

“十三五”普通高等教育应用型本科院校重点建设系列规划教材

电气工程及其自动化 实验教程

主编 许明清

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

“十三五”普通高等教育应用型本科院校重点建设系列规划教材

电气工程及其自动化 实验教程

主编 许明清

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是一本实验课教材，主要介绍了自动控制原理、电机与拖动基础、电力电子技术、电力系统稳态分析、供电工程、继电保护等电气工程及其自动化实验课程、实习实训课程的基本方法、测试手段和实验内容，基本涵盖了电气工程及其自动化专业基础及专业课最常用的实验。本书的实验内容与理论教学联系紧密，有利于学生增加对相关课程的学习兴趣及对理论知识的理解，每门课程还设置了综合设计型实验，注重提高学生的动手能力、分析问题及解决问题的能力。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化类专业课程的配套实验课教材，也可作为自动化技术方面工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电气工程及其自动化实验教程 / 许明清主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2019.10
ISBN 978-7-5682-7621-4

I. ①电… II. ①许… III. ①电气工程—实验—高等学校—教材②自动化技术—实验—高等学校—教材 IV. ①TM-33②TP2-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 210608 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 11.5

字 数 / 270 千字

版 次 / 2019 年 10 月第 1 版 2019 年 10 月第 1 次印刷

定 价 / 32.00 元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

前 言

近年来，我国政府逐步引导部分本科高校向应用型转变，这就需要这些大学重视社会服务职能，以服务经济社会发展需求为导向，以培养应用型人才为目标，培养大批具有创新精神和创业能力的高素质应用型人才，本书正是一本符合应用型人才培养的教材。内容上注重学术专业知识、专业技能的培养和训练，强调与一线生产实践的结合，更加重视实践性教学环节，如实验教学、专业实习等，以此作为学生贯通有关专业知识和集合有关专业技能的重要教学活动。

本书共 6 章，内容包括自动控制原理、电机与拖动基础、电力电子技术、电力系统稳态分析、供电工程、继电保护等电气工程及其自动化实验课程、实习实训课程的基本方法、测试手段和实验内容，基本涵盖了电气工程及其自动化专业基础及专业课最常用的实验。

本书由许明清主编，各章节撰写人员如下：张公永编写第一、二章，高联学编写第三、四章，周宣征编写第五、六章。全书由许明清统稿。另外，在编写书稿的过程中参考了浙江天煌科技实业有限公司、浙江求是科教设备有限公司等提供的相关资料，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在一些疏漏及不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 自动控制原理实验	1
实验一 典型环节的电路模拟实验.....	3
实验二 二阶系统的瞬态响应实验.....	9
实验三 高阶系统的瞬态响应和稳定性分析实验	12
实验四 线性定常系统的稳态误差实验	14
实验五 典型环节和系统频率特性的测量实验	18
实验六 线性定常系统的串联校正实验	23
实验七 典型非线性环节的静态特性实验	30
实验八 非线性系统的描述函数法实验	35
第二章 电机与拖动基础实验	41
实验一 直流并励电动机实验	43
实验二 他励发电机实验	47
实验三 并励发电机实验	50
实验四 单相变压器实验	52
实验五 三相变压器实验	58
实验六 三相鼠笼异步电动机的工作特性实验	65
实验七 三相异步电动机的起动与调速实验	69
实验八 三相异步电动机在各种运行状态下的机械特性实验	73
第三章 电力电子技术实验	79
实验一 单结晶体管触发电路及单相半波可控整流电路实验	81
实验二 单相桥式半控整流电路实验	84
实验三 单相桥式全控整流电路实验	87
实验四 三相半波可控整流电路实验	90
实验五 三相桥式全控整流及有源逆变电路实验	92
实验六 单相交流调压电路实验	95
实验七 三相交流调压电路实验	97
实验八 全桥 DC/DC 变换电路实验	99
第四章 电力系统稳态分析实验	101
实验一 发电机组的起动与运转实验.....	103
实验二 单机一无穷大系统稳态运行方式实验.....	108
实验三 复杂电力系统运行方式实验.....	111
实验四 电力系统潮流计算分析实验.....	113

