

电工电子实验系列教材

电路分析基础实验

DIANLU FENXI JICHU SHIYAN

霍丽华◎主编

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

电路分析基础实验

主 编 霍丽华

编 委 (以姓氏拼音为序)

曹芸茜 郝 磊 侯 威

王 博 张聪玲

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础实验/霍丽华主编. —哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2015. 7

ISBN 978 - 7 - 5661 - 1102 - 9

I. 电… II. 霍… III. 电路分析 - 实验
IV. TM133 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 176289 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
地 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787 mm × 960 mm 1/16
印 张 12.5
字 数 250 千字
版 次 2015 年 8 月第 1 版
印 次 2015 年 8 月第 1 次印刷
定 价 26.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

本教材是为高等理工科院校而编写的,适用于本科电类专业的实验教学。在学习电路分析理论课程之后所进行的实验教学,指导教师与学生可根据理论教学内容任意选用。

本教材的目的是通过实验帮助学生获得直接的感性知识,巩固和掌握所学的理论内容;通过实验,培养学生的实验技能,掌握实验的基本原则和方法,提高实际操作水平,积累实践经验,从而逐步提高故障诊断和排除故障的能力,使学生能够独立的分析问题和解决问题。

通过本教材使学生能够基本掌握常用的电工仪表的正确使用、基本电量的测试方法、实验现象的观察分析方法、数据分析处理的理论和基本方法,并学会编写实验报告,掌握数据处理、分析结果、编写实验过程,培养学生严肃认真、实事求是的科学作用,为今后学习专业知识打下良好的基础。

本书共分三编,第一编主要介绍电测量的基本知识、电测量指示仪表的知识、常用仪器仪表的使用和常用元器件的介绍。第二编主要介绍电路实验,共 15 个实验,每个实验都给出明确的实验目的和要求,给出实验原理和实验步骤的说明,实验内容由浅入深,由易到难,使学生的学习有一个循序渐进的过程;同时,每个实验都设有思考题,用以开阔学生思路,培养学生独立思考和创新的精神。第三编主要介绍本实验中心引进的开放式虚拟仿真实验平台的使用,使学生能够利用实验平台来辅助实验课程的学习,实验平台的最大特点是学生可以用实物的形式来搭建虚拟仿真实验电路,而不是只认识电路符号;实验平台的使用,很方便地用于实验的预习教师课堂教学的组织和实验课后学生的扩展学习。

本书是中国民航大学基础实验中心的老师在多年实验教学的基础上共同编写完成的,由霍丽华主编,曹芸茜、侯威、郝磊、王博、张聪玲等参与编写。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正,多提宝贵意见。

编 者
2015 年 6 月

目 录

绪 论	1
-----	---

第一编 电气测量的基本知识

第一章 电气测量的基本知识	4
第一节 测量仪器的测量方法的分类	4
第二节 电气测量指示仪表的误差及准确度	5
第三节 测量误差及其消除方法	8
第四节 测量结果的处理	13
第二章 常用电工仪表的基本知识	18
第一节 电气测量指示仪表的主要技术性能	18
第二节 电气测量指示仪表的分类	20
第三节 电气测量指示仪表的正确使用	21
第三章 实验室常用仪器、仪表	23
第一节 数字万用表	23
第二节 直流稳压电源	28
第三节 低频信号发生器	30
第四节 数字合成函数信号发生器/计数器	32
第五节 示波器	37
第四章 常用元器件的标识及测量	49
第一节 电阻元件	49
第二节 电容元件	50
第三节 电感元件	52
第四节 半导体二极管	53
第五节 半导体三极管	55

第二编 电路基础实验

实验一 电路中电位的研究	58
实验二 伏安特性的测试	62
实验三 基尔霍夫定律和叠加原理	67

实验四	线性有源二端网络的测量	71
实验五	RC 一阶电路的响应测试	76
实验六	二阶电路过渡过程实验	81
实验七	元件参数的测量	84
实验八	正弦交流电路中的电阻、电感和电容	87
实验九	串联谐振电路的研究	90
实验十	并联谐振电路的研究	95
实验十一	RC 选频网络实验	99
实验十二	RL 和 RC 串联电路实验	102
实验十三	RC 电路时域响应的应用	106
实验十四	改善功率因数实验	111
实验十五	三相电路及功率的测量	114

