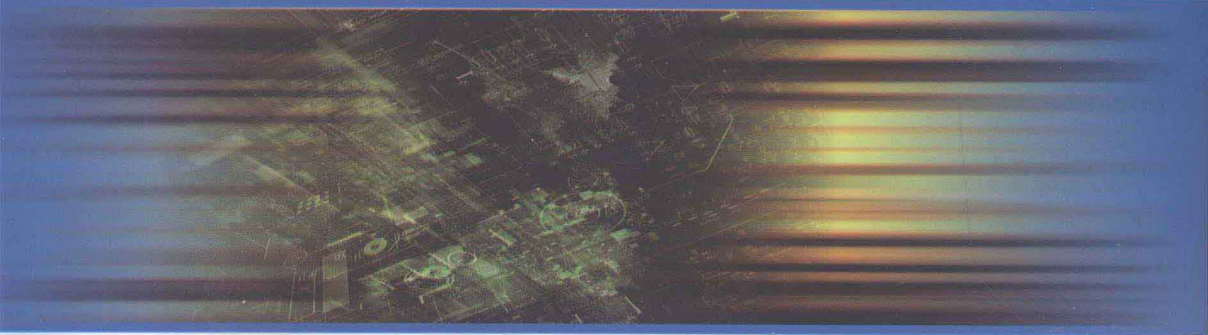
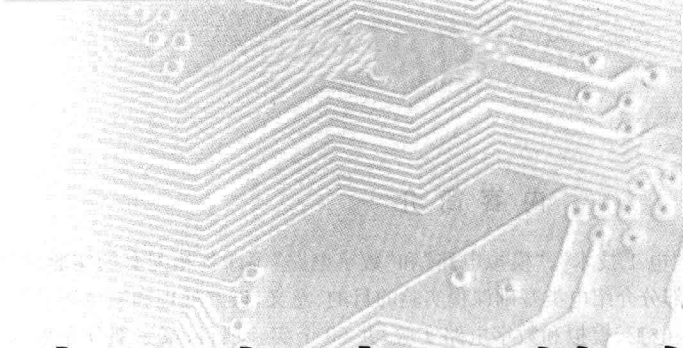


电工与电子技术实验

姚有峰 主编



中国科学技术大学出版社



电工与电子技术实验

姚有峰 主编

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是与“电路分析”、“电工技术”、“模拟电路”和“数字电路”等课程相配套的实验教材。全书共分为三个部分:第一部分介绍电类基础课程实验的目的、意义、误差处理和减少测量误差的方法;第二部分介绍电路、电工、模拟和数字电路实验,共 50 个实验项目;第三部分介绍电工测量仪表、常用电子仪器的基本知识和 Multisim 10 软件的基本操作。实验项目涵盖了电类基础课程中的所有实验,既有基础实验,也有综合性、设计性实验。特别是综合性、设计性实验可以深入锻炼学生的实践动手能力、设计能力和解决问题能力。在“电路电工”、“模电”和“数电”实验项目中增加了仿真实验,学生在软件环境中设计、利用虚拟仪器测量,在现实环境中搭接电路进行验证,提高学生的综合能力和创新能力。

本书可作为高等院校工科电子、通信、自动化、电气类各专业的电类基础课程实验的教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术实验/姚有峰主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2013.8
ISBN 978-7-312-03203-9

I. 电… II. 姚… III. 电子技术—实验—高等学校—教材 ②电子技术—实验—高等学校—教材 IV. ①TM-33 ②TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 176904 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 合肥学苑印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm×960 mm 1/16
印张 23.5
字数 461 千
版次 2013 年 8 月第 1 版
印次 2013 年 8 月第 1 次印刷
定价 40.00 元

前 言

本书是与“电路分析”、“电工技术”、“模拟电路”和“数字电路”等课程相配套的实验教材,本着满足当代大学生的知识结构、实践能力、综合能力、创新能力和工程运用能力等方面的需求而编写,可作为一门独立的实践课程。

本书的编写宗旨是根据“教学基本要求”,结合目前各学校实践教学的实际需要,做到适应性强、便于学生阅读、有利于学生的能力培养和因材施教。本书的编写具有如下特点:第一,介绍了电类实验的误差分析、处理和减少测量误差的方法以及电路中典型参数的测量技术;详细分析了实验中的干扰来源以及干扰的抑制措施。第二,在“电路”、“电工”、“模电”、“数电”实验项目中大大增加了综合性、设计性实验项目的比例,特别是在设计性实验项目中,教会学生如何设计电子电路系统,撰写设计实验报告;同时,在各类项目实验中增加了软件仿真内容,使学生在虚拟环境中设计、利用虚拟仪器测量,在现实环境中搭接电路进行结果的验证,提高学生的综合能力和创新能力。第三,详细介绍了教材中使用的仿真软件Multisim 10,虚拟仪器仪表在电路分析、模拟电路和数字电路中的应用,特别是对电路的多种分析方法,供学生研究电路、分析电路、设计电路时参考。

