

高等院校信息技术实验教程丛书

ZIKONG YUANLI JI JISUANJI
KONGZHI SHIYAN JIAOCHENG
自控原理及计算机控制实验教程

姚 铭 罗锦才 编著



厦门大学出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS

自控原理及计算机 控制实验教程

姚 铭 罗锦才 编著

厦门大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

自控原理及计算机控制实验教程/姚铭,罗锦才编著. —厦门:厦门大学出版社,2008.8
(高等院校信息技术实验教程丛书)
ISBN 978-7-5615-3067-2

I. 自… II. ①姚…②罗… III. ①自动控制理论-高等学校-教材②计算机控制-高等学校-教材 IV. TP13 TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 121910 号

厦门大学出版社出版发行

(地址:厦门大学 邮编:361005)

<http://www.xmupress.com>

xmup@public.xm.fj.cn

南平市武夷美彩印中心印刷

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:11.75

字数:296 千字 印数:0001~2 000 册

定价:18.00 元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换

高等院校信息技术实验教程丛书编委会

主任委员:王 琳

副主任委员:隋榕生 李名世

委 员:程曙艳 胡晓毅 黄联芬 李名世 林聪仁 刘舜奎
彭侠夫 隋榕生 王 琳 王晓雪 姚 铭 游佰强

序

21 世纪,科学技术的发展日新月异,信息化时代的来临使信息科学与技术深入社会生活的各个领域。其发展水平已成为衡量一个国家科技实力的重要标志之一。各国都把培养大量高水平的信息科学人才作为科技发展的重要战略目标。

培养高水平的信息科学人才,应重视学生的工程素质和实践能力的培养,提高学生分析问题解决实际问题的能力,这也是当前社会对毕业生专业技能的要求。各高校通过实验课程、课程设计、毕业设计、毕业实习以及组织各种竞赛来提高学生的实践能力、设计与制作能力。

实验是自然科学的基础,是一切科学创造的源泉。学生在本科阶段存在课程多,学时少,实验、实践锻炼的机会更少的问题。一方面由于扩招引起的指导教师、实验资源不足;另一方面也缺少一批实用、高效的实验教材。在厦门大学出版社的大力支持下,我们组织完成了这套“高等院校信息技术实验教程丛书”的编写工作。参与编写该丛书的作者都是担任相关课程的老师或实验指导老师,该丛书是在相关课程经过多年实验使用的实验讲义的基础上编制而成,收集了较多不同难度的实验项目,供实验课选择。

“高等院校信息技术实验教程丛书”包括《电子技术实验教程》、《电机与电力拖动实验教程》、《可编程控制器(PLC)实验教程》、《自控原理及计算机控制实验教程》、《过程控制实验教程》、《单片机原理与接口技术实验教程》、《电磁场与微波技术实验教程》、《数据库技术实验教程》、《汇编程序设计实验教程》、《数字信号处理(DSP)实验教程》十本实验指导书。

在此,我们向所有支持和参与该丛书出版的单位和同志表示感谢,特别要向李茂青教授、许茹教授在该丛书的编写、出版中做出的指导性工作表示感谢。同时,感谢该丛书中使用的实验设备的生产厂家提供的支持。

由于作者的水平与能力有限,丛书中的不足与问题难免,恳请广大师生批评指正。

高等院校信息技术实验教程丛书编委会

2008 年 1 月于厦门大学海韵园

前言

自动控制原理是自动化、自动控制、电子技术、电气技术、仪器仪表等专业教学中一门重要的专业基础课。要完成这门课程的教学任务,就应该配备一流的教学实验设备,以指导学生理论联系实际,在实验中加深对自动控制理论的理解。

自动控制理论实验是自动控制理论课的一部分,它的任务是:

1. 通过实验进一步了解和掌握自动控制理论的基本概念,控制系统的分析方法和设计方法。

2. 学习和掌握系统模拟电路的构成和测试技术。

3. 提高在控制系统中应用计算机的能力和水平。

为配合自动控制理论实验课程,本书采用 SAC-ACT 自动控制原理教学实验系统,它打破了以往基于模拟机或某个单一系统对象进行自动控制原理实验的落后方式,把自动控制原理实验与计算机结合起来,创造了以计算机为核心的教学实验系统,结合配套的自动控制原理教学实验软件包,使学生在实验过程中,既能自己设计电路、动手搭接电路,又可通过观察曲线来增加感性认识,若能引导学生自己编制程序进行实验,效果更佳。

