

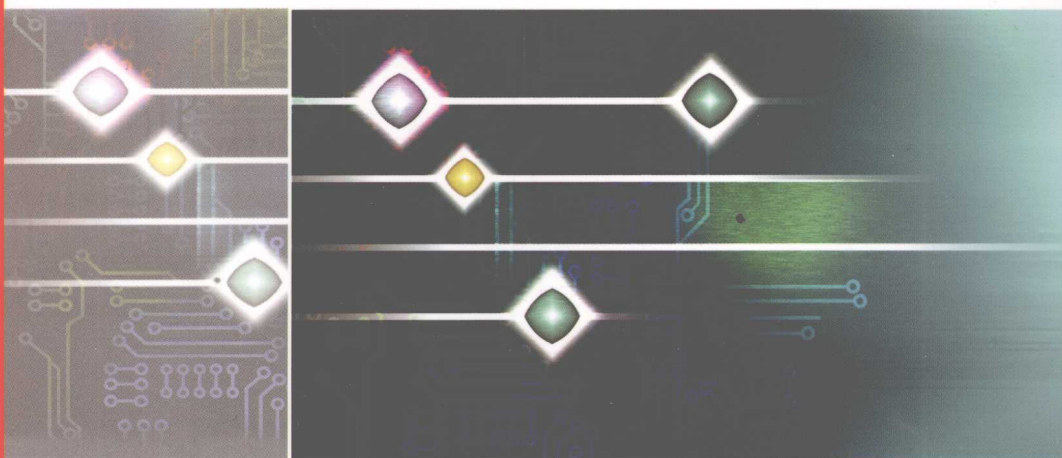


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Experimental Course on Comprehensive Design of Electronic Circuit

电子线路 综合设计实验教程

● 主编 刘鸣



 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子线路综合设计 实验教程

主编 刘 鸣
参编 陈兴梧 李 健
主审 陈本智

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书围绕“电子线路设计”课程,介绍了典型电路的原理及实验,并根据综合设计课题,引入了一些实用性、综合性强的实例。本书在实验内容上力求新颖、全面,从模拟电路技术、数字电路技术、传感技术及电路到自动控制及电路,无不体现出电子线路整体设计的概念。另外,书中的基于计算机 VHDL 设计和虚拟仪器设计实验,引入了现代电子线路设计方法,使电子线路的设计和应用更加广泛。本书注重理论与实际应用相结合,适用于不同的教学模式,既可以用于基础性实验,也可以用于课程设计、实训以及学生的课外自主实验。

本书可作为高等理工科院校电子类、信息类、自动控制类和机电工程类等专业的实验教材,也可以供有关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路综合设计实验教程/刘鸣主编. —天津:天津大学出版社,2008.2

ISBN 978-7-5618-2538-9

I. 电... II. 刘... III. 电子电路 - 电路设计 - 实验 - 高等学校 - 教材 IV. TN702.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 141520 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
短信网址 发送“天大”至 916088
印 刷 廊坊市长虹印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 19.75
字 数 493 千
版 次 2008 年 2 月第 1 版
印 次 2008 年 2 月第 1 次
印 数 1 - 3 000
定 价 32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

本书围绕电子线路设计课程列出内容丰富的实验,除基本电路的原理及实验外,还为综合设计课题引入了一些实用性、综合设计性强的实例。为了拓展学生电子线路设计的空间,使电子线路设计更贴近实际应用,全书内容涵盖了模拟电子技术、数字电子技术、传感技术与电路、自控系统与电路、CPLD/FPGA 设计和虚拟仪器设计。

本书的特色有五个方面。一是保证基本实验内容。由于各学校在电子线路设计的课程与实验安排上有所不同,本书中有模拟电路、数字电路的典型电路原理和实验,而且内容丰富,以供选择。二是注重综合设计实验。在基本单元电路的基础上,本书以集成电路芯片为主要器件,与实际应用相结合,增加了综合设计及调试实验。三是整体设计突出。与传统的电子线路实验内容不同,本书增加了传感技术及电路和自动控制及电路,从点到面,体现出系统设计的概念,即在掌握各基本电路原理及实验的基础上,通过综合应用,可完成从信号的测量、转换、放大、处理到控制的电子线路设计的全过程。四是引入了现代电子线路设计方法。书中的基于计算机 VHDL 和虚拟仪器设计实验,是依靠计算机硬件接口及函数处理的强大功能,使电子线路设计和应用更加广泛。五是适用于不同的教学模式。本书可以用于基础性实验、课程设计、实训以及学生的课外自主实验,其目的在于拓宽学生的知识面,培养学生的电路设计能力、实践能力和创新能力,为后续课程的学习、毕业设计和以后所从事的技术工作奠定基础。

