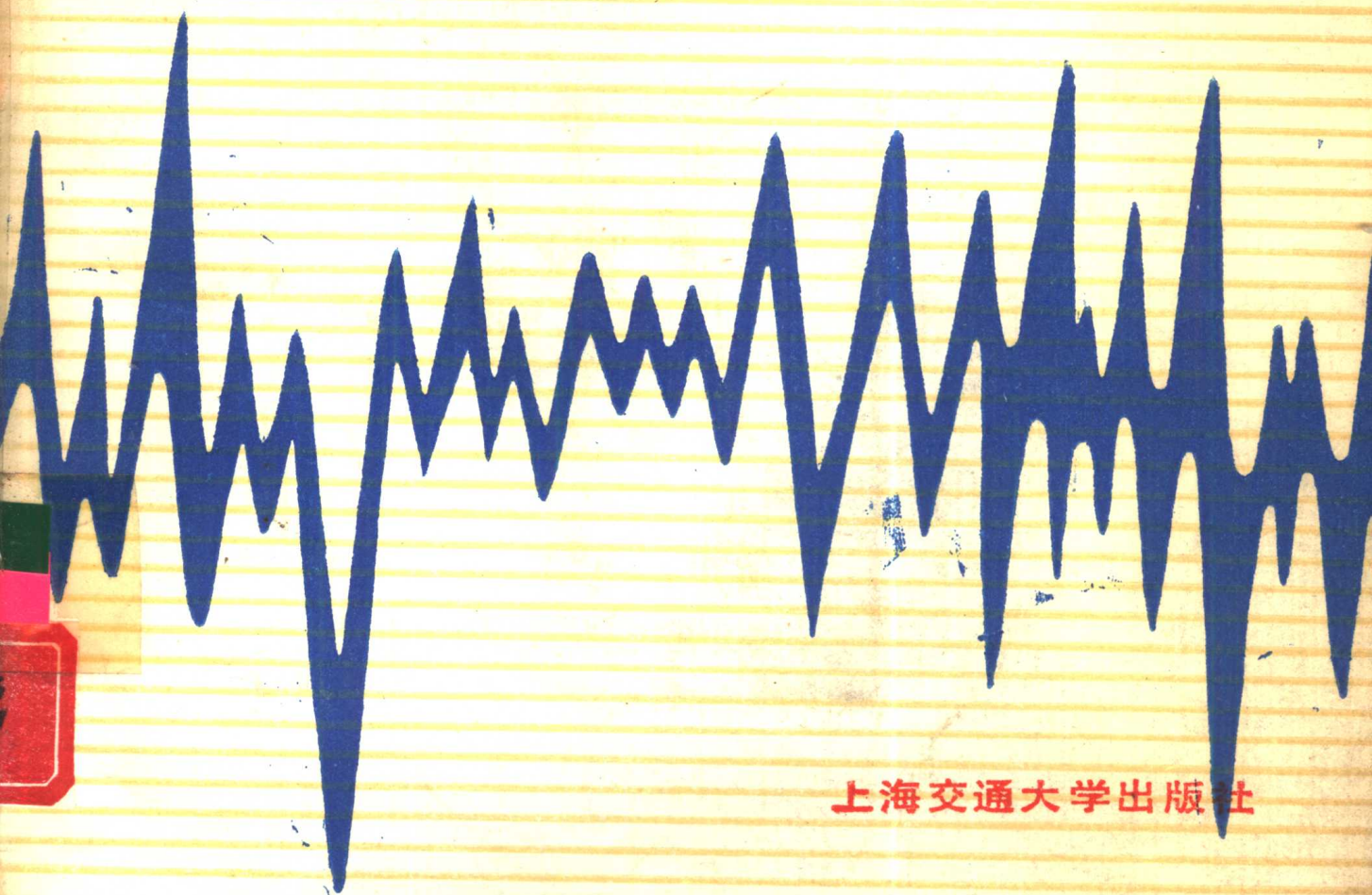




基本电路 理论实验

倪振群 沈汉昌 潘祖善 编



上海交通大学出版社

基本电路理论实验

倪振群 沈汉昌 潘祖善

上海交通大学出版社

基本电路理论实验
上海交通大学出版社出版
(淮海中路1984弄19号)
新华书店上海发行所发行
常熟市文化印刷厂印装

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 9.25 字数 221,000

1989年1月第1版 1989年1月第1次印刷

印数: 1—3,750

ISBN7—313—00390—O/TM·1 科技书目: 189—263

定价: 1.90 元

前 言

本书是上海交通大学理论电工教研室多年实验教学的经验总结。在编写过程中,既认真吸取了 60 年代初期出版的,由本教研室张立本同志主编的《电工基础实验指导书》的许多长处,同时又认真学习了兄弟院校的许多同类实验指导书的优点,从各方面都力图使本书更加符合当今基本电路理论课的教学和实验要求。