第三编 虚拟仿真实验

引言	为什么要使用开放式网上虚拟实验室	118
第一章	开放式网上虚拟实验室概述	120
第二章	实验操作平台	122
第一节	器材栏	123
第二节	实验台	126
第三节	属性栏	129
第四节	菜单栏	145
第三章	系统角色及权限	146
第一节	系统管理员	146
第二节	教务人员	150
第三节	教师	151
第四节	学生	160
第四章	开放式网上虚拟实验室使用流程	175
第五章	注意事项及常见问题	182

绪 论

实验教学课是高等教育的一个重要教学环节,是理论联系实际的重要手段。理论教学和实验教学是对同一学科进行学习、研究的两种重要的教学环节,两者任务一致,只是教学手段不同而已;前者是通过理论分析和科学计算对教学内容进行学习和研究;后者则是通过科学实验和测试技术对教学内容进行学习和研究。二者相辅相成。

电路分析基础实验是电路分析基础课程教学中不可缺少的实践环节,目的首先是通过实验帮助学生获得必要的感性知识,进一步巩固和掌握所学的理论内容;其次通过实验培养学生实验的技能,提高实际动手操作的能力,锻炼学生独立分析问题和解决问题的能力;通过实验了解常用电工仪表的测量与使用方法;通过预习与实验操作,掌握数据处理、分析结果、编写实验报告的过程,培养学生严肃认真,实事求是的科学作风;通过自己设计电路,掌握简单的电子电路设计的方法,为后续电类专业的实验实践课的学习奠定基础。

本实验指导书结合教学内容,编写了包括直流电路、交流电路、电感电路和三相电路在内的共 15 个实验,每个实验在实验内容后均提出了实验报告的要求和供学生考虑的思考题,以帮助学生更好地分析和总结相关的实验和理论知识,提高对相关实验内容,包括仪器仪表使用、实验手段的认识。

一、本课程的任务

本课程的任务是通过实验教学,使学生掌握电气测量仪器的正确使用方法;在实验中掌握如何合理选用测量仪器(种类、准确度和量程等)和测量方法,能应用理论做指导来分析实验结果,判定实验是否成功。通过编写实验报告,培养综合数据的能力、文字组织的能力和处理实验结果的能力(如实验数据的误差分析等)。

二、实验要求

实验前要学会学好相关理论知识,在实验中学会正确地使用电气测量仪表及设备,能独立完成实验接线、测试,正确选择测量仪器,能准确地读取、整理和分析实验数据,能写出完整的实验报告,在实验中掌握安全用电知识。

(一) 实验须知

1. 实验前必须认真地预习实验教材,明确实验目的、内容及实验步骤和方法,并

做好实验数据记录表格等一切准备工作,完成预习报告。教师对实验预习情况进行抽查,不合格者不得参加本次实验。

2. 从准备接线到送电前要做好的工作

(1) 注意设备容量、参数是否合适,工作电源电压不能超过额定值。

(2) 合理布线的原则:安全、方便、整齐、防止相互影响。

(3) 正确接线的原则

①根据实验电路的特点,选择合理的接线步骤,一般是“先串后并”,“先分后合”,或“先主后辅”。

②接线前先搞清楚电路图上的节点和实验电路中各元件接头的对应关系。

③养成良好的接线习惯,导线的长短粗细要合适,防止接线短路,接线点不宜过于集中于某一点,电表接头上非不得已不接两根导线,接线松紧要适中。

④接线完毕后,必须认真检查,经指导教师检查同意后,方可接通电源进行实验。在改接线路之前,必须切断电源,不得带电操作。遵守“先接线后合电源,先断电源后拆线”的操作程序。