本书实验内容的安排由浅到深,既有基础性实验,又有综合性、设计性实验;既有单元局部知识点的内容,又有跨单元的综合设计性内容,突出工程性和实践性。在教学中,根据学科专业的特点选择相应的实验项目。

本书由姚有峰策划并担任主编,仿真部分由李泽彬编写,所有项目的实验数据由汪明珠、赵江东、黄济验证,张穗萌教授对书稿进行了认真负责的审查,并提出了许多宝贵的意见。在本书的编写过程中,得到了聂丽教授的支持以及其他同仁的帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免会有许多不足之处,恳请各位老师和读者提出批评和改进意见。

编 者

2013年4月16日

目 次

前言	(i)
----------	-------

第 1 部分 电类实验基础知识

第 1 章 实验的目的、意义和要求	(3)
1.1 实验的目的和意义	(3)
1.2 实验的一般要求	(4)
1.2.1 实验预习	(4)
1.2.2 实验进行	(4)
1.2.3 实验完成	(4)
1.2.4 实验报告	(5)
1.3 误差分析与测量结果的处理	(5)
1.3.1 误差的分类与来源	(5)
1.3.2 误差的表示方法	(6)
1.3.3 测量结果的处理	(8)
第 2 章 基本测量技术	(11)
2.1 直接法和间接法	(11)
2.2 选择测量方法的原则	(11)
2.3 电类实验中典型参数的测量	(12)
2.3.1 电压测量	(12)
2.3.2 阻抗测量	(13)
2.3.3 电压增益及幅频特性测量	(14)
第 3 章 电路测量中干扰的抑制	(16)
3.1 干扰源	(16)
3.2 干扰的抑制方法	(17)

第2部分 电类基础实验

第4章 电路、电工实验	(25)
实验 4.1 电路基本测量	(25)
实验 4.2 叠加原理和基尔霍夫定律的验证	(29)
实验 4.3 戴维南定理与诺顿定理	(33)
实验 4.4 复杂直流电路仿真实验	(39)
实验 4.5 电压源与电流源等效变换及最大功率传输定理	(43)
实验 4.6 受控源特性研究	(49)
实验 4.7 RC 一阶电路的响应及其应用	(57)
实验 4.8 二阶动态电路的响应及其测试	(61)
实验 4.9 交流电路等效参数的测定	(68)
实验 4.10 日光灯电路及功率因数的研究	(74)
实验 4.11 RLC 串联谐振电路	(78)
实验 4.12 交流电路的功率和功率因数测试仿真实验	(83)
实验 4.13 二端口网络测试	(87)
实验 4.14 单相铁芯变压器特性的测试	(91)
实验 4.15 单相电度表的校验	(94)
实验 4.16 三相交流电路的研究及相序的测量	(97)
实验 4.17 三相交流电路仿真实验	(102)
实验 4.18 三相鼠笼式异步电动机	(106)
实验 4.19 三相鼠笼式异步电动机点动和自锁控制	(111)
实验 4.20 三相鼠笼式异步电动机正反转控制	(115)
实验 4.21 三相鼠笼式异步电动机 $Y-\Delta$ 降压启动控制	(119)
实验 4.22 三相鼠笼式异步电动机的能耗制动控制	(124)
第5章 模拟电路实验	(127)
实验 5.1 常用电子仪器的使用	(127)
实验 5.2 晶体管共射极单级放大器的研究	(133)
实验 5.3 场效应管放大器	(141)
实验 5.4 单级放大器的仿真研究	(146)
实验 5.5 射极跟随器	(151)
实验 5.6 负反馈放大器的研究	(156)
实验 5.7 差动放大器	(161)