本书内容共分为 6 章。第 1 章是测量误差分析与测控系统概述,包括测量误差分析与数据处理,测控系统的组成和要求;第 2 章是模拟电路实验,包括常用模拟集成电路介绍及典型模拟电路的应用,测量放大电路与隔离电路,信号转换电路,移相电路与相敏检波电路,信号细分、辨向电路,有源滤波电路,信号的调制/解调,遥控电路,函数发生电路,直流稳压电源电路;第 3 章是数字电路实验,包括数字集成逻辑器件特性及设计要求,基本应用电路,脉冲电路,电容测量仪设计与调试,多路电子抢答器设计,交通灯控制电路设计,数字频率计电路设计,数字石英钟电路设计,模数、数模转换电路,电机转速测量电路设计;第 4 章是传感技术及转换电路实验,包括传感器的特性及标定,电阻式传感器及电路,光电式传感器及电路,电感式传感器及电路,电容式传感器及电路,压电式传感器及电路,磁电式传感器及电路,热电式传感器及电路,湿敏、气敏传感器及电路,集成传感器及电路;第 5 章是自动控制系统实验,包括控制系统的电路实验,控制系统与 MATLAB 仿真;第 6 章是计算机辅助电子线路设计实验,包括 CPLD/FPGA 设计实验,虚拟仪器设计实验。

本书的第 1、2、4、5 章由刘鸣编写;第 3 章由陈兴梧编写;第 6 章由李健编写。全书由刘鸣审订。本书承天津大学陈本智教授主审,为此表示衷心的感谢。本书在编写过程中,还得到了天津大学精仪学院曾周末教授、段发阶教授、李醒飞教授和传感技术与测控电学实验室马凤鸣、杨文敏和窦丽民老师的帮助和支持,在此向他们表示诚挚的谢意。

由于编者的水平有限,书中难免有缺点和错误之处,真诚希望广大读者给予指正。

编 者

2008 年 2 月 于天津大学精仪学院

目 录

第 1 章 测量误差分析与测控系统概述	(1)
1.1 测量误差分析与数据处理	(1)
1.2 测控系统的组成和要求	(11)
第 2 章 模拟电路实验	(15)
2.1 运算放大器基本应用电路	(15)
2.2 测量放大电路与隔离电路实验	(23)
2.3 信号转换电路实验	(28)
2.4 移相电路与相敏检波电路实验	(35)
2.5 信号细分、辨向电路实验	(38)
2.6 有源滤波电路实验	(42)
2.7 信号的调制/解调实验	(49)
2.8 遥控电路实验	(55)
2.9 函数发生电路实验	(61)
2.10 直流稳压电源电路实验	(70)
第 3 章 数字电路实验	(77)
3.1 数字集成逻辑器件特性及设计要求	(77)
3.2 基本应用电路及实验	(81)
3.3 脉冲电路实验	(97)
3.4 电容测量仪设计与调试	(105)
3.5 多路电子抢答器设计	(108)
3.6 交通灯控制电路设计	(114)
3.7 数字频率计电路设计	(118)
3.8 数字石英钟电路设计	(121)
3.9 模数、数模转换电路实验	(126)
3.10 电机转速测量电路设计	(130)
第 4 章 传感技术及转换电路实验	(135)
4.1 传感器的特性及标定	(135)
4.2 电阻式传感器及实验电路	(138)
4.3 光电式传感器及实验电路	(145)
4.4 电感式传感器及实验电路	(156)
4.5 电容式传感器及实验电路	(162)
4.6 压电式传感器及实验电路	(166)
4.7 磁电式传感器及实验电路	(172)
4.8 热电式传感器及实验电路	(176)
4.9 湿敏、气敏传感器及实验电路	(183)

4.10 集成传感器及实验电路	(187)
第5章 自动控制系统实验	(199)
5.1 控制系统电路实验	(199)
5.2 控制系统的 MATLAB 仿真	(218)
第6章 计算机辅助电子线路设计实验	(257)
6.1 CPLD/FPGA 设计实验	(257)
6.2 虚拟仪器设计实验	(284)
(21)	第2章 集成运算放大器
(21)	1.1 集成运算放大器的基本特性
(23)	1.2 集成运算放大器的主要参数
(28)	1.3 集成运算放大器的应用
(32)	1.4 集成运算放大器的测试
(38)	2.1 集成运算放大器的应用
(42)	2.2 集成运算放大器的应用
(48)	2.3 集成运算放大器的应用
(52)	2.4 集成运算放大器的应用
(61)	2.5 集成运算放大器的应用
(70)	2.6 集成运算放大器的应用
(77)	第3章 集成运算放大器
(77)	3.1 集成运算放大器的应用
(81)	3.2 集成运算放大器的应用
(90)	3.3 集成运算放大器的应用
(102)	3.4 集成运算放大器的应用
(108)	3.5 集成运算放大器的应用
(114)	3.6 集成运算放大器的应用
(118)	3.7 集成运算放大器的应用
(121)	3.8 集成运算放大器的应用
(129)	3.9 集成运算放大器的应用
(130)	3.10 集成运算放大器的应用
(132)	第4章 集成运算放大器
(132)	4.1 集成运算放大器的应用
(138)	4.2 集成运算放大器的应用
(142)	4.3 集成运算放大器的应用
(150)	4.4 集成运算放大器的应用
(158)	4.5 集成运算放大器的应用
(166)	4.6 集成运算放大器的应用
(172)	4.7 集成运算放大器的应用
(176)	4.8 集成运算放大器的应用
(183)	4.9 集成运算放大器的应用

