445)
三、两个变元的模糊推理句……(447)
四、似然推理……(450)
五、条件语句……(451)
六、多重条件语句……(453)
小结……(454)
习题……(454)

第九章　模糊控制理论…… (459)
第一节　模糊控制的基本思想…… (459)
一、手动控制的实质…… (459)
二、模糊控制系统的基本组成…… (460)
第二节　模糊控制原理…… (461)
一、单输入单输出模糊控制算法…… (461)
二、模糊控制的基本原理…… (461)
第三节　模糊控制器设计的基本方法…… (467)
一、模糊控制器的结构设计…… (468)
二、模糊控制规则的设计…… (469)
三、精确量与模糊量的相互转换…… (474)
四、论域、量化因子及比例因子的选择…… (477)
五、模糊控制算法的实现…… (479)
六、采样周期的选择…… (483)
第四节　自调整模糊控制器设计…… (484)
一、比例参数 K_u 的自调整模糊控制系统 …… (484)
二、量化因子 K_e 和 K_{ec} 自调整模糊控制系统 …… (486)
三、控制规则可调整的模糊控制器…… (487)
第五节　模糊控制器的工程应用实例…… (493)
一、蒸汽发动机的模糊控制系统组成…… (493)
二、模糊控制器的结构…… (493)
三、模糊变量的论域及其隶属函数…… (493)
四、模糊控制规则…… (495)
五、模糊控制结果…… (496)
六、模糊关系矩阵和控制表的程序清单…… (497)
小结…… (501)
习题…… (501)
第十章　模糊控制技术在家用电器中的应用…… (502)
第一节　模糊控制在电饭锅中的应用…… (502)
一、米饭的烹饪过程…… (502)
二、模糊控制技术在电饭锅中的应用…… (504)
三、模糊电饭锅的硬件电路…… (508)
四、软件系统设计简介…… (510)
第二节　全自动洗衣机的模糊控制系统…… (514)
一、洗净衣物的要素…… (515)
二、模糊控制全自动洗衣机的主要功能…… (515)
三、模糊洗衣机中的传感器设计…… (516)
四、洗衣机的模糊控制…… (521)

五、模糊洗衣机的电路设计…… (526)
六、模糊洗衣机的软件系统设计…… (527)
小结…… (535)
习题…… (535)
参考文献…… (536)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

符 号 表

A	正弦信号幅值，集合
A_1	傅里叶级数中基波分量的傅里叶系数
$\underset{\sim}{A}$	模糊集合 $\underset{\sim}{A}$
$\underset{\sim}{A}^c$	模糊集合 $\underset{\sim}{A}$ 的补集
$\underset{\sim}{A}_\lambda$	模糊集合 $\underset{\sim}{A}$ 的强截集
$a_0, a_1, a_2\cdots\cdots$	方程系数
$A\times B$	集合 A 与 B 的直集
B	粘滞阻尼系数，集合
B_1	傅里叶级数中基波分量的傅里叶系数
$b_0, b_1, b_2\cdots\cdots$	方程系数
C	电容
C_e	电机的电势常数
C_m	电机的转矩常数
$C(t)$	系统输出信号
$C_0(t)$	系统的零输入响应(或称初始条件分量)
$C_t(t)$	系统的动态分量
$C_{ss}(t)$或$C(\infty)$	系统的稳态分量
$C_0, C_1, C_2, C_3\cdots\cdots$	系统的动态误差系数
D	电动机
DD	直接驱动直流电机
E	电势
$e(t)$	误差信号
$e_{ss}(t), e(\infty)$	稳态误差
F	力
$F(U)$	全集 U 的模糊幂集
$f(t)$	函数，干扰信号
$G(s)$	传递函数，开环传递函数
$G(j\omega)$	频率特性，开环频率特性
$g(t)$	给定输入信号
H	水位