电路实验课是教学中的一个必要环节,对电类专业学生的成长,起着相当重要的作用。但是,电路实验课的重要性,往往为一般初学者所忽视,其实,电路实验课不仅仅旨在增强学生的实验动手能力,更不是仅仅教学生学会几个常用仪表的使用方法,更主要的是在于培养学生一丝不苟、严肃认真的工作作风,实事求是、埋头苦干的治学精神。有了这两点,干什么工作,做什么学问,都一定能成功。当然,这不可能通过电路实验一门课程的努力就能培养出来,而是要通过各方面的培养和锻炼才能达此目标。

在本书内容的安排上与《基本电路理论》一书的内容相配合;此外,还增加一部分计算机实验,要求学生根据算法和框图编制程序并上机调试。增加这部分内容一方面是学习国外同类学科的先进经验,使学生初步了解计算机在电路理论中的应用;另一方面是以此作为教学中计算机不断线总体规划的一个环节,提高学生上机能力,为今后学习打下计算机应用的基础。

由于各方面条件的限制,电路实验课的情况还不尽如人意,作为电路实验课的教材,也存在许多不足之处。例如实验内容的更新换代还很不够,个别内容还比较陈旧。再如上机计算,应占多少比例,还值得推敲。我们赞成学生具体动手操作的机会要多一些,独立思考的机会要多一些,遇到困难解决问题的机会要多一些。以上是我们的一点粗浅看法,不足之处请国内同行和读者指正。

本书由潘祖善、倪振群、沈汉昌编写,在本书的编写过程中,得到了教研室领导的关怀,实验室全体同志的支持,特别是汪向明同志的大力协助,在此一并表示衷心的感谢。

编 者

1987 年 8 月

目 录

课前指导	1
一、实验课的作用	1
二、实验课的要求	1
三、实验课的进行过程	1
四、实验报告的编写	2
五、测量误差的基本概念	3
六、有效数字与计算规则	6
实 验 一 线性电阻器	9
实 验 二 非线性电阻器	11
实 验 三 运算放大器	14
实 验 四 负阻抗变换器	19
实 验 五 回转器	23
实 验 六 受控电源	26
实 验 七 耦合电感器	29
实 验 八 变压器	32
实 验 九 网络定理(一)——叠加定理和戴维宁定理	35
实 验 十 网络定理(二)——特勒根定理和互易定理	38
实 验 十一 网络的时域特性——一阶电路的响应	41
实 验 十二 双口网络的频域特性	45
实 验 十三 二阶网络的响应与状态轨迹	50
实 验 十四 双口网络的等效参数	54
实 验 十五 RLC 串联谐振电路	57
实 验 十六 交流电路基本测量	61
实 验 十七 功率因数的提高	65
实 验 十八 三相电路的电压和电流	68
实 验 十九 三相电路的功率测量	71
实 验 二十 非正弦周期电流电路	74
实验二十一 恒定磁通的磁路	76
实验二十二 梯形电阻网络分析	79
实验二十三 简单电阻网络分析	82
实验二十四 树的一种算法	85
实验二十五 电路的瞬态分析	88
实验二十六 卷积的近似计算	92
实验二十七 正弦电流电路的稳态分析	95

•••1••

实验二十八	任意周期信号傅里叶系数的确定	98
实验二十九	网络函数频率特性的研究	101
实验三十	部分分式展开式系数的计算	105
实验三十一	非线性电阻电路直流工作点的计算	109
附录一	实验参考程序	114
附录二	常用实验设备使用方法简介	134
一、YJ 56 型	双路直流稳压电源	134
二、SR 54 双	线示波器	134
三、XD 7 低	频信号发生器	136
四、DA-16 型	晶体管毫伏表	137
五、D26-W 型	系列单相瓦特表	137

课 前 指 导

一、实验课的作用

科学实验是研究自然科学的极为重要的环节。科学理论的建立与发展是以大量的科学实验为依据的。即使从既有的定律经过逻辑推理或数学推导而建立的理论,仍必须经过实验的检验。因此理工科大学生必须要具有一定的实验能力。本课程的主要作用就是对学生进行实验基本技能的训练,提高学生运用基本理论来分析和解决问题的能力,同时在实验过程中培养学生严肃认真的科学态度和细致踏实的实验作风,为今后的专业实验、生产实践及科学研究打下坚实的基础。

二、实验课的要求

为了使实验课的作用奏效,下面几方面的要求是应该达到的:

1. 对于常用的电子、电工仪器仪表,控制和调节设备,应能进行选择、调整与熟练使用。对于精密及高级仪器仪表设备,要求一般地掌握其性能、用法和注意事项。
2. 应能正确地连接实验线路,合理地安排仪表和布线,能检查电路、寻找及排除故障,并掌握人身及设备的安全和防护知识。
3. 掌握观察实验现象及读取、选择和检查数据的方法,具有判断实验结果合理性的能力。
4. 能正确书写实验报告、绘制工程曲线、计算和分析实验结果,掌握误差理论和有效数字的基本概念。
5. 在计算机应用实验中能根据算法及框图,编制简单程序,并掌握上机调试程序的方法。