第1章 测量误差分析与测控系统概述

1.1 测量误差分析与数据处理

由于实验方法和实验设备的不完善以及受周围环境的影响和人的观察力的限制,实验观测值和真值之间总是存在一定的差异。人们常用绝对误差、相对误差或有效数字说明一个近似值的准确程度。为了评定实验数据的精确性或误差,认清误差的来源及其影响,需要对实验的误差进行分析和讨论。由此可以判定哪些因素是影响实验精确度的主要方面,从而在以后的实验中,进一步改进实验方案,缩小实验观测值和真值之间的差值,提高实验的精确性。

1.1.1 误差的基本概念

测量是人类认识事物本质所不可缺少的手段。通过测量和实验人们能对事物获得定量的概念和发现事物的规律。科学上很多新的发现和突破都是以实验测量为基础的。测量就是用实验的方法将被测物理量与所选用作为标准的同类量进行比较,从而确定被测量的大小。

1. 真值与平均值

真值是待测物理量客观存在的确定值,也称理论值或定义值。通常真值是无法测得的。若在实验中,测量的次数无限多,根据误差的分布定律,正负误差的出现概率相等,再经过细致地消除系统误差,并将测量值加以平均,便可以获得非常接近于真值的数值。但是实际上实验测量的次数总是有限的,用有限测量值求得的平均值只能是近似真值。常用的平均值有下列几种。

(1) 算术平均值

算术平均值是最常见的一种平均值。设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为各次测量值, n 代表测量次数,则算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (1-1)$$

(2) 几何平均值

几何平均值是将一组 n 个测量值连乘并开 n 次方所求得的平均值,即

$$\bar{x}_g = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n} \quad (1-2)$$

(3) 均方根平均值

均方根平均值按下式计算:

$$\bar{x}_q = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \cdots + x_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}} \quad (1-3)$$

以上介绍各平均值的目的是要从一组测定值中找出最接近真值的那个值。在实验和科学研究中,数据的分布较多属于正态分布,所以通常采用算术平均值。

2. 误差的表示方法

利用任何量具或仪器进行测量时,总存在误差,测量结果总不可能准确地等于被测量的真值,而只是它的近似值。测量的质量高低以测量精确度作为指标,并根据测量误差的大小估计测量的精确度。测量结果的误差愈小,则认为测量愈精确。

(1) 绝对误差

测量值 X 和真值 A_0 之差为绝对误差,通常称为误差,记为

$$D = X - A_0 \quad (1-4)$$

由于真值 A_0 一般无法求得,因而上式只有理论意义。常用高一级标准仪器的示值作为实际值 A 以代替真值 A_0 。由于高一级标准仪器存在较小的误差,因而 A 不等于 A_0 ,但总比 X 更接近于 A_0 。 X 与 A 之差称为仪器的示值绝对误差,记为

$$d = X - A \quad (1-5)$$

与 d 相反的数,称为修正值,记为

$$C = -d = A - X \quad (1-6)$$

通过检定,可以由高一级标准仪器给出被检仪器的修正值 C 。利用修正值便可以求出该仪器的实际值 A ,即

$$A = X + C \quad (1-7)$$

(2) 相对误差

衡量某一测量值的准确程度,一般用相对误差表示。示值绝对误差 d 与被测量的实际值 A 的百分比值称为实际相对误差,记为

$$\delta_A = \frac{d}{A} \times 100\% \quad (1-8)$$

以仪器的示值 X 代替实际值 A 的相对误差称为示值相对误差,记为

$$\delta_X = \frac{d}{X} \times 100\% \quad (1-9)$$

一般来说,除了某些理论分析外,用示值相对误差较为适宜。

(3) 满量程相对误差

为了计算和划分仪表精确度等级,提出满量程相对误差概念。其定义为测量的绝对误差与量程范围的百分比,即

$$\delta_{x_m} = \frac{\text{示值绝对误差}}{\text{量程范围}} \times 100\% = \frac{d}{X_d} \times 100\% \quad (1-10)$$

其中: d 为测量的绝对误差; X_d 为测量仪器示值范围的上限值与下限值之差。

1.1.2 误差的分类

根据误差的性质和产生的原因,一般分为以下三类。

1. 系统误差

系统误差是指在测量和实验中由未发觉或未确认的因素所引起的误差,且这些因素的影响结果永远朝一个方向偏移,其大小及符号在同一组实验测定中完全相同,实验条件一经确定,系统误差就获得一个客观上的恒定值。当改变实验条件时,就能发现系统误差的变化规律。

系统误差产生的原因有:测量仪器不良,如刻度不准、仪表零点未校正或标准仪表本身存在偏差等;周围环境的改变,如温度、压力、湿度等发生变化;实验人员的习惯和偏向,如读数偏高或偏低等。针对仪器的缺点、外界条件变化所产生影响的大小、个人的偏向,应分别加以校正,经过校正,系统误差是可以消除的。

2. 偶然误差

在已消除系统误差的一切量值的观测中,所测数据仍在末一位或末两位数字上有差别,而且它们的绝对值和符号的变化,时大时小,时正时负,没有确定的规律,这类误差称为偶然误差或随机误差。偶然误差产生的原因不明,因而无法控制和补偿。但是,倘若对某一量值作足够多次的等精度测量后,就会发现偶然误差完全服从统计规律,误差的大小或正负的出现完全由概率决定。因此,随着测量次数的增加,随机误差的算术平均值趋近于零,所以多次测量结果的算数平均值将更接近于真值。