实验 5.8 多级电压放大器的仿真研究	(166)
实验 5.9 集成运算放大器的参数测试	(171)
实验 5.10 集成运算放大器的基本应用	(178)
实验 5.11 集成运算放大器的仿真实验	(184)
实验 5.12 RC 正弦波振荡器	(188)
实验 5.13 LC 正弦波振荡器	(193)
实验 5.14 波形发生器的设计	(197)
实验 5.15 低频功率放大器	(202)
实验 5.16 直流稳压电源的研究	(208)
实验 5.17 声光控制灯的设计	(215)
第 6 章 数字电路实验	(221)
实验 6.1 门电路的参数测试及应用	(221)
实验 6.2 译码器和数据选择器	(227)
实验 6.3 组合逻辑电路的仿真设计	(232)
实验 6.4 RS、JK、D 触发器及其应用	(235)
实验 6.5 施密特触发器及其应用	(242)
实验 6.6 计数、译码及显示的综合仿真实验	(246)
实验 6.7 编码器及其应用的仿真	(252)
实验 6.8 555 时基电路及其应用	(255)
实验 6.9 移位寄存器及其应用	(263)
实验 6.10 A/D、D/A 转换器	(270)
实验 6.11 智力竞赛抢答器的设计	(277)

第 3 部分 附 录

附录 A 电工测量直读仪表基本知识	(285)
附录 B 常用电子仪器	(291)
附录 C Multisim 10 的基本操作	(323)
附录 D 常用门电路和触发器使用规则	(352)
附录 E 部分集成电路型号及引脚图	(354)
附录 F 通用电工技术实验装置使用说明	(362)
参考文献	(368)

第1部分

电类实验基础知识

第 1 章 实验的目的、意义和要求

实验是将事物置于特定的条件下加以观测,对事物发展规律进行科学认识的必要环节,是科学理论的源泉、自然科学的根本、工程技术的基础,任何科学技术的发展都离不开实验。电工电子技术实验的任务是使学生获得电工电子技术方面的基础理论、基础知识和基本技能。加强实验训练特别是技能的训练,对提高学生分析问题和解决问题的能力,具有十分重要的意义。

1.1 实验的目的和意义

基础实验教学在培养学生的思维能力、观测能力、表达能力、动手能力、查阅文献资料的能力等综合素质方面有着不可替代的作用。在实验过程中,通过分析、验证器件和电路的工作原理及功能,对电路进行分析、调试、故障排除和性能指标的测量,自行设计、制作各种功能的实际电路等多方面的系统训练,可以使学生的各种实验技能得到提高,实际工作能力得到锻炼。同时,通过实验培养学生勤奋进取、严肃认真、理论联系实际的务实作风和为科学事业奋斗的精神,为市场经济需求培养具有一定实际工作能力的复合型人才。

电类基础实验包括电路分析实验、电工技术实验、模拟电路实验和数字电路实验等,按性质可分为基础训练性实验、综合性实验和设计性实验。

基础训练性实验是针对电工电子技术基础理论而设置的,通过实验获得感性认识,验证和巩固重要的基础理论,同时使学生掌握常用电工仪表、测量仪器的工作原理和规范使用,熟悉常用元器件的原理和性能,掌握其参数的测量方法和元器件的使用方法,掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能。同时,培养学生一定的安装、调试、分析、寻找故障等技能。

综合性实验侧重于对多学科知识点的综合应用和实验的综合分析,其目的是

培养学生综合应用理论知识能力和解决较复杂的实际问题能力,包括实验理论的系统性、实验方案的完整性、可行性,元器件及测量仪器的综合应用等。

设计性实验对于学生来说,既有综合性又有探索性。它主要侧重于某些理论知识的灵活应用,要求学生在教师的指导下独立完成查阅资料、设计方案与组装实验等工作,实验中借助于计算机仿真,可以使设计方案更加完善、合理。

1.2 实验的一般要求

尽管每个实验项目的目的和内容不同,但为了培养良好的学风,充分发挥学生的主动精神,促使其独立思考、独立完成实验并有所创新,对基础电子实验的预习阶段、进行阶段、完成阶段和实验报告分别提出下列基本要求。

1.2.1 实验预习

为了避免盲目性,参加实验者应对实验内容进行预习。通过预习,明确实验目的和要求,掌握实验的基本原理,熟悉实验电路,查阅有关资料,拟出实验方法和步骤,设计实验数据记录表格,对思考题进行思考,并初步估算(或分析)实验结果,完成规定的预习报告。

1.2.2 实验进行

(1) 参加实验者要自觉遵守《实验室安全管理制度》、《学生实验守则》等管理制度。

(2) 根据实验内容合理安排实验,仪器设备和实验装置安放要适当。检查所用器件和仪器是否完好,然后按实验方案连接实验电路,认真检查,确保无误后方可通电测试。

(3) 认真记录实验条件和所得数据、波形,并进行分析以判断数据、波形是否正确。发生故障应迅速切断电源,报告指导教师和实验室有关人员,并独立思考分析,耐心寻找故障原因,排除故障,记录排除故障的过程和方法。