本书以沈飞电子公司生产的自动控制原理实验箱为实验平台,介绍了十个自动控制原理实验和十个计算机控制技术实验。自动控制原理部分有:典型环节及其阶跃响应、控制系统瞬态响应、控制系统频率特性、采样系统分析、控制系统稳定性研究、非线性控制系统分析、连续系统串联校正、采样控制系统校正、状态反馈、状态观测器。计算机控制技术部分有:A/D,D/A 转换实验、采样保持器、大林算法控制、平滑与数字滤波、积分分离 PID 控制、解耦控制、最小拍控制系统、电机调速实验、步进电机实验、温度控制实验。实验内容涉及理论广泛,包含:经典控制理论的线性非线性部分及现代控制理论。实验项目类型丰富齐全,提供验证型、设计型和综合型三种类型的实验。同时为了增加实验的扩展性,培养学生的自主创新精神,还提供了函数库,供学生编程控制实验平台进行实验。

目 录

第一部分 自动控制原理实验

第一章 验证性实验	(3)
1.1 典型环节的模拟研究	(3)
1.2 控制系统瞬态响应	(7)
1.3 控制系统的频率特性	(15)
第二章 综合性实验	(19)
2.1 采样系统分析	(19)
2.2 控制系统的稳定性研究	(29)
第三章 设计性实验	(33)
3.1 非线性控制系统分析	(33)
3.2 连续系统串联校正	(38)
第四章 研究性实验	(46)
4.1 采样控制系统的校正	(46)
4.2 状态反馈	(51)
4.3 状态观测器	(59)

第二部分 计算机控制实验

第五章 计算机控制技术实验	(65)
5.1 D/A 转换实验	(65)
5.2 A/D 转换实验	(66)
5.3 采样与保持	(68)
5.4 平滑与数字滤波实验	(73)
5.5 数字 PID 控制实验	(78)
5.6 最少拍控制系统	(85)
5.7 大林算法	(93)
第六章 控制系统实验	(102)
6.1 直流电机闭环调速实验	(102)
6.2 温度闭环控制实验	(105)
6.3 步进电机调速实验	(109)

附录一	ACT_Link 动态连接库说明	(113)
附录二	实验箱介绍	(121)
附录三	往届学生示例程序	(127)

附录一	ACT_Link 动态连接库说明	(113)
附录二	实验箱介绍	(121)
附录三	往届学生示例程序	(127)

第一章 验证性实验

1.1 典型环节的模拟研究

一、实验目的

1. 学习并掌握构成典型环节的模拟电路。
2. 熟悉各种典型环节的阶跃响应曲线。
3. 了解参数变化对典型环节动态特性的影响,学会由阶跃响应曲线计算典型环节的传递函数。