三、实验课的进行过程

1. 课前预习:课前认真预习是保证实验顺利进行和收到预期效果的必要条件,预习时要仔细阅读实验指导书,复习有关理论,明确实验目的和要求,仔细了解实验原理和实验方法,对需测量的物理量列出记录表格以备实验时记录之用,并对实验可能产生的结果进行预估。如果实验还要求事先计算与设计,则也应在预习中完成,例如计算机应用实验就需要预习时把程序编好,然后在实验时上机调试。

2. 进行实验:到实验室进行实验时,应注意下列几点:

(1) 仪器仪表设备的配备与检查:应把实验中所需用的仪器仪表设备配齐。根据实验要求,确定其类型、量程和准确度等级,然后去领取。有些仪表使用前还需注意调零。应把所使用的仪器仪表设备的编号登记在记录纸上,其目的是养成良好的实验习惯,一旦在做实

验报告时发现所测数据有误或需补测某些数据,就可以找到原有的设备进行补做。

(2) 连接电路:首先应把仪器仪表设备放置在便于操作和读数的位置,然后进行接线。接线时应按照电路图先接主要串联电路(从电源的一端开始,顺次而行,再回到电源的另一端),然后再连分支电路。遇到较复杂的电路时,可先把电路分为几个较简单的组成部分,先把各组成部分连接好,然后再按次序把这些组成部分连接起来。要养成良好的接线习惯,走线要合理,导线的长短粗细要合适,接头要接触紧密。好的布线使人看来一目了然,便于检查。线路接好后经自查无误,并请指导教师复查后方可接通电源。

(3) 设备的操作与数据的记录:接通电源后应将设备大致操作一遍,观察一下实验现象,判断结果是否合理。若不合理,则线路接线有误,立即切断电源重新检查线路并修正;若结果合理,则可正式操作。这时同组同学要互相配合分工合作,读数要姿势正确,思想集中,防止误读。数据要记录在事前准备好的表格中,凌乱和无序的记录常常是造成错误和失败的原因。为了获得正确的数据,有时需要重复实验并重新读取数据。要养成科学的态度,尊重原始数据,在做实验报告时若发现原始数据不合理,不得任意涂改,应再到实验室找到原来设备重做。当需要把数据绘成曲线时,读数的多少和分布情况,应以足够描绘一条光滑而完整的曲线为原则。读数的分布可随曲线的曲率而异,在曲率较大处可多读几点,按读取数据点先把曲线粗略地描绘一下,如发现有不足之处,应及时补读。

3. 实验结尾:完成全部实验项目后,不要先急于拆除线路,应先检查实验数据有无遗漏或不合理的情况,经指导教师同意方可拆除线路,整理桌面,将借用之设备还给仪器管理室,并立即离开实验室。

4. 注意事项:在实验过程中应随时注意安全。只有当线路经过检查后才能接通电源,电源接通后若发现有异常情况,如声响、冒烟、焦臭、异常发热等应立即切断电源,保持现场并请指导教师检查,如有仪器设备损坏,需填写事故报告单,并分析事故原因。当电源接通进行正常实验时,不可用手触及带电部分,改接或拆除电路时必须先把电源断开。在电源电压较低时也应这样做,这不仅为了养成良好的实验习惯,而且为了防止带电改接造成电路短接而损坏设备或酿成人身触电事故。使用仪器仪表设备时必须首先了解其性能和使用方法。在使用时切勿违反操作规程乱拨乱调旋钮,尤须注意不得超过仪表的量程和设备的额定值。要爱护仪器仪表设备,搬动时轻拿轻放,保持设备的清洁。实验结束后设备应放归原处。

必须注意的是如果实验中用到调压器、电位器以及可变电阻器等设备时,在电源接通前,应将其调节位置放在使电路中的电流为最小的地方,然后才能接通电源,逐步调节电压、电流,使其缓慢上升,一发现有异常情况应立即切断电源。这样做的好处是万一线路有误或设备有隐患便于及时发现,限制故障范围,减少设备损失。

四、实验报告的编写

1. 基本要求:实验报告是实验工作的全面总结和最终成果,要能完整和真实地反映实验结果。编写实验报告也是一种基本训练,为将来编写科研论文打下基础,因此必须以严肃认真的态度来对待。报告要求书写端正、语句通顺、数据忠实、图表清晰、分析无误、说理清楚、结论正确和讨论深入。

实验报告纸采用统一规定的格式,报告的主要内容应包括:(1)实验目的;(2)实验任务;(3)所使用的实验设备及其规格、型号与编号等;(4)电路图;(5)经过整理的列成表格的数据及计算结果;(6)表示实验结果的曲线;(7)结论与分析讨论。在有些情况下,还应简述实验原理、列入实验的设计及计算公式等。

2. 实验数据曲线的绘制:按照实验数据,在坐标纸上绘制实验曲线,是实验工作的一项基本功。此项工作的优点在于形式简明直观,便于比较,显示数据中最高点或最低点、转折点、周期性以及间断点等。必须注意的是在曲线绘制过程中忽略某些基本原则,往往会使曲线失去其应有的作用,因此如何正确地绘制曲线是十分重要的。