实验五	电力系统有功功率—频率特性实验	118
实验六	电力系统无功功率—电压特性实验	122
第五章	供电工程实验	125
实验一	工厂电气主接线认知	127
实验二	工厂供电倒闸操作	132
实验三	无时限电流速断保护实训	137
实验四	进线备投及自适应实训	141
实验五	无功自动补偿实训	146
实验六	SCADA 监控	149
第六章	继电保护实验	155
实验一	电磁型电流继电器实验	157
实验二	电压继电器实验	159
实验三	电磁型时间继电器实验	161
实验四	组合型信号继电器实验	164
实验五	中间继电器实验	167
实验六	DH-3 型三相一次重合闸装置实验	171
参考文献		175



第一章 自动控制原理实验

实验一

典型环节的电路模拟实验

一、实验目的

- (1) 熟悉 THKKL-6 型控制理论及计算机控制技术实验箱, 以及“THKKL-6”软件的使用。
- (2) 熟悉各典型环节的阶跃响应特性及其电路模拟。
- (3) 测量各典型环节的阶跃响应曲线, 并了解参数变化对其动态特性的影响。

二、实验内容

- (1) 设计并组建各典型环节的模拟电路。
- (2) 测量各典型环节的阶跃响应, 并研究参数变化对其输出响应的影响。

三、实验原理

自控系统是由比例、积分、微分、惯性等环节按一定的关系组建而成的。熟悉这些典型环节的结构及其对阶跃输入的响应, 将对系统的设计和分析十分有益。

本实验中的典型环节都是以运放为核心元件构成, 其原理框图如图 1-1 所示。图中 Z_1 和 Z_2 表示由 R 、 C 构成的复数阻抗。

1. 比例(P)环节

比例环节的特点是输出不失真、不延迟、成比例地复现输出信号的变化。它的传递函数为:

$$G(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = K$$

比例环节的原理框图如图 1-2 所示。

当 $U_i(s)$ 输入端输入一个单位阶跃信号, 且比例系数为 K 时的响应曲线如图 1-3 所示。

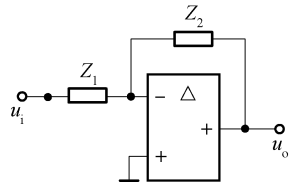


图 1-1 典型环节的原理框图

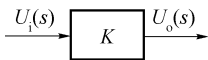


图 1-2 比例环节的原理框图

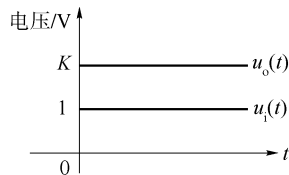


图 1-3 比例环节的响应曲线

2. 积分(I)环节

积分环节的输出量与其输入量对时间的积分成正比。它的传递函数为

$$G(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{1}{Ts}$$

积分环节的原理框图如图 1-4 所示。

设 $U_i(s)$ 为一单位阶跃信号, 当积分系数为 T 时的响应曲线如图 1-5 所示。

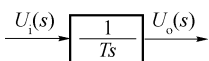


图 1-4 积分环节的原理框图

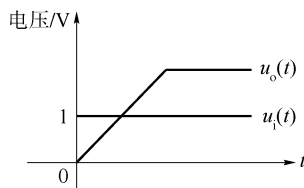


图 1-5 积分环节的响应曲线

3. 比例积分(PI)环节

比例积分环节的传递函数为

$$G(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{R_2Cs + 1}{R_1Cs} = \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{R_1Cs} = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{1}{R_2Cs} \right) \quad (1-1)$$