二、各典型环节的结构框图及模拟电路和阶跃响应曲线

(一) 比例环节

1. 比例环节的结构框图

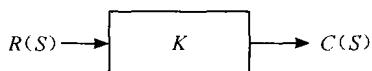


图 1.1.1 比例环节的结构框图

2. 比例环节的模拟电路

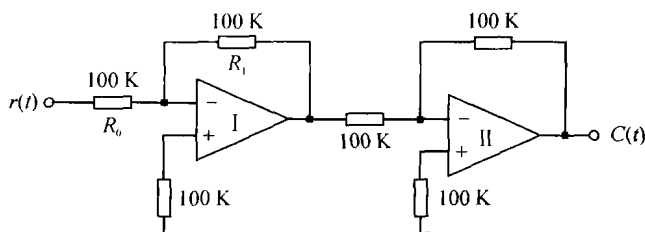


图 1.1.2 比例环节的模拟电路

3. 比例环节的单位阶跃响应 $c(t) = K$; $K = \frac{R_1}{R_0}$

4. 比例环节的阶跃响应曲线

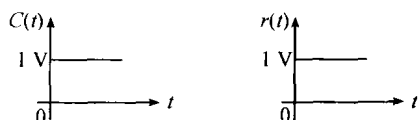


图 1.1.3 比例环节的阶跃响应曲线

(二) 惯性环节

1. 惯性环节的结构框图

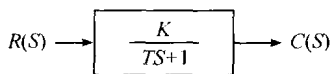


图 1.1.4 惯性环节的结构框图

2. 惯性环节的模拟电路

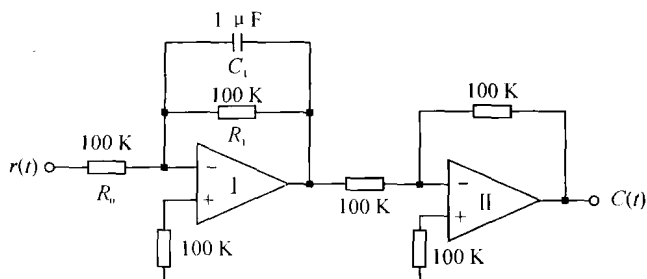


图 1.1.5 惯性环节的模拟电路

3. 惯性环节的单位阶跃响应 $C(t) = K(1 - e^{-t/T})$; $K = \frac{R_1}{R_0}$ 、 $T = R_1 C_1$

4. 惯性环节的阶跃响应曲线

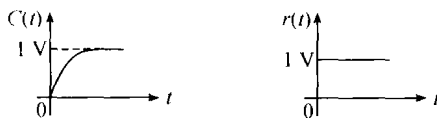


图 1.1.6 惯性环节的阶跃响应曲线

(三) 积分环节

1. 积分环节的结构框图

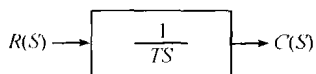


图 1.1.7 积分环节的结构框图

2. 积分环节的模拟电路

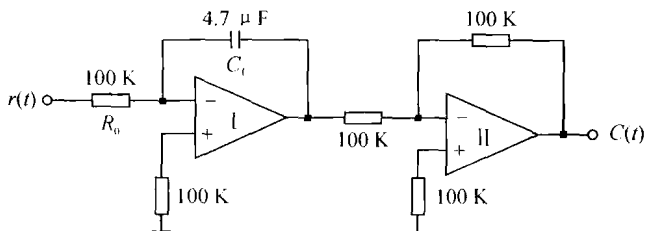


图 1.1.8 积分环节的模拟电路

3. 积分环节的单位阶跃响应 $C(t) = \frac{t}{T}$; $T = R_0 C_1$

4. 积分环节的阶跃响应曲线

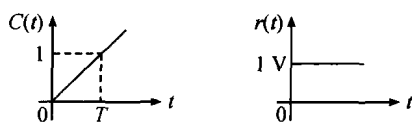


图 1.1.9 积分环节阶跃响应曲线

(四)微分环节

1. 微分环节的结构框图

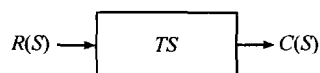


图 1.1.10 微分环节的结构框图

2. 微分环节的模拟电路

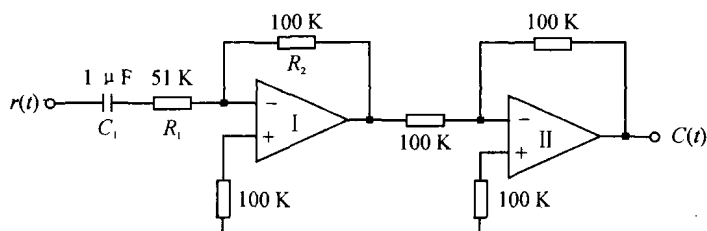


图 1.1.11 微分环节的模拟电路

3. 微分环节的单位冲击响应 $C(t) = T\delta(t)$; $\delta(t)$ 为单位脉冲函数