3. 过失误差

过失误差是一种显然与事实不符的误差,它往往是由于实验人员粗心大意、过度疲劳和操作不正确等原因引起的。此类误差无规则可寻,只要加强责任感、细心操作,过失误差是可以避免的。

1.1.3 精密度、准确度和精确度

1. 基本概念

反映测量结果与真实值接近程度的量,称为精度(亦称精确度)。它与误差大小相对应,测量的精度越高,测量误差就越小。精度应包括精密度和准确度两层含义。

(1) 精密度

测量中所测得数值的重现性程度,称为精密度。它反映偶然误差的影响程度,精密度高就表明偶然误差小。

(2) 准确度

测量值与真值的偏移程度,称为准确度。它反映系统误差的影响程度,准确度高就表明系统误差小。

(3) 精确度(精度)

精确度反映测量中所有系统误差和偶然误差综合的影响程度。

在一组测量结果中,精密度高的量值准确度不一定高,准确度高量值精密度也不一定高,但如果量值精确度高,则精密度和准确度都高。

2. 测量仪表精确度等级

测量仪表的精确度等级是用最大满量程误差(又称允许误差)标明的。它等于仪表示值中的最大绝对误差与仪表的量程范围之比的百分数,即

$$\delta_{x_m} = \frac{\text{最大示值绝对误差}}{\text{量程范围}} \times 100\% = \frac{d_{\max}}{X_n} \times 100\% \quad (1-11)$$

测量仪表的精度等级是国家统一规定的,把允许误差中的百分号去掉,剩下的数字就称为仪表的精度等级。仪表的精度等级常在仪表的面板上以圆圈内的数字标明。例如某电工仪表的允许误差为 1.5%,则这个电工仪表的精度等级就是 1.5,通常简称 1.5 级仪表。

例 1.1 用量限为 5 A、精度为 0.5 级的电流表分别测量两个电流 I_1 和 I_2 ,得 $I_1 = 5 \text{ A}$, $I_2 = 2.5 \text{ A}$,试求测量 I_1 和 I_2 的相对误差为多少?

解:测量 I_1 和 I_2 的相对误差分别为

$$\delta_{x_1} = a\% \times \frac{I_n}{I_1} = 0.5\% \times \frac{5}{5} = 0.5\%$$

$$\delta_{x_2} = a\% \times \frac{I_n}{I_2} = 0.5\% \times \frac{5}{2.5} = 1.0\%$$

式中 a 表示仪表的精度等级。可见,当仪表的精度等级选定时,所选仪表的测量上限越接近被测量的值,则测量的误差的相对值越小。

例 1.2 欲测量约 90 V 的电压,实验室现有 0.5 级 0~300 V 和 1.0 级 0~100 V 的电压表。问选用哪一种电压表进行测量为好?

解:计算两种电压测量时的相对误差如下。

用 0.5 级 0~300 V 的电压表测量 90 V 的相对误差为

$$\delta_{m0.5} = a_1\% \times \frac{U_d}{U} = 0.5\% \times \frac{300}{90} = 1.7\%$$

用 1.0 级 0~100 V 的电压表测量 90 V 的相对误差为

$$\delta_{m1.0} = a_2\% \times \frac{U_d}{U} = 1.0\% \times \frac{100}{90} = 1.1\%$$

所以,选用 1.0 级 0~100 V 的电压表为好。

上例说明,如果选择得当,用量程范围适当的 1.0 级仪表进行测量,能得到比用量程范围大的 0.5 级仪表更准确的结果。因此,在选用仪表时,应根据被测量值的大小,在满足被测量数值范围的前提下,尽可能选择量程小的仪表,并使测量值大于所选仪表满刻度的三分之二,这样既可以满足测量误差要求,又可以选择精度等级较低的测量仪表,从而降低仪表的成本。

1.1.4 实验数据处理

实验数据处理是将测量到的数据进一步整理,通过作图、数学计算等手段,找出函数关系式,从而分析出实验的结果等。

1. 实验数据整理

测量到的实验数据,都要先经过整理再进行数据处理。实验数据的整理通常有误差位对齐法和有效数字表示法。

(1) 误差位对齐法

测量误差的小数点后有几位,测量数据的小数点后也取几位,这就是误差位对齐法。例如:用 0.5 级的电压表测量电压,当量程是 10 V 时,由式(1-11)得最大误差为 $10 \times 0.5\% = 0.05 \text{ (V)}$,即小数点后取 2 位。

2.1 (2)有效数字表示法

为减小测量误差的积累,通常采用近似舍入规则保留有效数字的位数。其规定为:以保留数字的末位为单位,它后面的数字大于0.5的进1;小于0.5的末位不变;等于0.5的,末位为奇数时进1,末位为偶数时不变。近似舍入规则克服了四舍五入规则的保留数字的末位后面的数为5时,只入不舍的缺点。若测量数据有5.126、5.123、5.115、5.125,要求保留2位有效数字,则整理后的数据为5.13、5.12、5.12、5.12。