其中: $T=R_2C, K=R_2/R_1$ 。

比例积分环节的原理框图如图 1-6 所示。

设 $U_i(s)$ 为一单位阶跃信号, 图 1-7 示出了比例系数 K 为 1、积分系数为 T 时的 PI 输出响应曲线。

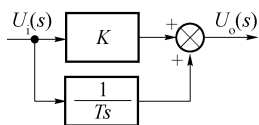


图 1-6 比例积分环节的原理框图

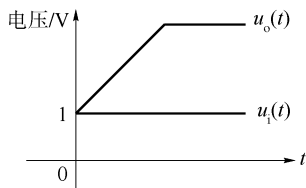


图 1-7 比例积分环节的响应曲线

4. 比例微分(PD)环节

比例微分环节的传递函数为

$$G(s) = K(1 + Ts) = \frac{R_2}{R_1}(1 + R_1Cs) \quad (1-2)$$

其中: $K=R_2/R_1, T=R_1C$ 。

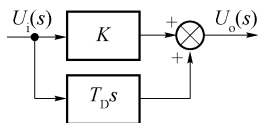


图 1-8 比例微分环节的原理框图

比例微分环节的原理框图如图 1-8 所示。

设 $U_i(s)$ 为一单位阶跃信号, 图 1-9 示出了比例系数 K 为 2、微分系数为 T 时 PD 的输出响应曲线。

5. 比例积分微分(PID)环节

比例积分微分环节的传递函数为

$$\begin{aligned}
 G(s) &= K_P + \frac{1}{T_I s} + T_D s \\
 &= \frac{(R_2 C_2 s + 1)(R_1 C_1 s + 1)}{R_1 C_2 s} \\
 &= \frac{R_2 C_2 + R_1 C_1}{R_1 C_2} + \frac{1}{R_1 C_2 s} + R_2 C_1 s
 \end{aligned} \tag{1-3}$$

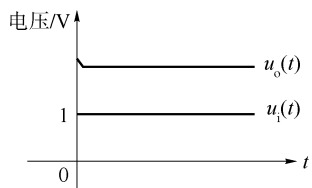


图 1-9 比例微分环节的响应曲线

其中： $K_P = \frac{R_1 C_1 + R_2 C_2}{R_1 C_2}$, $T_I = R_1 C_2$, $T_D = R_2 C_1$ 。

比例积分微分环节的原理框图如图 1-10 所示。

设 $U_i(s)$ 为一单位阶跃信号, 图 1-11 示出了比例系数 K 为 1、微分系数为 T_D 、积分系数为 T_I 时 PID 的输出。

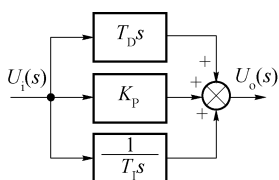


图 1-10 比例积分微分环节原理框图

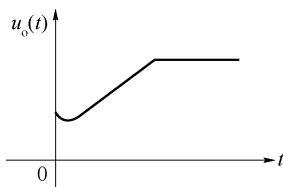


图 1-11 比例积分微分环节的响应曲线

6. 惯性环节

惯性环节的传递函数为

$$G(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{K}{Ts + 1} \tag{1-4}$$

惯性环节的原理框图如图 1-12 所示。

当 $U_i(s)$ 输入端输入一个单位阶跃信号, 且放大系数 K 为 1、时间常数为 T 时响应曲线如图 1-13 所示。

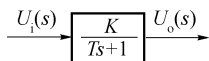


图 1-12 惯性环节的原理框图

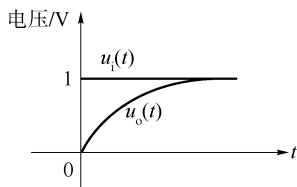


图 1-13 惯性环节的响应曲线

四、实验步骤

1. 比例环节

根据比例环节的框图, 选择实验箱上的通用电路单元设计并组建相应的模拟电路, 如图 1-14 所示。

图 1-14 中后一个单元为反相器, 其中 $R_0 = 200 \text{ k}\Omega$ 。

若比例系数 $K=1$ 时, 电路中的参数取: $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ 。

若比例系数 $K=2$ 时, 电路中的参数取: $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 200 \text{ k}\Omega$ 。