3. 每做完一个实验,都要分析检查实验结果是否符合要求,有的要简单勾画曲线形状或趋势,检查实验结果的合理性,然后再请教师审查,教师同意后方可拆线;将所有仪器放回原处,才能离开实验室。

4. 必须严格遵守实验室的一切规章制度。

5. 处理故障的一般步骤

实验所用电源一般是可调的,实验时电压应从零缓慢上升,同时注意仪器仪表指示是否正常,有无声响、冒烟、焦臭味及设备发烫等异常现象。一旦发生上述之一异常现象,应立即切断电源,报告指导教师,共同分析故障发生的原因。

查找和处理故障的一般步骤:

(1) 若电路出现短路或其他可能损坏设备的故障时,应立即切断电源查找故障。不属上述情况可用电压表带电检查,一般首先检查接线是否正确。

(2) 根据出现故障的现象和电路的结构判断故障发生的原因,确定可能发生故障的范围。

(3) 逐步缩小故障范围,常用三种方法检查故障点。

①电压法 带电(或降低电源电压)用万用表的电压挡测量可能产生故障的各部分电压。根据电压的大小和有无,判断电路的故障点。

②欧姆法 断开电源,用万用表的欧姆挡检查各支路是否连通,元件是否良好。

③信号追踪法 利用示波器,当引入适当频率和振幅的信号加入输入端时,从信号的输入端开始,逐一观测各元器件、各支路是否有正常的波形和振幅,以追踪反常现象,找出故障所在。

6. 操作时要做到手合电源,眼观全局,先看现象,再读数据。

(二) 使用仪表

1. 正确地选择仪表的种类、量程,尽量减小测量仪表对被测电路工作状态的影响。

2. 注意仪器、仪表显示上的符号,弄清楚被测物理量是什么,正确使用仪器、仪表,以免损坏。

3. 读数前要弄清仪器、仪表的量程,读数要正确,合理取舍有效数字(最后一位为估算数字)。

(三) 实验报告

实验报告是实验工作的总结,它是在整理、分析和计算实验数据的基础上,将实验结果完整和真实地表达出来。实验报告要简明扼要、文理通顺、字迹端正、图表清晰、结论正确、分析合理、讨论深入。实验报告一般包括:

1. 实验名称;
2. 实验目的;
3. 实验电路图,在图中标明各元器件的参数值和各电量的正方向;
4. 实验数据及计算结果;
5. 曲线与图表;
6. 实验结果的分析处理(包括结论、体会与意见);
7. 回答问题。

第一编 电气测量的基本知识

正确使用电气测量仪器是正确测量的前提。首先必须了解仪器的分类、工作原理和使用方法。在此基础上,根据实验内容,恰当地选择实验仪器(包括仪器的种类、量程、准确度等级等)。测量方法直接关系到测量结果的正确与误差问题。掌握测量方法,了解仪表误差和测量误差,才能正确处理实验结果。

第一章 电气测量的基本知识

第一节 测量仪器的测量方法的分类

电气测量仪器主要指电工测量仪器和电子测量仪器,以及非电量电测仪器。电工测量仪器分为直读指示仪器和比较仪器两种。直读仪器如交直流电流表、电压表、功率表、万用表,多是电测量指示仪表,这种仪表的特点是通过可动部分的指针在标尺上的位置直接读出被测量的值。比较仪器用于比较测量,包括各类交直流电桥,交直流补偿式的测量仪器。电子测量仪器主要有示波器、电子管或晶体管电压表、晶体管参数测试仪、晶体管特性曲线测试仪、信号发生器、直流稳压电源、频率计和 Q 表等。