2.2 实验数据列表

列表法是记录数据的基本方法,欲使实验结果一目了然,避免混乱和丢失数据,且便于查对,采用列表法是一种好方法。将数据中的自变量、因变量的各个数值一一对应排列出来,可以简单明确地表示出有关物理量之间的关系,有助于检查测量结果是否合理,从而及时发现问题,也有助于找出有关量之间的联系和建立经验公式。设计记录表格及记录数据一般有以下要求:

①利于记录、运算和检查,便于一目了然地看出有关量之间的关系;

②表中各栏要用符号标明,数据代表的物理量和单位要交代清楚;

③表格记录的测量值应正确反映所用仪器的精度;

④计算过程中的一些中间结果和最后结果也可列于表格中。

例如:测量电阻的伏安特性,就可以用列表方法表示,可由小到大依次将测量的电流值和电压值列入表1-1中。

表1-1 测量的电阻伏安特性数据

电压(V)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
电流(mA)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.1	3.6	4.1	4.6

2.3 实验数据作图

作图是在坐标纸上用图形描述各物理量之间的关系,从而将实验数据用几何图形表示出来。作图方法的优点是直观、形象,便于比较研究实验结果、求某些物理量、建立关系式等。作图要注意以下几点。

①作图要用坐标纸,根据函数关系选用直角坐标纸、单对数坐标纸、双对数坐标纸、极坐标纸等。随着计算机的应用,作图也可以使用专门的软件绘制、打印。

②坐标纸的大小及坐标轴的比例,应当根据所测得数据的有效数字和结果的需要来确定,要适当选取X轴和Y轴的比例和坐标分度值,使图线充分占有图纸空间,不要缩在一边或一角。除特殊需要外,分度值起点一般不必从零开始,X轴与Y轴可以采用不同的比例。

③标明坐标轴,一般是自变量为横轴,因变量为纵轴,并用箭头表示方向,坐标轴上标明分度值(注意有效位数),同时注明所示物理量的名称、单位。

④描点是根据测量数据,用符号“·”使数据点准确地落在图上相应的位置,一张图纸上画几条实验曲线时,每条曲线应用不同的标记如“×”、“○”、“△”等,以免混淆。

⑤连线是根据不同函数关系对应的实验数据点,把点连成直线或光滑的曲线,如为校准曲线则要连成折线。当连成直线或光滑曲线时,图线并不一定通过所有的点,而是使数据点均匀地分布在图线的两侧,个别偏离很大的点应当舍去,原始数据点应保留在图中。

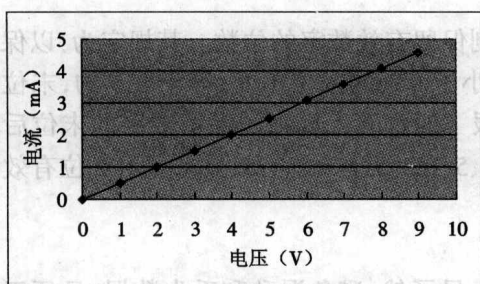


图 1-1 电阻伏安特性曲线

例如:利用表 1-1 中电阻上的电流与电压数据,可以使用 Microsoft Excel 作图表示电压与电流关系,如图 1-1 所示。从图中可清楚看出电流、电压呈线性关系。另外,对于其他函数的周期变化关系、最大值、最小值、转折点等,若用图形表示,均可一目了然。

4. 实验数据图解法

作出实验曲线后,可由曲线求经验公式,这种由曲线求经验公式的方法称为图解法。在实验中经常遇到的曲线是直线、抛物线、指数曲线、对数曲线等,而其中以直线最简单。建立经验公式的一般步骤如下:

①根据解析几何知识判断图线的类型,由图线的类型确定公式的类型,或由相关理论确定公式的类型;

②利用半对数、对数或倒数坐标变换,把原曲线改变为直线;

③确定常数,建立起经验公式。

(1) 直线方程的建立

如果作出的实验曲线是一条直线,则经验公式为直线方程 $y = kx + b$,截距 b 是当 $x = 0$ 时 y 的值。若实验数据图没有 $x = 0$ 的取值,可用虚线延长交 y 轴,以量出截距。求直线的斜率可用截距法。

注意,所取两点不要相距太近,以减小误差。由图解法求直线方程较为粗略,要求较高时可采用最小二乘法。

例 1.3 金属导体的电阻随温度变化的测量值如表 1-2 所示,试求经验公式。

表 1-2 金属导体的电阻随温度变化的测量值

温度(°C)	19.5	25.0	30.5	36.0	40.0	45.5	50.0
电阻(Ω)	73.8	75.9	77.8	79.9	81.4	83.4	85.1