(4) 仔细领会实验内容及要求,确保实验内容完整,测量结果准确、合理。

1.2.3 实验完成

实验完成后,将记录送给指导教师审阅签字,经教师同意后方可拆除线路,清

理实验现场。

1.2.4 实验报告

实验报告是对实验工作的全面总结。作为一名工程技术人员必须具有撰写实验报告这种技术文件的能力,做完实验后将实验结果和实验情况完整、真实地表达出来。

1. 实验报告的内容

实验报告应包括以下几个部分:

- (1) 实验目的;
- (2) 实验测试电路和实验原理;
- (3) 实验使用的仪器型号、主要工具;
- (4) 实验的具体步骤、实验原始数据及实验过程的详细情况记录;
- (5) 实验结果和分析,必要时,应对实验结果进行误差分析;
- (6) 实验心得,总结实验完成情况,对实验中遇到的问题进行讨论,简单叙述实验的心得和体会。

2. 实验报告的基本要求

实验报告要求结论正确、分析合理、讨论深入、文理通顺、简明扼要、符合标准、字迹端正、图表清晰。在实验报告上还应注明项目名称、实验者、实验日期、使用仪器型号等内容。

1.3 误差分析与测量结果的处理

在实验过程中,由于各种原因,测量结果和待测量的客观真值之间总会存在一定差别,即测量误差。因此,分析误差产生的原因,如何减少误差,使测量结果更加准确,对于实验人员和科技工作者来说是必须了解和掌握的。

1.3.1 误差的分类与来源

1. 测量误差的分类

测量误差按性质和特点分类,可分为系统误差、随机误差和疏失误差三大类。

(1) 系统误差 系统误差是指在相同条件下重复测量同一量时,误差的大小和符号保持不变,或按照一定的规律变化的误差。系统误差一般通过实验或分析

方法,查明其变化规律及产生原因后,可以减少或消除。基础电子实验中的系统误差常来源于测量仪器的调整不当和使用方法不当。

(2) 随机误差 随机误差也叫偶然误差。在相同条件下多次重复测量同一量时,误差大小和符号呈无规律变化的误差称为随机误差。随机误差不能用实验方法消除,但从随机误差的统计规律中可了解它的分布特性,并能对其大小及测量结果的可靠性做出估计,或通过多次重复测量,然后取其算术平均值来达到目的。

(3) 疏失误差 疏失误差也叫过失误差。这种误差是由于测量者对仪器不了解、粗心,导致读数不正确而引起的,测量条件的突然变化也会引起误差。含有疏失误差的测量值称为坏值或异常值,必须根据统计检验方法的某些准则去判断哪个测量值是坏值,然后去除之。

2. 测量误差的来源

测量误差的来源主要有以下几个方面:

(1) 仪器误差 仪器误差是指由于测量仪器本身的电气或机械等性能不完善所造成的误差。显然,消除仪器误差的方法是配备性能优良的仪器并定时对测量仪器进行校准。

(2) 使用误差 使用误差也叫操作误差,是指测量过程中因操作不当而引起的误差。减小使用误差的办法是测量前详细阅读仪器的使用说明书,严格遵守操作规程,提高实验技巧和对各种仪器的操作能力。

例如,仪表盘上的符号 $\perp$ 、 $\parallel$ 、 $\angle$ 分别表示仪表垂直位置使用、水平位置使用、与水平面倾斜成 60° 使用。使用时应按规定放置仪表,否则会带来误差。

(3) 方法误差 方法误差也叫理论误差,是指由于使用的测量方法不完善、理论依据不严密、对某些经典测量方法作了不适当的修改简化所产生的,即凡是在测量结果的表达式中没有得到反映的因素,而实际上这些因素在测量过程中又起到一定的作用所引起的误差。