4. 微分环节的阶跃响应曲线 $T = R_2 C_1$

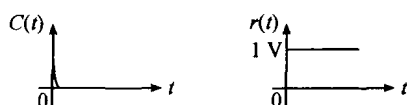


图 1.1.12 微分环节的阶跃响应曲线

(五)比例微分环节

1. 比例微分环节的结构框图

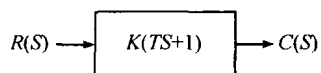


图 1.1.13 比例微分环节的结构框图

2. 比例微分环节的模拟电路

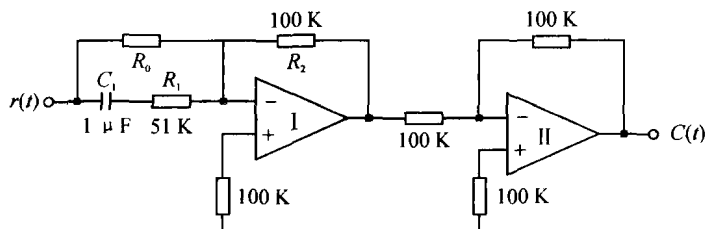


图 1.1.14 比例微分环节的模拟电路

- 3. 比例微分环节的单位冲击响应 $C(t) = KT\delta(t) + K$; $\delta(t)$ 为单位脉冲函数
- 4. 比例微分环节的阶跃响应曲线 $K = \frac{R_2}{R_0}$ 、 $T = (R_0 + R_1)C_1$

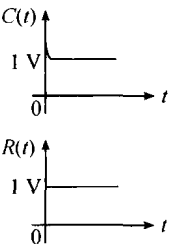


图 1.1.15 比例微分环节的阶跃响应曲线

(六)比例积分环节

- 1. 比例积分环节的结构框图

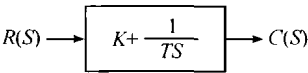


图 1.1.16 比例积分环节的结构框图

- 2. 比例积分环节的模拟电路

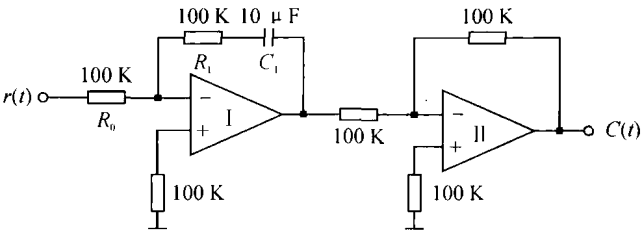


图 1.1.17 比例积分环节的模拟电路

- 3. 比例积分环节的阶跃响应 $C(t) = K + \frac{t}{T}$; $K = \frac{R_1}{R_0}$ 、 $T = R_0 C_1$
- 4. 比例积分环节的阶跃响应曲线

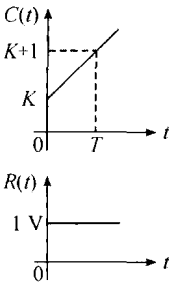


图 1.1.18 比例积分环节的响应曲线

三、实验步骤

- 1. 依次按典型电路接线,输入端 $r(t)$ 接阶跃信号并与数字示波器 OSC 的 CH1 连接, CH2 接输出端 $c(t)$ 。

注:用连续阶跃信号输入时,放电短路子接“**AUTO**”,用手动阶跃信号输入时,放电短路子接“**HDC**”。

2. 打开实验箱电源。
3. 启动计算机,运行“**SAC-ZJT-A1**”,进入实验系统。
4. 选择串口(如不选择,则默认 **COM1** 为通讯口)。
5. 选择“**自控实验**”,点击“**典型环节的模拟研究**”。
6. 点击“**启动显示**”,打开实验界面。

7. 点击“**运行**”,观察并调整输入阶跃信号的幅度为 **1 V**,按表 1.1.1 设置各典型环节的电路参数,观察并记录波形及数据,填入表 1.1.1 中。