当 u_i 为一单位阶跃信号时,用“THKKL-6”软件观测并记录相应 K 值时的实验曲线,并与理论值进行比较。

另外, R_2 还可使用可变电位器,以实现比例系数为任意的设定值。

注:①实验中注意“锁零”按钮和“阶跃”按键的使用,实验时应先弹出“锁零”按钮,然后按下“阶跃”按键,具体可参考“硬件的组成及使用”相关部分。

②为了更好地观测实验曲线,实验时可适当调节软件上的时间轴刻度,以下实验相同。

2. 积分环节

根据积分环节的框图,选择实验箱上的通用电路单元设计并组建相应的模拟电路,如图 1-15 所示。

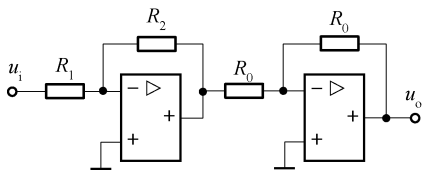


图 1-14 比例环节的模拟电路

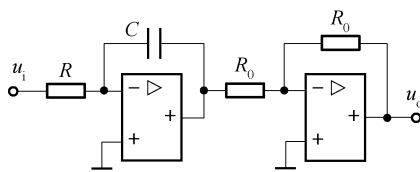


图 1-15 积分环节的模拟电路

图 1-15 中后一个单元为反相器,其中 $R_0 = 200 \text{ k}\Omega$ 。

若积分时间常数 $T = 1 \text{ s}$ 时,电路中的参数取: $R = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ }\mu\text{F}$ ($T = RC = 100 \text{ k}\Omega \times 10 \text{ }\mu\text{F} = 1 \text{ s}$)。

若积分时间常数 $T = 0.1 \text{ s}$ 时,电路中的参数取: $R = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ ($T = RC = 100 \text{ k}\Omega \times 1 \text{ }\mu\text{F} = 0.1 \text{ s}$)。

当 u_i 为单位阶跃信号时,用“THKKL-6”软件观测并记录相应 T 值时的输出响应曲线,并与理论值进行比较。

注:由于实验电路中有积分环节,实验前一定要用“锁零单元”对积分电容进行锁零。

3. 比例积分环节

根据比例积分环节的框图,选择实验箱上的通用电路单元设计并组建相应的模拟电路,如图 1-16 所示。

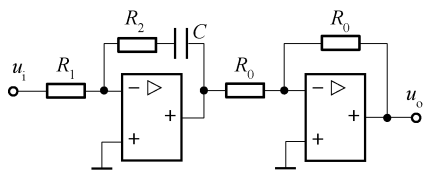


图 1-16 比例积分环节的模拟电路

图 1-16 中后一个单元为反相器,其中 $R_0 = 200 \text{ k}\Omega$ 。

若取比例系数 $K = 1$ 、积分时间常数 $T = 1 \text{ s}$ 时,电路中的参数取: $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ }\mu\text{F}$ ($K = R_2/R_1 = 1$, $T = R_2C = 100 \text{ k}\Omega \times 10 \text{ }\mu\text{F} = 1 \text{ s}$)。

若取比例系数 $K = 1$ 、积分时间常数 $T = 0.1 \text{ s}$ 时,电路中的参数取: $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$ ($K = R_2/R_1 = 1$, $T = R_2C = 100 \text{ k}\Omega \times 1 \text{ }\mu\text{F} = 0.1 \text{ s}$)。