对于同一电量,可以用不同的方法测量。选择测量方法的依据是被测量的特性、测量条件以及对准确度的要求等。测量方法可以根据获得测量结果的过程或所用测量设备进行分类。

一、按获得测量结果的过程分类

1. 直接测量法

被测量可直接从仪器的度盘上读出,称为直接测量法。属于直接测量法的有电流表测电流、电桥测电阻等。

2. 间接测量法

间接测量法是通过直接测量得到几个资料(这些资料并不是最终所求的结果),

利用所测资料,按一定的关系式求出最终结果。

例如,伏安法测电阻是根据测量的电流和电压值,利用欧姆定律确定出电阻值。

间接测量法常用于被测量不能直接测量、直接测量较复杂或直接测量的结果不如间接测量的结果准确等情况。

3. 比较测量法

比较测量法是将作用于任何系统的被测量,同作用于同一系统的其他已知量相比较。如用示波器根据李沙育图形测量频率等。

二、按测量仪器设备分类

1. 直接测量

这种方式是根据仪表的读数确定被测量的值。这时所用的测量仪表已按被测量的单位预先刻好分度,能直接读出被测量的大小。如用电流表测电流,用伏安法测电阻等。

这种测量方式具有设备简单、操作方便、节省时间等优点,因而应用广泛。其缺点是测量准确度常受仪表准确度的限制而不够高。

2. 比较测量

这种方式是把被测量和度量器(如标准电池、标准电阻、标准电容等)相比较来决定其大小的。如用直流电位差计测量电压或电阻等。

这种测量方式的准确度高,灵敏度高,但测量费时,操作麻烦,对设备的要求高。

第二节 电气测量指示仪表的误差及准确度

用任何仪器仪表对某一被测量进行有限次的测量都不能求得测量的真值,仪器仪表的读数与真值之间总存在着一定的差值,这个差值称为误差。

仪表准确度表示仪表的读数与被测量的真值相符合的程度。误差越小,准确度越高。

一、仪表误差的分类

根据引起误差的原因,可将误差分为基本误差和附加误差两种。

1. 基本误差

仪表在规定的条件下(即在规定的温度、湿度、规定的放置方式,仪表指针调整到机械零位,除地磁外,没有外来电磁场干扰等条件),由于内部结构和制造工艺的限制,仪表本身所固有的误差,例如摩擦误差,标尺刻度不准,轴承与轴尖间隙造成的倾斜误差等都能产生基本误差。

2. 附加误差

仪表偏离其规定的正常工作条件产生的除上述基本误差外的误差称为附加误差。如温度过高,波形非正弦,频率过高或过低,外电场或外磁场的影响所引起的误差都属于附加误差。为此,仪表离开规定的工作条件形成的总误差中,除了基本误差之外,还包含有附加误差。

二、误差的表示方法

1. 绝对误差

测量值 A_x 与被测量真值 A_0 之差称为绝对误差 Δ , 即

$$\Delta = A_x - A_0$$

例 1-1 用一电压表测量电压,其读数为 97 V,而标准表的读数(视为真值)为 100 V,求绝对误差。

解 由上式得

$$\Delta = A_x - A_0 = 97 - 100 = -3 \text{ V}$$

可见,绝对误差的单位与被测量的单位相同,绝对误差的符号有正负之分,用绝对误差表示仪表误差的大小比较直观。

2. 相对误差

相对误差是绝对误差 Δ 与被测量的真值 A_0 之比,通常用百分数表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

因为 A_0 难以测得,且 A_x 与 A_0 相差不大,有时用 A_x 代替 A_0 , 则

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\%$$

例 1-2 用两块电压表测量两个电压,一个电压的测量值为 100 V,绝对误差为 +1 V,另一个的测量值为 10 V,绝对误差为 0.5 V。求两次测量结果的相对误差。

解

$$\gamma_1 = \frac{\Delta_1}{A_{x1}} \times 100\% = \frac{1}{100} \times 100\% = +1\%$$

$$\gamma_2 = \frac{\Delta_2}{A_{x2}} \times 100\% = \frac{0.5}{10} \times 100\% = +5\%$$

可见,前者的绝对误差 A_{x1} 比后者的绝对误差 A_{x2} 大,但其相对误差 γ_1 却比 γ_2 小,说明前者的测量准确度要高些。显然,相对误差便于对不同的测量结果的测量误差进行比较,所以一般都用它来表示误差。