$H(s)$	反向通道传递函数
$h(t)$	单位过渡函数
i	电流
J	转动惯量，继电器
k	斜率
$k(t)$	脉冲过渡函数
K	系统开环静态放大系数
K'	系统的根轨迹增益
K_p	系统的静态位置误差系数
K_v	系统的静态速度误差系数
K_a	系统的静态加速度误差系数
K_g	系统的幅值裕量
L	电感
L_a	电枢回路电感
L_f	激磁回路电感
M	转矩
M_r	系统的相对谐振峰值
$M(\omega)$	闭环幅频特性
m	质量
N	振荡次数，奈氏曲线绕$(-1,0)$点圈数
$N(A)$	描述函数
n	方程阶次数，转速
P	开环传递函数极点个数
$P(A)$	集合 A 的幂集
$P(\omega)$	实频特性
p	磁极对数
p_i	开环传递函数的极点
Q	流量
$Q(\omega)$	虚频特性
R	电阻
R_a	电枢电阻
R_f	激磁电阻
$r(t)$	输入控制信号
s	复变量
s_i	闭环传递函数极点
T	温度，时间，周期
t	时间

t_p	峰值时间
t_r	上升时间
t_s	调节时间
U	电压，电机绕组名，论域，全集
U_a	电枢电压
u	实部
$u(\omega)$	实频特性
V	电机绕组名
v	虚部
$v(\omega)$	虚频特性
W	电机绕组名
$X(f)$	非线性元件输出或系统输出信号
$\dot{x}(t)$	对 $x(t)$ 求一次导数
$\ddot{x}(t)$	对 $x(t)$ 求二次导数
$\dddot{x}(t)$	对 $x(t)$ 求三次导数
$y(t)$	反馈信号或输出信号
Z	闭环传递函数的零点个数
z_i	闭环零点
α	角度、相角
β	角度、相角
$\gamma(\omega_c)$	相角裕量
δ	微量
$\delta(t)$	理想脉冲函数
Δ	偏差
ε	偏差
ζ	阻尼比
θ	相角
$\theta(\omega)$	闭环相频特性
λ	阈值
$\mu_{\underset{\sim}{A}}$	模糊集合 $\underset{\sim}{A}$ 的隶属函数
ν	无差度，开环积分环节数
ξ	阻尼比
σ	复数 s 的实部
σ_p	超调量
τ	时间常数，迟后时间
$\phi(s)$	闭环传递函数
$\phi(j\omega)$	闭环频率特性

$\phi(\omega),\varphi(w)$	相频特性
φ	相角
ψ	相角
Ω	角频率
ω	角频率
ω_c	剪切频率
ω_b	截止频率
ω_n	无阻尼振荡频率
ω_d	有阻尼振荡频率
ω_r	峰值频率
$\forall$	对于所有的
$\exists$	至少存在一个
$\in$	属于
$\overline{\in}$	不属于
$\subseteq$	包含
$\subset$	真包含
$\not\subset$	不包含
$\cup$	并
$\cap$	交
$\varnothing$	空集
$\wedge$	取小运算
$\vee$	取大运算
$\dot{+}$	代数和运算
$\cdot$	代数积运算
$\oplus$	有界和运算
$\odot$	有界积运算
$R\circ S$	模糊矩阵 R 与 S 的合成运算
$\underset{\sim}{R}\circ\underset{\sim}{S}$	模糊关系 R 与 S 的合成运算

第一章 绪 论

第一节 引 言

随着社会生产力的不断提高和科学技术的进步与发展，自动控制技术也在迅速地发展。特别是第二次世界大战以来，自动控制技术发展得更加迅猛。它把人类过去世世代代的许多希望和梦想都变成了现实。目前自动化技术发展的广度和深度都是惊人的。

从自动化发展的广度来看，它不仅在工业各部门（如国防、冶金、机械、航空、电力、电气、电子、轻工、化工、纺织等等）得到广泛的应用，而且已深入到经济、管理、医疗、生物工程等许多方面，形成了经济控制论、医学控制论、生物控制论等许多控制理论的新分支。另外，从轻工业的各个行业来看，造纸、制糖、烟酒、食品、日化、家用电器等几十个行业，都离不开自动化技术。由于轻工业生产的产品大都是人们生活的必须品，是与千家万户相联系的，因此产品的数量大，质量要求高，是最适合用自动化生产的，所以，国内外的轻工业产品的生产过程都是朝着高度自动化的方向发展。

自动化发展的深度更是使人们惊叹。宇宙飞船的发射和返回，人类成功的登月，卫星的发射和定位，导弹和核能的控制，人工智能和机器人，以及各种高性能的生产加工自动线等等，各种精巧奇妙的自动化装置都表明了自动化技术发展的高水平。

自动化技术所以发展得这样快，应用得这样广泛，主要是自动化技术具有能够提高生产率、提高产品的数量和质量，降低产品的成本，减少能源和原材料的消耗，能够改善人们的生产条件和劳动环境，把人们从繁重和烦琐的劳动中解放出来等许多优点，表现出有强大的生命力。