(1) 图纸的选择:图纸通常有直角坐标、三角坐标、对数坐标、极坐标等,本实验课主要采用直角坐标纸。选择坐标纸的大小时要注意,既不应太小,影响原数据的有效数字;又不要太大,致使超过原数据的有效位数。

(2) 坐标的分度:坐标上以 X 轴代表自变数, Y 轴代表应变数,坐标的分度就是坐标轴上的每一格代表数值的大小。分度的选择应使图纸上的任一点的坐标容易读数。同时,坐标分度值不一定自零值起,在一组数据中,自变数与应变数均有最低值与最高值,可使低于最低值的某一整数作为起点,高于最高值的某一整数作为终点,以使所得曲线占满全幅坐标纸为合适。为了便于阅读,应将坐标轴的分度值标记出来。标记时,所用有效数字位数应与原数据有效数字位数相同。例如原数据为2.52,则分度值标记为2.50而不是2.5。此外,每个坐标轴必须注明名称和单位。

(3) 根据数据描点并作曲线:一般情况下把实验数据在坐标纸上用“○”、“*”或“△”等符号标出即可。但若要根据曲线作精确计算,还需把误差考虑在内,这里不予讨论。按照所描的点作曲线时应使用曲线板、曲线尺等作图仪器。描出的曲线应光滑匀整,不必强使曲线通过所有的点,但应与所有的点相接近,同时使未被曲线所经过的点大致均匀地分布在曲线的两侧。

(4) 注解说明:在每一个图形下面,应将曲线代表的意义清楚明确地写出,使阅读者能一目了然。

五、测量误差的基本概念

任何测量都必定伴有误差。由于许多原因,例如实验方法不合理、实验设备不完善、实验条件和环境不理想、实验人员的技术水平不高,以及对被测对象的了解不全面、不深刻、甚至不准确等,都可能使实验结果发生畸变,使未知被测量的实测值偏离它的真实值,即产生误差(实测值与真实值之差)。

随着人们对客观事物认识的深入、实验设备的改良、实验技术的提高,实验中的误差可以不断地减小。但人们却永远不能做到完全避免误差。因此实验的目标不是要使得误差趋近于零,或者小到不能再小的程度,这不仅办不到,而且为了进一步减小误差而化费大量劳动和代价,往往是不合算的。但是我们可在承认有误差的前提下,设法将误差控制在预定的范围内,并且通过数学处理的方法评定误差的大小。需要指出的是我们并不排除为减小误差应作的努力,但是误差的减小不可能是无限制的,从理论上说,减小误差的极限是达到被测对象丧失本身的定义时为止。例如测量电量,总不可能做到使误差小于一个电子所带的

电量;测量长度总不可能做到使误差小于量块材料的分子尺寸。

上面着重说明了误差存在的普遍性,为了对误差作进一步研究,以估计误差对测量结果的影响,必须分析研究测量误差产生的原因,对其进行分类并找出其规律性。

1. 测量误差的类型及其规律性

(1) 偶然误差和随机误差

在一定的实验条件下进行一系列的测量,各次测量的误差可大可小、可正可负,表面上不存在任何确定的规律性,深入研究则具有统计性的规律,这种误差称为随机误差,如果误差的平均值随测量次数的增加而趋于零,则这种均值为零的随机误差又称为偶然误差。随机误差的产生,一是物理现象本身具有随机性,例如导体中的电子除了电场方向的定向漂移之外,还存在着随机性的热骚动。二极管中单位时间内自阴极表面发射的电子数是在一个平均水平上随机起伏变化的,晶体管中的电流分配也叠加有随机的成分。二是由于实验技术水平的限制,总存在着实验者难于完全控制的某些偶然因素,使得各次测量的实验条件发生变化,例如电离层的随机干扰、太阳黑子的随机爆发、温度和湿度的瞬间变化等。

(2) 系统误差

在一定的实验条件下进行了一系列的测量,如果各次的误差的数值及符号或者总保持不变,或者按照确定的规律变化,则称为系统误差。

例如,用万用表测电阻,如果没有调整好零位,用它进行重复测量时,其实测值总比真实值偏高或偏低,这是仪器的系统误差中最常见的一类,又称为零位误差。

又如,标准电阻器的阻值并非严格不变,实际上随温度按下述关系变化,即

$$R_t = R_{20} + [10.5(t - 20) - 0.5(t - 20)^2] \times 10^{-5} \Omega。$$

由于温度变化 1°C , 将引起电阻值 0.0001Ω 的变化,因此在 $t = 21^\circ\text{C}$ 时如果只取 R_{20} 作为电阻值,实际上忽视了温度影响而造成了 0.0001Ω 的系统误差。

再如,实验者的习惯性视差也是产生系统误差的原因。

系统误差尽管在重复测量中或为常值、或为某些参数的函数,但严格言,不同次的测量中的系统误差也不是完全相同的。即以零位误差为例,不同次的重复测量中的零位误差也不尽相同。这表明系统误差本身也具有随机性,在重复测量中服从统计规律。

系统误差的发现和消除,对于实验工作具有头等重要的意义。

(3) 粗差(疏失误差)