例如,用伏安法测电阻时,若直接以电压表示值与电流表示值之比作为测量结果,而不计电表本身内阻的影响,就会引起误差。

1.3.2 误差的表示方法

误差可以用绝对误差和相对误差来表示。

1. 绝对误差

设被测量的真值为 A_0 ,测量仪器的示值为 X ,则绝对误差值为

$$\Delta X = X - A_0$$

在某一时间及空间条件下,被测量的真值虽然是客观存在的,但一般无法测得,只能尽量逼近它。故常用高一级标准测量仪器的测量值 A 代替真值 A_0 ,则

$$\Delta X = X - A$$

在测量前,测量仪器应由高一级标准仪器进行校正,校正量常用修正值 C 表示。高一级标准仪器的示值减去测量仪器的示值所得的差值,就是修正值。实际上,修正值就是绝对误差,只是符号相反:

$$C = -\Delta X = A - X$$

利用修正值便可得该仪器所测量的实际值

$$A = X + C$$

例如,用电压表测量电压时,电压表的示值为 1.1 V,通过鉴定得出其修正值为 -0.01 V。则被测电压的真值

$$A = 1.1 + (-0.01) = 1.09 \text{ (V)}$$

修正值给出的方式可以是曲线、公式或数表。对于自动测量仪器,修正值则预先编制好,存在仪器中,测量时对误差进行自动修正,所得结果便是实际值。

2. 相对误差

绝对误差值的大小往往不能确切地反映出被测量的准确程度。例如,测 100 V 电压时, $\Delta X_1 = +2 \text{ V}$, 测 10 V 电压时, $\Delta X_2 = 0.5 \text{ V}$, 虽然 $\Delta X_1 > \Delta X_2$, 可实际上 ΔX_1 只占被测量值的 2%, 而 ΔX_2 却占被测量值的 5%。显然, 后者的误差对测量结果的影响相对较大。因此, 工程上常采用相对误差来比较测量结果的准确程度。

相对误差又分为实际相对误差、示值相对误差和引用(或满度)相对误差。

(1) 实际相对误差 实际相对误差用绝对误差 ΔX 与被测量的实际值 A 的比值的百分数来表示:

$$\gamma_A = \frac{\Delta X}{A} \times 100\%$$

(2) 示值相对误差 示值相对误差用绝对误差 ΔX 与仪器给出值 X 之比的百分数来表示:

$$\gamma_X = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$

(3) 引用(或满度)相对误差 引用(或满度)相对误差用绝对误差 ΔX 与仪器的满刻度值 X_m 之比的百分数来表示:

$$\gamma_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\%$$

电工仪表的准确度等级就是由 γ_m 决定的, 如 1.5 级的电表, 表明 $\gamma_m \leq \pm 1.5\%$ 。我国电工仪表按 γ_m 值共分七级: 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0。若某仪表的等级是 S 级, 它的满刻度值为 X_m , 则测量的绝对误差

$$\Delta X \leq X_m \times S\%$$

其示值相对误差

$$\gamma_m \leq \frac{X_m}{X} \times S\%$$

在上式中,总有 $X \leq X_m$,可见当仪表等级 S 选定后, X 愈接近 X_m , γ_m 的上限值愈小,测量愈准确。因此,当我们使用这类仪表进行测量时,一般应使被测量的值尽可能在仪表满刻度值的二分之一以上。

1.3.3 测量结果的处理

测量结果通常用数字或图形表示,下面分别进行讨论。

1. 测量结果的数字表示法

(1) 有效数字 由于存在误差,所以测量数据总是近似值,它通常由可靠数字和欠准数字两部分组成。例如,由电流表测得电流为 12.6 mA,这是个近似数,12 是可靠数字,而末位 6 为欠准数字,即 12.6 为三位有效数字,有效数字对测量结果的科学表述极为重要。

对有效数字的正确表示,应注意以下几点:

① 与计量单位有关的“0”不是有效数字,例如,0.054 A 与 54 mA 这两种写法均为两位有效数字。

② 小数点后面的“0”不能随意省略,例如,18 mA 与 18.00 mA 是有区别的,前者为两位有效数字,后者则是四位有效数字。

③ 对后面带“0”的大数目数字,不同的写法有效数字位数是不同的。例如,3 000 如写成 30×10^2 ,则成为两位有效数字;若写成 3×10^3 ,则成为一位有效数字;如写成 $3\,000 \pm 1$,就是四位有效数字。

④ 如已知误差,则有效数字的位数应与误差所在位相一致,即有效数字的最后一位数应与误差所在位对齐。例如,仪表误差为 ± 0.02 V,测得数为 3.283 2 V,其结果应写作 3.28 V。因为小数点后面第二位“8”所在位已经产生了误差,所以从小数点后面第三位开始后面的“32”已经没有意义了,结果中应舍去。