3. 引用误差

相对误差虽然可以用来表示某测量结果的准确度,但若用来表示指示仪表的准

准确度则不太合适,因为指示仪表是用来测量某一规定范围(通常称为量程)内的被测量,而不是只测量某一固定大小的被测量。当用仪表测量不同大小的被测量时,由于上式中的分母不同,相对误差便随着变化。所以用相对误差衡量仪表的性能是不方便的。

引用误差是一种简化和实用方便的相对误差,它常用仪表的基本误差与其量程之比的百分数表示,即

$$\gamma_n = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\%$$

式中 γ_n 为仪表的引用误差; Δ 为仪表在某一刻度上的基本误差。

三、仪表的准确度

由于仪表在不同刻度上基本误差不完全相等,其值有大、小,其符号有正、负,所以用最大引用误差衡量仪表的准确度更为合适。最大引用误差是仪表在不同刻度上可能出现的最大误差 Δ_m 与仪表的量程 A_m 之比的百分数,即

$$\gamma_{nm} = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\%$$

式中 γ_{nm} 为仪表的最大引用误差; Δ_m 为仪表在不同刻度上的最大基本误差。

最大引用误差愈小,则基本误差愈小,表示仪表的准确度愈高。因此,仪表的准确度决定于仪表本身在规定使用条件下的性能。

根据我国国家标准 GB 776—65《电气测量指示仪表通用技术条例》规定,按最大引用误差的不同,其准确度 a 为 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5 等七个等级。现已生产出准确度为 0.05 级的仪表。准确度为 0.1 级的仪表,其最大引用误差 γ_{nm} 小于或等于 0.1%; 1.0 级的仪表的 γ_{nm} 在 0.5% ~ 1%, 但不超过 1%, 依次类推。

例 1-3 用量程为 10 A, 准确度为 0.5 级的电流表去测量 10 A 和 5 A 两个电流, 求测量的相对误差。

解 测量 10 A 电流时所产生的最大基本误差为

$$\Delta_m = \pm a\% A_m = \pm 0.5\% \times 10 = \pm 0.05 \text{ A}$$

其最大相对误差

$$\gamma_{10} = \pm \frac{0.05}{10} = \pm 0.5\%$$

测量 5 A 电流时

$$\Delta_m = \pm 0.5\% \times 10 = \pm 0.05 \text{ A}$$

$$\gamma_5 = \pm \frac{0.05}{5} = \pm 1\%$$

由此可见:

(1)仪表的准确度直接影响测量结果的准确程度。一般来说,仪表的准确度并不就是测量结果的准确度,后者还与被测量的大小有关,二者不能混为一谈。

(2)在选择仪表时,只有考虑仪表的准确度等级,同时又选择合理的量程,才能保证获得较高的测量结果的准确度。当仪表的准确度等级确定后,所选仪表的量程越接近被测量的值,测量结果的误差越小。若量程选择不合理,其测量结果的误差可能会超过仪表的准确度等级(测 5 A 时)。

第三节 测量误差及其消除方法

不论是采用什么样的测量方式和方法,也不论采用什么样的仪器仪表,由于仪表本身不够准确,测量方法不够完善以及实验者本人经验不足,人的感觉器官不完善等等原因,都会使测量结果与被测量的真值之间存在差异,这种差异称为测量误差。测量误差可分为三类。

一、系统误差

在相同的测量条件下,多次测量同一个量时,大小和符号保持恒定或按一定规律变化的误差称为系统误差。如用质量不准的天平砝码称物质,产生恒定误差;用不准的米尺量布,布越长,误差积累越多,这些都是系统误差。

(一)产生系统误差的原因

1. 工具误差

测量时所用的装置或仪器、仪表本身的缺点引起的误差。例如用量程为 100 V 的 0.5 级电压表测 50 V 的电压时,测量误差可达到 1%,这就是工具误差。

2. 外界因素影响误差

由于没有按照技术要求的规定使用测量工具,周围环境(温度、湿度、电场、磁场等)不合乎要求引起的误差。如万用表未调零,仪器设备放置不当互相干扰,仪表放在强磁场附近等,都会产生这种误差。