由于读数错误、记录错误、违章操作仪器,实验过程中的错误、计算错误,都会使实验结果明显地偏离正确结果。由此形成的误差称作粗差。就数值而言,一般远远超过系统误差或随机误差。

例如将电压 220 V 读作 250 V 或记作 22 V , 将电流 9.6 A 记作 9.6 mA , 将电阻 96Ω 记作 69Ω 。又如实验过程中的突然短路或开路事故,实验者没有发觉,继续读数、记录等。

凡确实含有粗差的实验数据应该舍去不用,因为它是不可信的,所以粗差决定了测量的可取性。下面还要说明系统误差决定了测量的准确性,随机误差决定了测量的精密性。

(4) 绝对误差和相对误差

由于测量结果 x 与被测量的真实值 x_0 始终存在一个差值,即测量误差 $\Delta x = x - x_0$, 由于测量值 x 可能大于真实值 x_0 , 也可能小于 x_0 , 因此测量误差 Δx 可能是正值,也可能是

负值。若不论其符号正负,而以绝对值表示其大小,即 $|\Delta x| = |x - x_s|$ 被通常称为绝对误差。当然,测量的绝对误差愈大,测量的精确度愈低。绝对误差只能用以判断对同一测量值的测量精确度,如果对不同测量值的测量,它就较难判断其精确度的程度。例如,以测量电流为例,同样是 1 mA 的绝对误差,测量 1 A 电流就比测量 100 mA 电流的精确度高,虽然它们的绝对误差是一样的,由此就提出了相对误差的概念。

相对误差 e 是指绝对误差 Δx 和测量结果 x 的比值,即

$$e = \frac{\Delta x}{x} \approx \frac{\Delta x}{x_s}。$$

相对误差是一个没有单位的数值,它通常以百分数(%)表示。上例中

$$e_1 = \frac{1 \text{ mA}}{1 \text{ A}} = 10^{-3} = 0.1\%,$$

$$e_2 = \frac{1 \text{ mA}}{100 \text{ mA}} = 10^{-2} = 1\%。$$

显然,前者较后者精确度高得多。

被测量的真实值 x_s 是不知道的。但理论上可以证明,在无系统误差情况下,进行无限多次测量,取测量值之算术平均值,则随机误差将接近于零,而此算术平均值则逼近于真实值 x_s ,但事实上我们不可能进行无限多次测量,只能以有限次测量取测量的算术平均值作为被测量的真实值 x_s 的近似值,即

$$x_s \approx a = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{\sum x_i}{n}。$$

其中, $x_1, x_2, \cdots, x_n$ 代表各次的测量值, n 代表测量次数, a 代表算术平均值。

2. 精密度、准确度和精确度

在有关实验误差处理的文献中,读者经常会看到两个术语,即“准确度”和“精密度”。必须注意这两者的区别。准确度指的是实测值与真实值接近程度,精密度指的是多次重复测量中实验结果的分散程度。如果重复测量的结果相互很密集,即表示这组实验结果的精密度高。显然,重复测量的集结程度、或者说测量结果的精密度取决于偶然误差的作用。而实测值与真实值的接近程度、或者说测量值的准确度,取决于全部误差的作用。只有当实验结果的精密度较高时,也即是说偶然误差较小时,才可以说准确度取决于实验过程中的系统误差。这可以通过图 1 及图 2 说明。图 1 中, x_s 表示被测量的真实值, θ 表示实验过程中含有的系统误差, L' 和 L'' 分别表示实验结果的下限和上限。 L' 和 L'' 之间的一段区域说明实验结果的分散程度,也即是偶然误差的大小程度。由于存在系统误差 θ ,即使实验结果的精密度很高(L' 和 L'' 间的一段区间很窄),实验结果还是不正确的。如果不正确的程度超过一定的范围(即准确度很低),实验结果就没有意义了,因为它对真实值 x_s 的偏离太大。在图 1b 中,假设已经消除了系统误差的影响(即令 $\theta \approx 0$),图中 L' 和 L'' 对 x_s 的距离不可能相等,只要它在容许的范围内即可。图中 2λ 的区域越大,实验结果的不确定性越大,因此,一个精密的实验结果($\lambda = 0$)可以是不正确的(θ 很大,超过容许范围如图 1a;也可以是正确的($\theta = 0$,如图 1b),只有消除了系统误差以后,精密的测量才能获得正确的实验结果。一个精密度(用 λ 表述)和准确度(用 θ 描述)都高的测量,称为精确测量(取前者的“精”,后者的“确”),图 2 形象化地表示实验结果的准确度和精密度间的关系。图中小圆圈表示真实值,小黑点表示实测值。