由于自动化技术的高度发展和广泛应用，使它已成为正在酝酿的新技术革命的重要内容之一。有人把信息工程、生物工程、新材料、新能源称为新技术革命的四大支柱，而自动控制、计算机、通讯为主要内容的信息工程是这项新技术革命的核心。当今一个国家的自动化技术的发展水平，可以说是反映这个国家科学技术和生产力发展水平的标志之一。

家用电器工业是一个新兴的产业，目前在国内外都发展很快。从家用电器工业发展的过程来看，家电工业是与自动化技术密切相关的，不仅家用电器产品的生产过程几乎都是自动化的生产过程，而且对家用电器产品本身的要求也是自动化的。例如：全自动洗衣机，自动空调器，自动加湿器，自动除霜冰箱，自动电饭锅，家用录像机，遥控电视机，光控与声控照明设备、遥控和自动玩具等，都已是人们生活中的现实。从当前国内外家电产品发展的趋势来看，家电产品将朝着更高和更新的自动化方向发展。例如：模糊控制洗衣机，模糊控制电饭锅等各种模糊控制家用电器已经出现；用家用计算机控制电话机、电视机、录像机、音响设备、照明设备、厨房电器等等，组成家用计算机控制网。据报道，智能化的家用机器人已经面世。所以，一个从事家用电器专业的工程技术人员具备一定的自动化技术方面

的知识是非常必要的。

第二节　控制系统的基本概念和组成

首先，举例说明控制系统的一些基本概念。如图 1-1 所示的电冰箱温度控制系统，其工作原理是：当开关 K 闭合时电机运行带动压缩机工作，压缩机把从蒸发器里出来的气体致冷剂吸收并压缩成高压、高温气体送至冷凝器（又称散热器），经冷凝器散热把致冷剂冷凝成高压液体，经毛细管节流降压进入蒸发器，由于压力骤然降低，制冷剂沸腾蒸发吸热变成气体，经压缩吸回，从而把冰箱内的热量带走，这样反复循环，不断带走热量降低箱体温度。总之，通过开关 K 的开闭，就可以控制冰箱温度。当人们观测温度计 T 的温度过高时，就打开开关 K，温度低时就关闭 K，从而控制冰箱温度。上述这个温度系统是个控制系统，但是由人来直接参与完成控制任务。

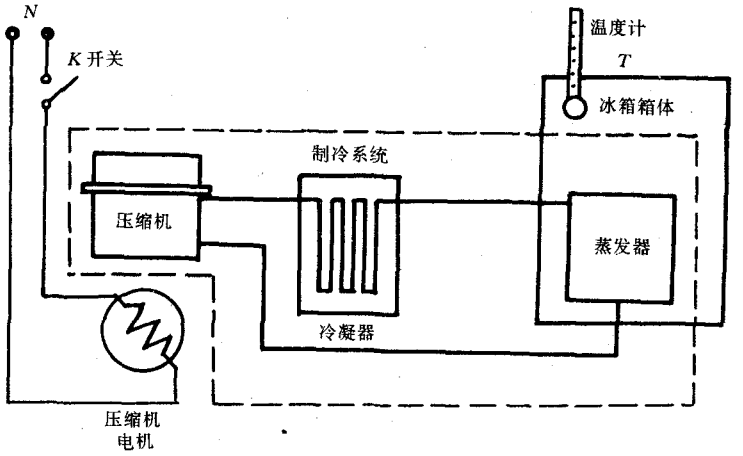


图 1-1　电冰箱温度控制系统

又如图 1-2 是一个它激直流电动机的速度控制系统，它的工作原理是由人调节电位器 R_W，来调节电机电枢电压 U_a，从而改变电机 D 的转速。根据观测到的电机的转速高低，来通过对 R_W 电位器输出电压 U_P 的调节，达到对电机速度的调节。

上述两个例子中都有人直接参与，所以是人工控制系统。人在这些控制系统中起了三个作用：

(1)观测作用　即由人眼去观测温度计或转速表。

(2)判断作用　即由人脑把观测到的数据（这里即温度或转速）与要求的数据（希望的温度或转速）进行比较判断，确定一个是要把温度（或转速）升高或降低的命令。

(3)执行作用　是由人手来完成的，它是执行大脑经判断而发出的命令，从而去调节开关 K 或电位器 R_W。

上述这两个控制系统显然都是很不实用的。因为它们都离不开人，使用起来很不方

需要全本请访问 www.ertongbook.com