根据所测数据用 Microsoft Excel 作图(图 1-2),并确定电阻 R 与温度 T 为线性关系。将直线延长求得截距 $b = 72.0 \Omega$ 。由直线上两点求出直线的斜率 $k = 9.2/25.0 = 0.37 (\Omega/^\circ\text{C})$,于是得经验公式为

$$R = 0.37T + 72.0.$$

(2) 曲线方程的建立

由曲线图直接建立经验公式一般是困难的,因此可以先用坐标变换的方法把曲线图改为直线图,然后再利用建立直线方程的方法求解。

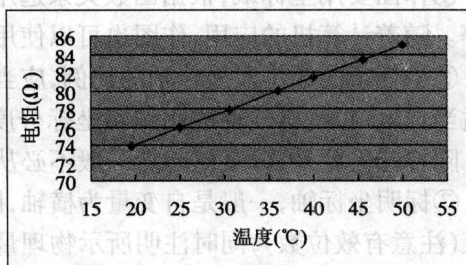


图 1-2 金属导体的电阻随温度变化曲线

5. 实验数据的函数表示

除图解法外,还可以从实验的数据求经验方程,这称为方程的回归问题。求回归方程首先要确定函数的形式,一般要根据理论的推断或实验数据变化的趋势进行推测。如果推测出数据之间的关系是线性关系,则函数的形式可写为

$$y = kx + b \quad (1-12)$$

如果推断出是指数关系,则写为

$$y = C_1 e^{C_2 x} + C_3 \quad (1-13)$$

如果不能清楚判断出函数的形式,则可用多项式表示为

$$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + \cdots + b_n x^n \quad (1-14)$$

式中: b_1 、 b_2 、 b_3 、 $\cdots$ 、 b_n 和 C_1 、 C_2 、 C_3 等均为参数。可以认为,求解方程的回归问题就是用实验数据求方程的待定参数。

(1) 最小二乘法

最小二乘法是一种对测量数据进行数学优化的技术。它通过最小化误差的平方和,找到一组最佳数据与函数匹配,通常用于曲线拟合。例如,已知坐标系中有若干个测量点,求经过这些点的图像的一次函数关系式。当然被求的直线不可能经过每一个测量点,但只要做到这些点到这条直线的距离的平方和最小即可,然后就可以用线性拟合方法求出直线,这就是最小二乘法的思想。

为了方便求解,处理实验数据可以利用功能强大的数据处理软件,如 Matlab 软件。Matlab 软件是美国 Mathworks 公司推出的用于数值计算和图形处理的科学计算系统。它集中了日常数学处理中的各种功能,如高效的数值计算、矩阵运算、信号处理和图形生成等。在 Matlab 环境下,用户可以方便地进行程序设计、数值计算、图形绘制、打印输出、文件管理等各项操作。

在 Matlab 中,可以用函数 polyfit 求解最小二乘曲线拟合问题。为了阐述这个函数的用法,下面用一组实验数据进行拟合,设:

$$x = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0$$

$$y = 0.5, 2.8, 3.4, 5.8, 7.0, 7.3, 7.8, 9.4, 9.4, 10.4, 11.2$$

使用函数 polyfit,必须给其赋予上面的数据和所希望最佳拟合的数据多项式的阶次或度。如果选择 $n = 1$ 作为阶次,则得到最简单的线性近似,通常称为线性回归。如果选择 $n = 2$ 作为阶次,则得到一个 2 次多项式。选择一个 2 次多项式,设计程序如下:

$$x = [0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0];$$

$$y = [0.5, 2.8, 3.4, 5.8, 7.0, 7.3, 7.8, 9.4, 9.4, 10.4, 11.2];$$

$$n = 2;$$

$$p = \text{polyfit}(x, y, n);$$

$$xi = \text{linspace}(0, 1, 100);$$

$$z = \text{polyval}(p, xi);$$

$$\text{plot}(x, y, 'o', x, y, xi, z, ' ');$$

$$\text{xlabel}('x');$$

$$\text{ylabel}('y = f(x)');$$

$$\text{title}('Second Order Curve Fitting');$$

在 Matlab 界面中的命令提示符后,输入上面的程序,运行结果如下:

$p =$

$-6.4685 \quad 16.4594 \quad 0.8524$

polyfit 函数的输出是一个多项式系数的行向量。因而,该问题解是

$$y = -6.4685x^2 + 16.4594x + 0.8524$$

为了将曲线拟合解与实际数据点进行比较,程序将二者都绘成图形。为了计算在 x_i 数据点的多项式值,调用了 Matlab 的函数 polyval。为了绘图调用了函数 plot,该语句画出了原始数据 x 和 y 所对应的数据点,并用“○”标出该数据点,在这些数据点之间,再用直线连接原始数据,并用虚线表示多项式数据 x_i 和 y 所对应的数据点。这些步骤的结果如图 1-3 所示。