3. 方法误差或理论误差

由于测量方法不完善或测量所用的理论根据不充分引起的误差。例如当用伏安法测电阻时,如果不考虑所用仪表的内阻对电路工作状态的影响,所测的电阻值中便含有方法误差。

4. 人员误差

由于测量人员的感官、技术水平、习惯等个人因素不同引起的误差。例如有人听觉不够灵敏,当他用耳机作平衡指示器,调整交流电桥平衡时,就可能产生误判断,使测量不准。

消除或尽量减小系统误差是进行准确测量的条件之一,所以在测量之前,必须预先估计一切产生系统误差的根源,采取措施减小或消除系统误差。

(二) 消除系统误差的常用方法

1. 对误差加以修正

在测量之前,将测量所用量具、仪器、仪表进行检定,确定它们的修正值(实际值 = 修正值 + 测量值),把用这些仪表测量的数值加上修正值,就可以求得被测物理量的实际值(真值),消除工具误差。另外,考虑温度、湿度等环境因素对仪器仪表读数的影响,并对测量结果进行修正。也可以控制环境条件稳定,减小环境条件改变带来的误差。

2. 消除误差来源

测量之前检查所用仪器设备的调整 and 安装情况。例如仪表指针是否指零,仪器设备的安放是否合乎要求,是否便于操作和读数,是否互相干扰等;测量过程中,严格按照规定的技术条件使用仪器,如果外界条件突然改变,则应停止测量;测量人员要保持情绪安定和精神饱满。这些都可以防止系统误差。此外让不同的测量人员对同一个量进行测量,或用不同的方法对同一个量进行测量,也有助于发现系统误差。

3. 采用特殊测量方法

(1) 替代法

这种方法能消除由于测量工具不准和装置不妥善引起的系统误差。图 1-1 为替代法测量电阻 R_x 阻值的电路。

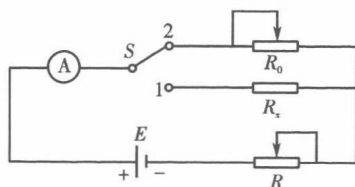


图 1-1 替代法测电阻

第一步,将 S 合到 1 位置,调节可变电阻 R ,使电流表指针有一较大的偏转,记下读数。第二步,电源 E 和可变电阻 R 保持不变,将 S 合到 2 位置,用标准电阻 R_0 替代被测电阻 R_x 并调节 R_0 使电流表的读数与第一步的读数值相同,这时被测电阻值就等于标准电阻值。测量 R_x 的误差就仅取决于所用标准电阻是否准确以及电源电压是否稳定,与仪表等因素无关,消除了仪表引起的误差。

(2) 正负误差补偿法

消除系统误差,还可以采用正负误差补偿法,即对同一被测量反复测量两次,并使其中一次误差为正,另一次误差为负,取其平均值,便可消除系统误差。例如为了

消除外磁场对电流表读数的影响,在一次测量之后,将电流表位置调转 180° ,重新测量一次,取两次测量结果的平均值,可以消除外磁场带来的系统误差。再如用电桥测量时,也可以采用这个方法消除热电势引起的系统误差。这里,可把电桥电源极性对调测量两次,取其平均值。