四、实验报告

1. 画出各环节的模拟电路图及实验曲线。
2. 推导出各环节的传递函数,与理论计算的结果相比较,并在切换同一个电路的参数时,观察响应曲线的变化。

3. 表 1.1.1 典型环节实验记录

典型环节	K, T 值	单位阶跃响应	参数	响应曲线
比例(P)	$K = \frac{R_1}{R_0}$	$C(t) = K$	$R_1 = 100 \text{ K}$	
			$R_1 = 200 \text{ K}$	
惯性	$K = \frac{R_1}{R_0}$ $T = R_1 C_1$	$C(t) = K(1 - e^{-\frac{t}{T}})$	$C_1 = 1 \mu\text{F}$	
			$C_1 = 2 \mu\text{F}$	
积分(I)	$T = R_0 C_1$	$C(t) = \frac{t}{T}$	$C_1 = 2 \mu\text{F}$	
			$C_1 = 4.7 \mu\text{F}$	
微分(D)	$T = R_2 C_1$	$C(t) = T\delta(t)$	$R_2 = 100 \text{ K}$	
			$R_2 = 51 \text{ K}$	
比例微分(PD)	$K = \frac{R_2}{R_0}$ $T = (R_0 + R_1)C_1$	$C(t) = KT\delta(t) + K$	$R_2 = 100 \text{ K}$	
			$R_2 = 51 \text{ K}$	
比例积分(PI)	$K = R_1/R_0$ $T = R_0 C_1$	$C(t) = K + t/T$	$C_1 = 4.7 \mu\text{F}$	
			$C_1 = 10 \mu\text{F}$	

1.2 控制系统瞬态响应

一、实验目的

1. 学习构成典型二阶系统和三阶系统的的模拟电路。
2. 熟悉二阶系统和三阶系统的阶跃响应曲线,了解参数变化对典型环节动态特性的影响。

3. 学会由阶跃响应曲线计算典型环节的传递函数。

二、实验相关理论概述

(一) 系统响应的动态过程和稳态过程

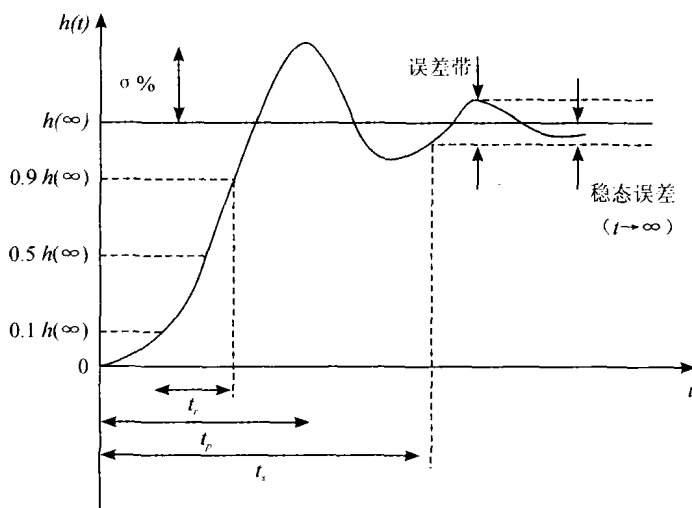
在典型信号作用下, 控制系统的时间响应由动态过程和稳态过程两部分组成。

动态过程(过渡过程、暂态过程): 在典型输入信号作用下, 系统从初态到终态的响应过程。

动态响应过程有三种情况: 衰减型、发散型、等幅振荡型。

稳态响应过程: 在输入信号作用下, 当时间 t 趋向无穷大时, 系统输出的表现形式。稳态误差是稳态性能描述。

1. 动态性能



上升时间 t_r , 峰值时间 t_p , 调节时间 t_s , 超调量 $\sigma\%$ 。

在测定或计算系统的动态性能指标时, 由于阶跃函数可以表征系统受到的最严峻的工作状态。动态性能指标描述稳定的系统在单位阶跃函数作用之下, 动态过程随时间 t 变化情况的指标称为动态性能指标。

2. 稳态性能

通常讨论在阶跃、斜坡、加速度函数作用下的系统稳态误差; 稳态误差用来衡量系统的控制精度或抗扰动性能。(注: 本实验集中讨论阶跃下的动态性能)