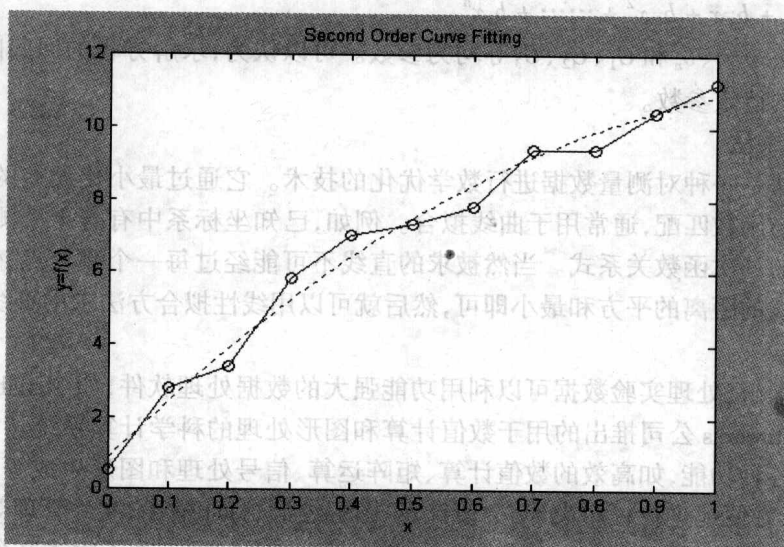


图 1-3 二次曲线拟合

(2) 插值法

正如前文对曲线拟合所描述的那样,插值法是对数据点之间的函数进行估值的方法。当人们不能测量出一些数据所需中间点的函数值时,插值是一个很好的解决方法。当然,当数据点的个数增加和它们之间的距离减小时,线性插值就更加精确。

如同曲线拟合一样,插值也要作假设。根据所作的假设,可以有多种插值方法,而且,可以在一维以上的空间中插值。Matlab 在一维函数 interp1 和二维函数 interp2 中提供了许多的插值方法。对于一维插值,插值函数为 interp1(),具体使用方法如下:

$$y_i = \text{interp1}(x, y, x_i, 'method')$$

x 、 y 为插值点; y_i 为在被插值点 x_i 处的插值结果; 'method' 表示采用的插值方法。Matlab 提供的插值方法有 nearest(最邻近插值)、linear(线性插值)、spline(三次样条插值)、cubic(立方插值)。插值方法缺省时,表示线性插值。注意:所有的插值方法都要求 x 是单调的,并且 x_i 不能够超过 x 的范围。

例如:在一天 24 h 内,从零点开始每间隔 2 h 测得室外温度数据分别为 12、9、9、10、18、24、28、27、25、20、18、15、13(℃),要求推测中午 1 点钟时的室外温度。用 Matlab 软件进行插值计算,设计程序如下:

```

x=0:2:24;
y=[6,7,9,15,18,26,28,27,25,20,18,15,13];
plot(x,y,'o');
title(' Temperature ');
xlabel(' 时间(H)');
ylabel(' 温度(℃)');

```

图 1-4 是 Matlab 软件画出的室外温度曲线。为了计算在任意给定时间的温度,调用函数 `interp1()`,并输入具体的时间参数,同时注意数据要在给定的范围内,输出的数据是插值计算的结果。相应的 Matlab 程序如下:

```

x1=13;
y1=interp1(x,y,x1,'spline');

```

程序运行结果如下:

```
y1=
```

```
27.5728
```

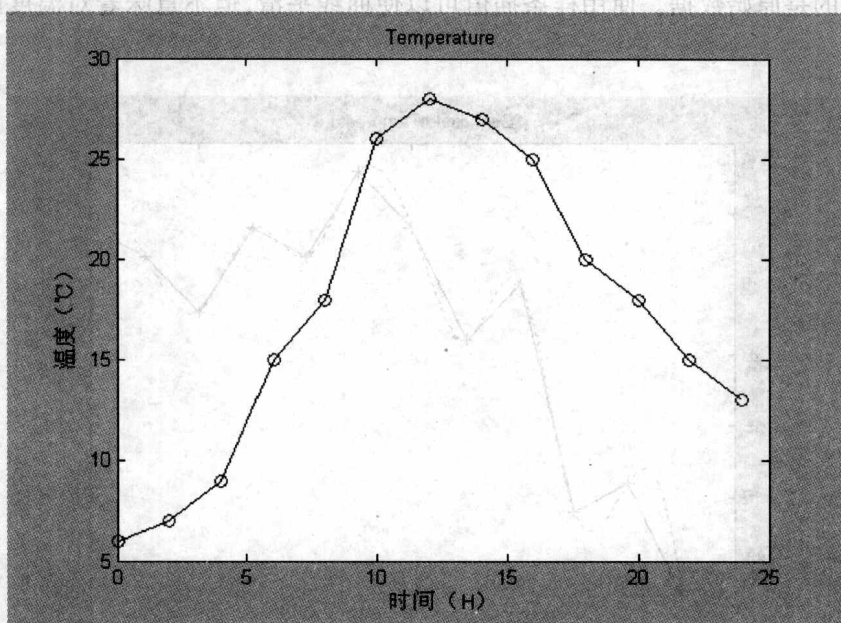


图 1-4 测量的室外温度曲线

在应用函数 `interp1()`时,对 `x1` 变量,也可以输入一个数组,它输出对应参数的插值,具体格式如下:

```
y1=interp1(x,y,[16.5,18.5],'spline')
```

程序运行结果如下:

```
y1=
```

```
23.8262 19.2555
```

`interp1()`函数的缺省用法是由 `y0=interp1(x, y, x0)`定义为线性插值。若不采用直线连接

数据点,也可采用某些更光滑的曲线来拟合数据点。最常用的方法是用一个 3 次多项式对相继数据点之间的各段建模,每个 3 次多项式的前两个导数与该数据点相一致。这种类型的插值被称为 3 次样条插值或简称为样条插值。