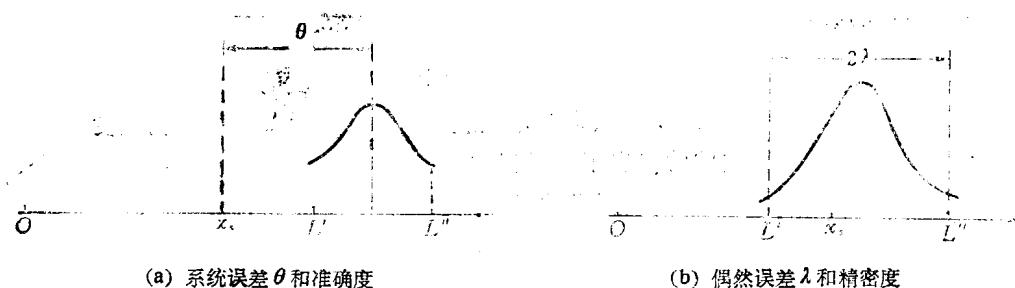


图1 准确度和精密度

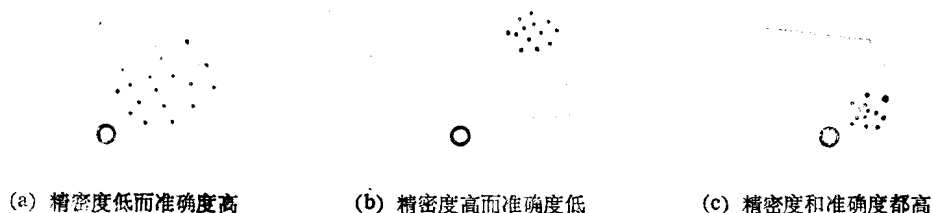


图2 实验结果与准确度、精密度的关系

实用上,除了用精密度描述偶然误差的大小程度、用准确度描述系统误差的大小程度外,还采用精确度来描述综合误差的大小程度。图2c中的情况,可谓精确度较高。总之,准确度高的精密度不一定高,精密度高准确度也不一定高,唯有精确度高,则才有精密度与准确度都高。在日常工作中,甚至在一些文献中常有这样的语病:

问:测量精确度多高?

答:测量精确度是2%。

或者有这样的提法:某个标准电阻器精确至0.1%,在前一回答中如果测量精确度是2%,无异乎误差高达98%,这显然不是答话者的原意。后一提法也具有同样的弊病。这两种说法的共同错误都在于说的都是精确程度,而给出的却是误差数字。读者知道,误差是精确度的对立面,任何一个有价值的实验结果,精确度总是问题的主要方面,而误差总是问题的次要方面,数值较小的一个方面。为了避免用多个数字说明精确度,可用精确度的对立面——误差来描述精确度,因此正确说法应该是:

问:测量精确度多高?

答:测量精确度不太高,其误差是2%。或者简单地回答:测量误差是2%。

关于标准电阻器的提法也应该改为:某个标准电阻器的误差是0.1%,或者:某个标准电阻器的准确级别是0.1级。

六、有效数字与计算规则

用仪表测量某一被测量值时,仪表的指针往往停留在两条刻度线之间。譬如用电压表测量电压值时,电压表的指针停留在4.2与4.3之间,这时电压表的读数就需凭目力和经验来估计一位数字,譬如估计为4.25 V。如果换一个人来读数,可能读为4.24 V或4.26 V,因此这估计出来的最后一位数字称为欠准数字,因为这一位上下可能有一个单位的出入,故这一位是不正确的,而其前面各数所代表的数量4.2则为准确知道的。通常测量时,一般均

可估计到最小刻度的十分位,故在记载一数量时,只应保留一位欠准数字,其余数字均为准知数字,我们称此时所记的数字均为有效数字,上例 4.25 为三位有效数字。

1. 有效数字的记录

在记录有效数字时应注意下列几点:

(1) 记录测量数值时,只保留一位欠准数字。

(2) 除非另有规定外,欠准数字表示末位上有 ± 1 个单位或下一位有 ± 5 个单位的误差。

(3) 有效数字的位数与小数点无关,例如 4567、4.567、45.67 都是四位有效数字。

(4) “0” 在数字之间或数字之末算作有效数字,但在数字之前不算作有效数字。例如 1.02、3.04、5.10 都是三位有效数字,但 0.012 只有二位有效数字,前面两个“0”不是有效数字,因为这些“0”只与所取的单位有关,而与测量的精确度无关。如果改用较小单位,则前面两个“0”就消失了。例如 0.012 m 改写为 1.2 cm 所表示的精确度是相同的,故都为二位有效数字。必须注意的是 4.20 与 4.2 的意义不同,4.20 为三位有效数字,末位“0”为欠准数字,也就表示测量介于 4.195 与 4.205 之间;4.2 为二位有效数字,末位“2”为欠准数字,也就是表示测量介于 4.15 与 4.25 之间。记录某一测量值时,若应记为 4.20 而记为 4.2,则所记数值,低于实际所能表达的精确度。例如一开始我们举的例子中,若电压表的指针停留在 4.2 处的刻度线上,则读数应记为 4.20 V 而不是 4.2 V。后面这种记法是学生记录实验数据时最容易犯的毛病。