(二) 二阶系统分析

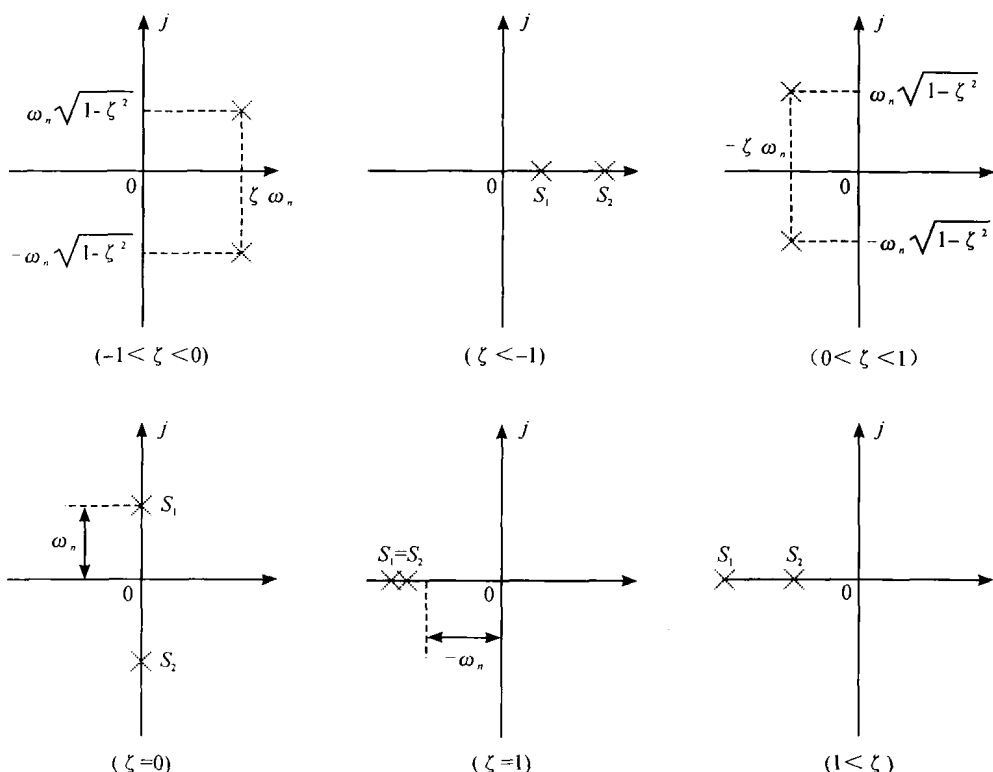
1. 二阶系统特征方程及特征方程的根

$$W(S) = \frac{\omega_n^2}{S^2 + 2\zeta\omega_n S + \omega_n^2}$$

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = 0$$

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm \omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1}$$

2. 二阶系统闭环极点分布

3. 二阶系统的单位阶跃响应 $r(t)=1(t)$ (1) 发散正弦振荡型 $\zeta = -1$

$$h(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t + \theta) \quad (t \geq 0)$$

(2) 单调发散运动 $\zeta < -1$

$$h(t) = 1 + \frac{e^{-(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n t}}{2\sqrt{\zeta^2 - 1}(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1})} - \frac{e^{-(\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n t}}{2\sqrt{\zeta^2 - 1}(\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1})} \quad (t \geq 0)$$

(3) 等幅振荡运动 $\zeta = 0$, 时间响应为:

$$h(t) = 1 = \cos\omega_n t \quad (t \geq 0)$$

(4) 欠阻尼运动 $0 < \zeta < 1$, 时间响应为:

$$h(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t + \beta) \quad (t \geq 0)$$

(5) 临界阻尼运动 $\zeta = 1$, 时间响应为:

$$h(t) = 1 - e^{-\omega_n t} (1 + \omega_n t) \quad (t \geq 0)$$

(6) 过阻尼运动 $\zeta > 1$, 时间响应为:

$$h(t) = 1 + \frac{e^{\frac{-t}{T_1}}}{\frac{T_2}{T_1} - 1} + \frac{e^{\frac{-t}{T_2}}}{\frac{T_1}{T_2} - 1} \quad (t \geq 0)$$