注:通过改变 R_2 、 R_1 、 C 的值可改变比例积分环节的放大系数 K 和积分时间常数 T 。

当 u_i 为单位阶跃信号时,用“THKKL-6”软件观测并记录不同 K 及 T 值时的实验曲线,并与理论值进行比较。

4. 比例微分环节

根据比例微分环节的框图,选择实验箱上的通用电路单元设计并组建其模拟电路,如图 1-17 所示。

图 1-17 中后一个单元为反相器,其中 $R_0 = 200 \text{ k}\Omega$ 。

若比例系数 $K = 1$ 、微分时间常数 $T = 0.1 \text{ s}$ 时,电路中的参数取: $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 1 \mu\text{F}$ ($K = R_2/R_1 = 1$, $T = R_1 C = 100 \text{ k}\Omega \times 1 \mu\text{F} = 0.1 \text{ s}$)。

若比例系数 $K = 1$ 、微分时间常数 $T = 1 \text{ s}$ 时,电路中的参数取: $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \mu\text{F}$ ($K = R_2/R_1 = 1$, $T = R_1 C = 100 \text{ k}\Omega \times 10 \mu\text{F} = 1 \text{ s}$)。

当 u_i 为一单位阶跃信号时,用“THKKL-6”软件观测并记录不同 K 及 T 值时的实验曲线,并与理论值进行比较。

5. 比例积分微分环节

根据比例积分微分环节的框图,选择实验箱上的通用电路单元设计并组建其相应的模拟电路,如图 1-18 所示。

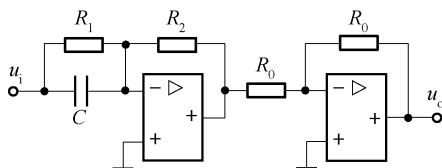


图 1-17 比例微分环节的模拟电路

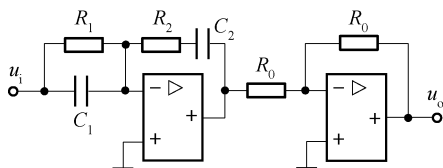


图 1-18 比例积分微分环节的模拟电路

图 1-18 中后一个单元为反相器,其中 $R_0 = 200 \text{ k}\Omega$ 。

若比例系数 $K = 2$ 、积分时间常数 $T_I = 0.1 \text{ s}$ 、微分时间常数 $T_D = 0.1 \text{ s}$ 时,电路中的参数取: $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 1 \mu\text{F}$, $C_2 = 1 \mu\text{F}$ ($K = (R_1 C_1 + R_2 C_2)/(R_1 C_2) = 2$, $T_I = R_1 C_2 = 100 \text{ k}\Omega \times 1 \mu\text{F} = 0.1 \text{ s}$, $T_D = R_2 C_1 = 100 \text{ k}\Omega \times 1 \mu\text{F} = 0.1 \text{ s}$)。

若比例系数 $K = 1.1$ 、积分时间常数 $T_I = 1 \text{ s}$ 、微分时间常数 $T_D = 0.1 \text{ s}$ 时,电路中的参数取: $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 1 \mu\text{F}$, $C_2 = 10 \mu\text{F}$ ($K = (R_1 C_1 + R_2 C_2)/(R_1 C_2) = 1.1$, $T_I = R_1 C_2 = 100 \text{ k}\Omega \times 10 \mu\text{F} = 1 \text{ s}$, $T_D = R_2 C_1 = 100 \text{ k}\Omega \times 1 \mu\text{F} = 0.1 \text{ s}$)。

当 u_i 为一单位阶跃信号时,用“THKKL-6”软件观测并记录不同 K 、 T_I 、 T_D 值时的实验曲线,并与理论值进行比较。

6. 惯性环节

根据惯性环节的框图,选择实验箱上的通用电路单元设计并组建其相应的模拟电路,如图 1-19 所示。

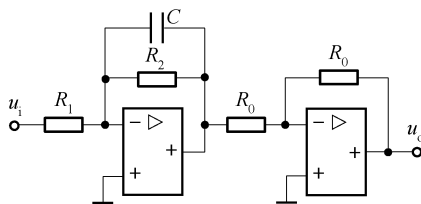


图 1-19 惯性环节的模拟电路

图 1-19 中后一个单元为反相器,其中 $R_0 = 200 \text{ k}\Omega$ 。

若比例系数 $K=1$ 、时间常数 $T=1 \text{ s}$ 时,电路中的参数取: $R_1 = 100 \text{ k}\Omega, R_2 = 100 \text{ k}\Omega, C = 10 \mu\text{F}$ ($K=R_2/R_1=1, T=R_2C=100 \text{ k}\Omega \times 10 \mu\text{F}=1 \text{ s}$)。