(5) 遇有大数值或小数值时,如 $35000\ \Omega$,这时就很难说后面的“0”是有效数字还是非有效数字,因此必须用 10 的幂次前面的数字(大于 1 小于 10)代表有效数字,如 $3.5 \times 10^4\ \Omega$ 表示有效数字为二位, $3.50 \times 10^4\ \Omega$ 则有效数字为三位。而有效数字的位数取多少则取决于测量仪器的准确度。同理 $0.000567\ \text{A}$ 应记为 $5.67 \times 10^{-4}\ \text{A}$ 或 $0.567\ \text{mA}$ 。

(6) 表示误差时,在大多数情况下只取一位有效数字,最多二位有效数字,如 $\pm 1\%$ 、 $\pm 1.5\%$ 。

2. 有效数字的计算

计算有效数字,应遵循一定的法则,具体有以下几点:

(1) 当有效数字位数确定后,其余数字应一律舍弃。舍弃规则原则上是四舍五入,但有一种例外,即被舍弃的第一位数为 5,而 5 以后全为 0,而 5 前面的数又为偶数,则 5 及其后面的 0 舍弃后,5 前面的数不加 1。例 12.450 取三位有效数字为 12.4 而不是 12.5;若 5 前面的数为奇数,则加 1。例 12.350 取三位有效数字则为 12.4。

(2) 作加减运算时,各数所保留小数点后的位数,应与所给各数中小数点后位数最少的相同。例如将 12.450、13.1 与 1.5678 三个数目相加时,因 13.1 小数点后只有一位,因此其余二数都只取小数点后一位,然后相加,即 $12.4 + 13.1 + 1.6 = 27.1$ 。有时,相加数中比较多的数是小数点后二位以上,只有个别数为小数点后一位,则可以增加一位,即取各数小数点后二位相加。上例中为 $12.45 + 13.1 + 1.57 = 27.12$ 。注意保留更多位数不但毫无意义,而且会使人们对实验的准确程度作过高估计,这是不可取的。

(3) 作乘除运算时,各因子保留的位数以有效数字位数最少的为准,所得的积或商的有效位数也以此为准。例如,12.450、13.1 与 1.5678 三数相乘,有效数字位数最少为 13.1,由此得

$$12.4 \times 13.1 \times 1.57 = 255.$$

有时计算时也可多保留一位有效数字,即

$$12.45 \times 13.1 \times 1.568 = 255.7.$$

(4) 常数 π 、 e 、 $\sqrt{2}$ 、 $1/3$ 等有效数字的位数可认为无限制,需要几位就可取几位。

实验一 线性电阻器

一、实验目的

1. 学习测量线性定常电阻器特性曲线的方法。
2. 加深对线性元件的特性满足可加性和齐次性的理解。
3. 学习用图解法作出线性电阻器的串并联特性。

二、原理与说明

1. 一个二端元件,若其端压 $v(t)$ 和通过其中的电流 $i(t)$ 之间的关系,在任何时间,都可由 $v-i$ 平面(或 $i-v$ 平面)上的一条通过原点的直线来表示,则称具有这种特性曲线的二端元件为线性电阻器。如果该特性曲线还是一条斜率不随时间变化的且通过原点的直线,则称这种二端元件为线性定常电阻器。

2. 线性定常电阻器的电压瞬时值 $v(t)$ 和电流瞬时值 $i(t)$ 之间的关系符合于欧姆定律,即

$$v(t) = Ri(t) \quad \text{或} \quad i(t) = Gv(t).$$

式中, R 称为电阻, G 称为电导,都是与电压、电流和时间无关的常量。上式表明,对于线性定常电阻器, $v(t)$ 是 $i(t)$ 的线性函数(或 $i(t)$ 是 $v(t)$ 的线性函数),满足可加性和齐次性。即,若

$$v_1(t) = Ri_1(t),$$

$$v_2(t) = Ri_2(t),$$

则有

$$v(t) = R(i_1(t) + i_2(t)) = v_1(t) + v_2(t).$$

又若

$$v_1(t) = Ri_1(t),$$

则有

$$v(t) = R(\alpha i_1(t)) = \alpha v_1(t).$$

3. 如果电阻器的端压 $v(t)$ 是其电流 $i(t)$ 的单值函数,则称为电流控制型电阻器。如果电阻器的电流 $i(t)$ 是其端压 $v(t)$ 的单值函数,则称为电压控制型电阻器。如果上述两个条件同时满足,则该电阻器既是电流控制型,又是电压控制型。线性电阻器便是这样的电阻器。对于两个电流控制型电阻器的串联(如图 1.1 a 所示),因为流过的电流相同,所以串联后的