(3) 等时距对称观测法

图 1-2(a) 是用电位差计测量电阻的线路。图中 R_x 为被测电阻, R_n 为已知的标准电阻。开关 S 先合到左边测出 U_n

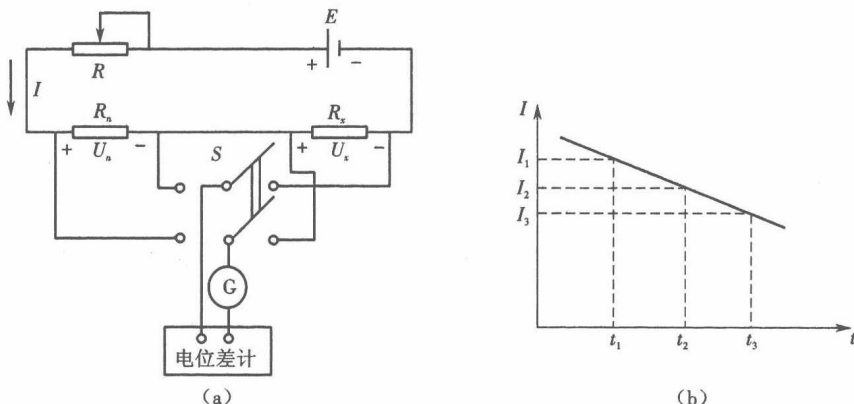


图 1-2 等时距对称观测法

(a) 电位差计测量电阻的电路; (b) 等时距观测法的图标

$$U_n = IR_n$$

再将开关 S 合到右边测出 U_x : $U_x = IR_x$

则

$$R_x = \frac{U_x}{U_n} R_n$$

如果在测量 U_x 和 U_n 的过程中,电路中的电流 I 不稳定,那么用上式计算的 R_x 就有误差。若电流 I 随时间按直线规律变化,用等时距观测法可以消除上述的误差。其测量步骤如下:

第一步,在 $t = t_1$ 时,用电位差计测出 $U_n = U_{n1}$;

第二步,在 $t_2 = t_1 + \Delta t$ 时,用电位差计测出 U_x ,这时电流 I 降为 I_2 ;

第三步,在 $t_3 = t_2 + \Delta t$ 时,再用电位差计测出 $U_n = U_{n3}$ 。

因为

$$\frac{U_{n1} + U_{n2}}{2} = \frac{I_1 R_n + I_3 R_n}{2} = I_2 R_n$$

所以

$$R_x = \frac{U_x}{\frac{1}{2}(U_{n1} + U_{n2})} R_n$$

这样算出的 R_x 消除了因电流随时间直线变化产生的系统误差。

二、偶然误差

偶然误差也叫随机误差,这是一种大小、符号都不确定的误差。这种误差是由周围环境的偶发原因引起的,因此无法消除。若只含有随机误差,进行多次重复测定,可发现随机误差符合统计学的规律性。若用 δ 表示随机误差,用 f 表示误差出现的原因,由实验可得 f 与 δ 的关系曲线如图 1-3 所示,该曲线称为随机误差的正则分布曲线。

从误差的正则分布曲线,可得出四个特性。

1. 有界性

在一定测量条件下,随机误差的绝对值不会超过一定界限,称有界性。

2. 单峰性

绝对值小的误差出现的机会比绝对值大的误差出现的机会多,称单峰性。

3. 对称性

误差可正、可负或为零。绝对值相等的正误差与负误差出现的机会大致相等,称对称性。

4. 抵偿性

以等精度多次测量某一量时,随机误差的算术平均值随着测量次数 n 的无限增加趋于零,称抵偿性。

由于随机误差具有上述特性,所以工程上对被测量进行多次重复测量,然后用它们的算术平均值表示被测量的真值,即

$$A_0 \approx \bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i$$

式中 \bar{A} 为算术平均值; n 为测量次数。

测量次数越多, \bar{A} 越趋近 A_0 。如果测量次数不够多,算术平均值与真值偏离较大,因此用算术平均值测量结果时,其测量精度可用标准差来表示,即

$$A_0 = \bar{A} \pm \sigma_x$$

式中 σ_x 是标准差。

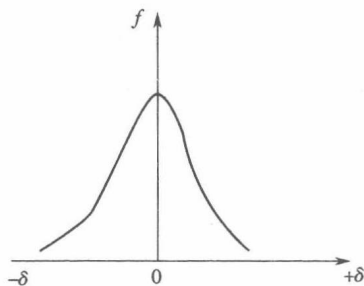


图 1-3 随机误差正则分布曲线