若比例系数 $K=1$ 、时间常数 $T=0.1 \text{ s}$ 时,电路中的参数取: $R_1 = 100 \text{ k}\Omega, R_2 = 100 \text{ k}\Omega, C = 1 \mu\text{F}$ ($K=R_2/R_1=1, T=R_2C=100 \text{ k}\Omega \times 1 \mu\text{F}=0.1 \text{ s}$)。

通过改变 R_2, R_1, C 的值可改变惯性环节的放大系数 K 和时间常数 T 。

当 u_i 为一单位阶跃信号时,用“THKKL-6”软件观测并记录不同 K 及 T 值时的实验曲线,并与理论值进行比较。

五、实验报告

- (1) 画出各典型环节的实验电路图,并注明参数。
- (2) 写出各典型环节的传递函数。
- (3) 根据测得的典型环节单位阶跃响应曲线,分析参数变化对动态特性的影响。

实验二

二阶系统的瞬态响应实验

一、实验目的

- (1)通过实验了解参数 ζ (阻尼比)、 ω_n (阻尼自然频率)的变化对二阶系统动态性能的影响。
- (2)掌握二阶系统动态性能的测试方法。

二、实验内容

- (1)观测二阶系统的阻尼比分别在 $0 < \zeta < 1$ 、 $\zeta = 1$ 和 $\zeta > 1$ 三种情况下的单位阶跃响应曲线。
- (2)调节二阶系统的开环增益 K ,使系统的阻尼比 $\zeta = \frac{1}{\sqrt{2}}$,测量此时系统的超调量 δ_p 、调节时间 t_s ($\Delta = \pm 0.05$)。
- (3)当 ζ 一定时,观测系统在不同 ω_n 时的响应曲线。

三、实验原理

1. 二阶系统的瞬态响应

用二阶常微分方程描述的系统,称为二阶系统。其标准形式的闭环传递函数为

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1-5)$$

闭环特征方程为

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

其解为

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

针对不同的 ζ 值,特征根会出现下列 3 种情况。

- (1) $0 < \zeta < 1$ (欠阻尼), $s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$ 。

此时,系统的单位阶跃响应呈振荡衰减形式,其曲线如图 1-20(a)所示。它的数学表达式为

$$C(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_d t + \beta) \quad (1-6)$$

其中： $\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$, $\beta = \arctan \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}$ 。

(2) $\zeta=1$ (临界阻尼), $s_{1,2} = -\omega_n$ 。

此时,系统的单位阶跃响应是一条单调上升的指数曲线,如图 1-20(b)所示。

(3) $\zeta>1$ (过阻尼), $s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm \omega_n \sqrt{\zeta^2-1}$ 。

此时系统有两个相异实根,它的单位阶跃响应曲线如图 1-20(c)所示。

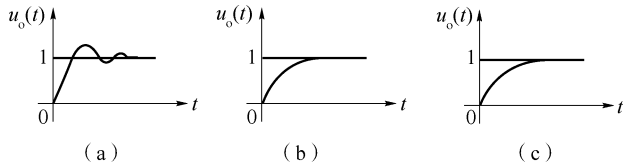


图 1-20 二阶系统的动态响应曲线

(a)欠阻尼($0 < \zeta < 1$);(b)临界阻尼($\zeta = 1$);(c)过阻尼($\zeta > 1$)

虽然当 $\zeta=1$ 或 $\zeta>1$ 时,系统的阶跃响应无超调产生,但这种响应的动态过程太缓慢,故控制工程上常采用欠阻尼的二阶系统,一般取 $\zeta=0.6\sim 0.7$,此时系统的动态响应过程不仅快速,而且超调量也小。