⑤ 当给出的误差有单位时,测量数据的写法应与其一致。例如,频率计的测量误差为 $\pm$ 数 kHz,其测得某信号的频率为 7 100 kHz,可写成 7.100 MHz 和 $7\,100 \times 10^3$ Hz,若写成 7 100 000 Hz 或 7.1 MHz 是不行的,因为后者的有效数字与仪器的测量误差不一致。

(2) 数据舍入规则 为了使正、负舍入误差出现的概率大致相等,现已广泛采用“小于 5 舍,大于 5 入,等于 5 时取偶数”的舍入规则,即:

① 若保留 n 位有效数字,当后面的数值小于第 n 位的 0.5 单位就舍去。

② 若保留 n 位有效数字,当后面的数值大于第 n 位的 0.5 单位就在第 n 位数字上加 1。

③ 若保留 n 位有效数字,当后面的数值恰为第 n 位的 0.5 单位,则当第 n 位

数字为偶数(0,2,4,6,8)时应舍去后面的数字(即末位不变),当第 n 位数字为奇数(1,3,5,7,9)时,第 n 位数字应加1(即将末位凑成偶数)。这样,由于舍入概率相同,当舍入次数足够多时,舍入的误差就会抵消。同时,这种舍入规则,使有效数字的尾数为偶数的概率增大,能被除尽的机会比奇数多,有利于准确计算。

(3) 有效数字的运算规则 当测量结果需要进行中间运算时,有效数字的取舍,原则上取决于参与运算的各数中精度最差的那一项。一般应遵循以下规则:

① 当几个近似值进行加、减运算时,在各数中(采用同一计量单位),以小数点后位数最少的那一个数(如无小数点,则为有效位数最少者)为准,其余各数均舍入至比该数多一位后再进行加减运算,结果所保留的小数点后的位数,应与各数中小数点后位数最少者的位数相同。

② 进行乘、除运算时,在各数中,以有效数字位数最少的那一个数为准,其余各数及积(或商)均舍入至比该因子多一位后进行运算,而与小数点位置无关。运算结果的有效数字的位数应取舍成与运算前有效数字位数最少的因子相同。

③ 将数平方或开方后,结果可比原数多保留一位。

④ 用对数进行运算时, n 位有效数字的数应该用 n 位对数表示。

⑤ 当计算式中出现如 e 、 π 、 $\sqrt{3}$ 等常数时,可根据具体情况来决定它们应取的位数。

2. 测量结果的曲线表示法

在分析两个(或多个)物理量之间的关系时,用曲线比用数字、公式表示常常更形象和直观,因此,测量结果常要用曲线来表示。在实际测量过程中,由于各种误差的影响,测量数据将出现离散现象,如将测量点直接连接起来,将不是一条光滑的曲线,而是呈折线状,如图1.3.1所示。但我们应用有关误差理论,可以把各种随机因素引起的曲线波动抹平,使其成为一条光滑均匀的曲线,这个过程称为曲线的修匀。

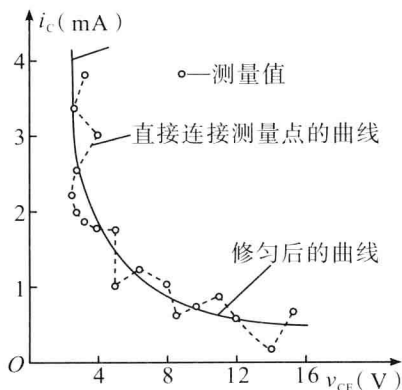


图 1.3.1 直线连接测量点时曲线的波动情况

在要求不太高的测量中,常采用一种简便、可行的工程方法——分组平均法来修匀曲线。这种方法是将各测量点分成若干组,每组含2~4个数据点,然后分别估取各组的几何重心,再将这些重心连接起来。图1.3.2就是每组取2~4个数据点进行平均后的修正曲线。由于进行了测量点的平均,在一定程度上减少了偶然误差的影响,使这条曲线较为符合实际情况。

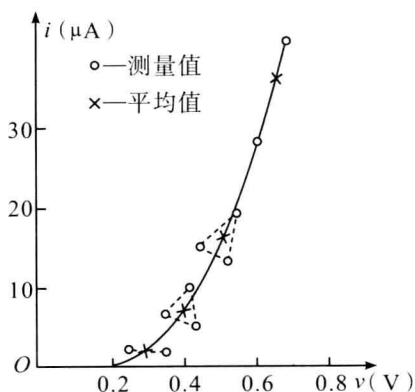


图 1.3.2 分组平均法修正曲线