样条插值得到的结果与线性插值的结果不同。因为插值是一个估计或猜测的过程。应用不同的估计规则会导致不同的结果,最常用的样条插值是对曲线平滑。例如:

```
hours = 1:12;
```

```
temps = [5 8 9 15 25 29 31 30 22 25 27 24];
```

```
h = 1:0.1:12;
```

```
t = interp1(hours, temps, h, 'spline');
```

```
plot(hours, temps, '-+', hours, temps, 'spline', h, t);
```

```
title('Springfield Temperature');
```

```
xlabel('Hour');
```

```
ylabel('Degrees Celsius');
```

以上程序的运行结果如图 1-5 所示。在图 1-5 中,实线是线性插值,虚线是平滑的样条插值,标有“+”的是原始数据。使用样条插值可以使曲线平滑,但不意味着对温度的估计更精确。

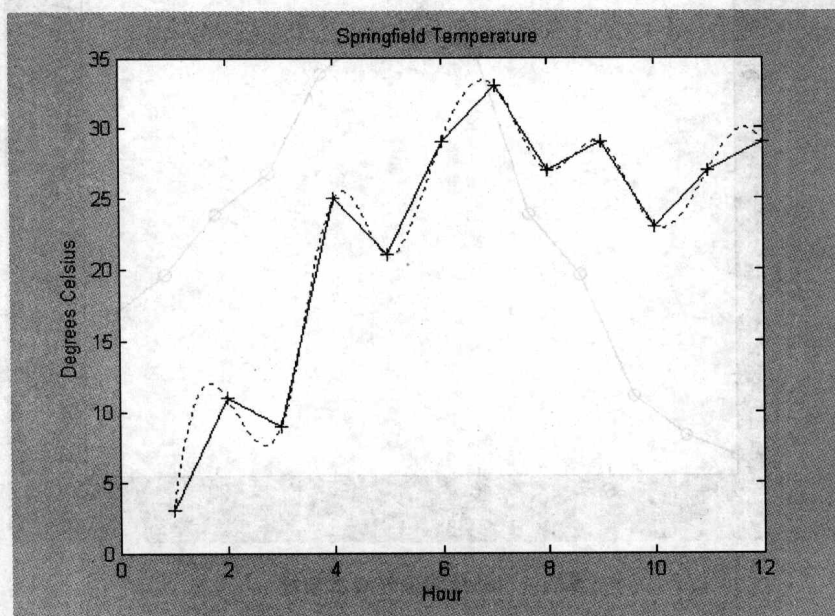


图 1-5 线性插值与样条插值比较

实验与思考

1. 简述电子测量的特点,并说明电子测量误差会来自哪方面。
2. 测量误差按性质的不同可以分为哪几类?
3. 有一个量程为 100 V 的 1.0 级电压表,用该表测量 10 V 和 80 V 电压时,分别求出可能

产生的最大相对误差是多少?

4. 为什么要先对实验数据进行整理,然后再进行处理?

5. 已知某霍尔传感器的位移—电压标定数据为

X(mm)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
V(mV)	0.26	0.87	1.61	2.30	2.91	3.43	3.84	4.16	4.38

用最小二乘法求该传感器的位移—电压函数表达式(用 Matlab 解题)。

6. 在电子线路实验中,什么时候用到插值算法?

1.2 测控系统的组成和要求

在工业生产、科学研究过程中,对压力、温度、流量、位置等方面的信息处理都要应用到测量和控制技术。在自动控制领域里,测控技术不仅使生产过程实现自动化,而且极大地提高了生产效率和产品质量。除此之外在人类征服自然和发展空间技术等方面,测控技术也起到了极为重要的作用。

1.2.1 测控系统的组成

一个完整的自动控制系统,必须包括以下几个基本单元。

1. 测量单元

测量单元一般由传感器组成,功能是将被控量检测出来,并且按某种规律转换成容易处理的量,如将物体位移转换成电信号、车轴转动转换成脉冲信号等。测量单元的精度直接影响控制系统的精度,因此应尽量采用精度高的测量元件。如果测量信号比较微弱,该单元还要对信号进行放大处理,以符合控制系统的要求。

2. 比较单元

比较单元是将被控制量与参考量进行比较,并且产生偏差信号。对微弱的偏差,有的比较单元同时对信号进行放大处理。在电子线路控制系统中,有电压比较器电路、加法器电路等。

3. 放大单元

在测控系统中,为了使控制信号能够驱动执行机构,应采用放大单元将信号放大,使其有足够的幅度和功率。

4. 执行单元

执行单元接受偏差信号的控制,产生动作去改变被控制量,使被控制量按照控制要求的规律变化。

5. 校正元件

按上述基本单元简单组成的测控系统往往是不能完成既定任务的,系统在控制过程中可能会产生滞后或振荡等。因此,为了使系统正常工作,需要在控制过程中加进能提高系统性能的一些元件。校正元件可以加在比较信号到被控制信号间的前向通道内,称为串联校正;校正元件也可以加在被控制信号到反馈信号间的局部反馈通道内,称为反馈校正。有时为了更有效地提高系统的控制性能,应同时用串联校正和反馈校正。