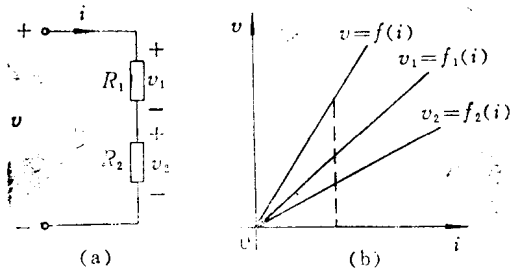


图 1.1 电阻器的串联及其特性曲线

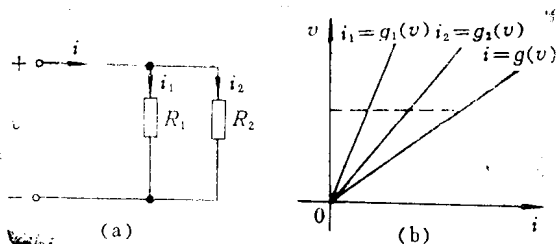


图 1.2 电阻器的并联及其特性曲线

$v-i$ 特性曲线可由 v_1-i 和 v_2-i 对应于不同的 i 叠加而得到 (对应于图 1.1 b 中的 $v=f(i)$ 特性曲线)。对于两个电压控制型电阻器的并联 (如图 1.2 a 所示), 因为加在两个电阻器的端电压相同, 所以并联后的 $v-i$ 特性曲线可由 $v-i_1$ 和 $v-i_2$ 对应于不同的 v 叠加而得到 (对应于图 1.2 b 中的 $i=g(v)$ 特性曲线)。

三、任务与步骤

1. 测出未知电阻器 R_1 和 R_2 的 $v-i$ 特性曲线。
2. 通过测量数据, 验证线性电阻器满足可加性与齐次性。
3. 将电阻器 R_1 和 R_2 分别串联与并联, 测出端压 v 与电流 i 的总伏安特性曲线。

四、注意事项

1. 测量时注意仪表的量程、极性及其接法。勿使接反或超过量程。
2. 记录所用仪表的内阻, 必要时考虑它们对实验结果带来的影响。

五、报告要求

1. 列表表示出任务 1 的实验数据, 并在方格纸上作出它们的 $v-i$ 特性曲线。
2. 由测量数据验证线性电阻器的 $v-i$ 关系满足可加性和齐次性。
3. 用作图法作出 R_1 与 R_2 串联和并联的 $v-i$ 特性曲线, 并与实验测量所得的 $v-i$ 特性曲线相比较。

六、思考题

1. 若电阻器的 $v-i$ 特性曲线为一根不通过坐标原点的直线, 它满足可加性与齐次性吗? 为什么?
2. 为什么对两个电阻器串联的总特性, 要强调它们是电流控制型, 而对两个电阻器并联后的总特性, 要强调它们是电压控制型的?
3. 非线性电阻器的 $v-i$ 特性曲线有何特征?

七、实验设备

线性定常电阻器	2 个
直流电流表	1 只
直流电压表	1 只
测量棒	1 付
单刀单掷开关	1 只
直流电源	1 台

实验二 非线性电阻器

一、实验目的

1. 熟悉非线性电阻器伏安特性的测定方法。
2. 通过实验加深对非线性电阻器特性的了解。
3. 结合对稳压管电路的研究,熟悉非线性电路的计算及其应用。

二、原理与说明

1. 非线性电阻器的伏安特性是一条曲线 (或是一条不通过原点的直线)。实际元件多数都是非线性的,线性往往是近似的、有条件的。常见的非线性电阻器有热敏电阻、二极管、稳压管等,它们的 $v-i$ 特性曲线如图 2.1、2.2 和 2.3 所示。

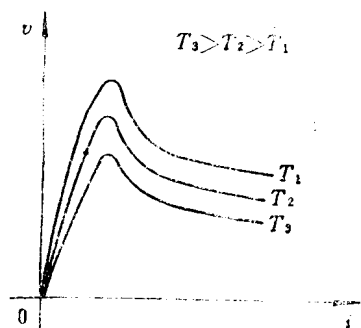


图 2.1 热敏电阻伏安特性

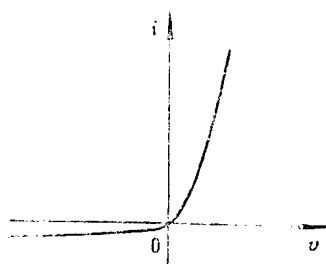


图 2.2 二极管伏安特性

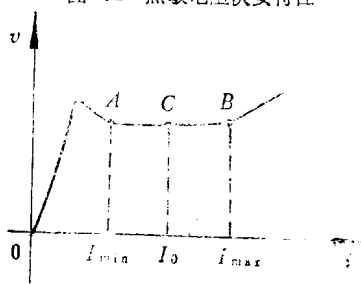


图 2.3 稳压管伏安特性

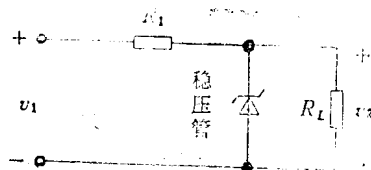


图 2.4 简单稳压电路

2. 不同的非线性电阻器伏安特性使它们在实际中得到不同的应用。例如利用热敏电阻器工作在小电流的直线性区段,阻值将随环境温度的变化而不同。利用二极管正向、反向伏安特性的差异,可构成整流器和检波器。利用稳压管伏安特性中某区段与 i 轴近于平行的特性,可构成稳压电路。

3. 稳压管是一个电流控制型的非线性电阻器,可根据负载电压的要求来选择合适的稳压管。如果将稳压管与负载电阻 R_L 并联接成如图 2.4 所示简单稳压电路,则能在一定范