2. 二阶系统的典型结构

典型的二阶系统原理框图和模拟电路如图 1-21、图 1-22 所示。

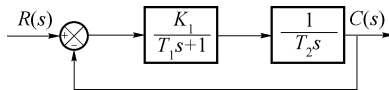


图 1-21 二阶系统原理框图

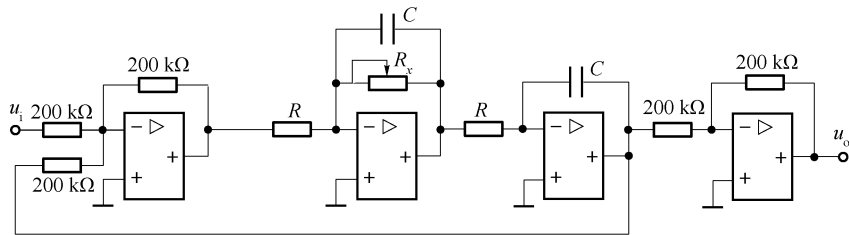


图 1-22 二阶系统的模拟电路

电路参考单元为通用单元 1、通用单元 2、通用单元 3、反相器单元、电位器组。

由图 1-21 可得其开环传递函数为

$$G(s) = \frac{K}{s(T_1 s + 1)} \quad (1-7)$$

其中： $K = \frac{K_1}{T_2}$, $K_1 = \frac{R_x}{R}$ ($T_1 = R_x C$, $T_2 = RC$)。

其闭环传递函数为

$$W(s) = \frac{\frac{K}{T_1}}{s^2 + \frac{1}{T_1}s + \frac{K}{T_1}} \quad (1-8)$$

与式(1-7)相比较,可得

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_1}{T_1 T_2}} = \frac{1}{RC}, \quad \zeta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_2}{K_1 T_1}} = \frac{R}{2R_x}$$

四、实验步骤

根据图 1-22,选择实验箱上的通用电路单元设计并组建模拟电路。

(1)当 ω_n 值一定时,图 1-22 中取 $C=1 \mu\text{F}$, $R=100 \text{ k}\Omega$ (此时 $\omega_n=10$), R_x 阻值可调范围为 $0\sim 470 \text{ k}\Omega$ 。系统输入一单位阶跃信号,在下列几种情况下,用“THKKL-6”软件观测并记录不同 ζ 值时的实验曲线。

当可调电位器 $R_x=250 \text{ k}\Omega$ 时, $\zeta=0.2$, 系统处于欠阻尼状态,其超调量为 53% 左右。

可调电位器 $R_x=70.7 \text{ k}\Omega$ 时, $\zeta=0.707$, 系统处于欠阻尼状态,其超调量为 4.3% 左右。

若可调电位器 $R_x=50 \text{ k}\Omega$ 时, $\zeta=1$, 系统处于临界阻尼状态。

若可调电位器 $R_x=25 \text{ k}\Omega$ 时, $\zeta=2$, 系统处于过阻尼状态。

(2) ζ 值一定时,图 1-22 中取 $R=100 \text{ k}\Omega$, $R_x=250 \text{ k}\Omega$ (此时 $\zeta=0.2$)。系统输入一单位阶跃信号,在下列几种情况下,用“THKKL-6”软件观测并记录不同 ω_n 值时的实验曲线。

若取 $C=10 \mu\text{F}$ 时, $\omega_n=1$ 。

若取 $C=0.1 \mu\text{F}$ (可从无源元件单元中取)时, $\omega_n=100$ 。

注:由于实验电路中有积分环节,实验前一定要用“锁零单元”对积分电容进行锁零。

五、实验报告

(1)画出二阶系统线性定常系统的实验电路,并写出闭环传递函数,表明电路中的各参数。

(2)根据测得系统的单位阶跃响应曲线,分析开环增益 K 和时间常数 T 对系统动态性能的影响。