



电工电子

Electrical & Electronic
Experimental Course

郎 朗 主编

实验教程

● 合肥工业大学出版社

电工电子实验教程

主 编 郎 朗

编 委 崔 祎 陶秀风

李永明 陈 欣

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验教程/郎朗主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2010.1

ISBN 978-7-5650-0138-3

I. 电… II. 郎… III. ①电工技术—实验—教材②电子技术—实验—教材
IV. TM-33 TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 221061 号

电工电子实验教程

主 编 郎 朗

责任编辑 陆向军

出 版	合肥工业大学出版社	版 次	2010 年 1 月第 1 版
地 址	合肥市屯溪路 193 号	印 次	2010 年 1 月第 1 次印刷
邮 编	230009	开 本	787 毫米×1092 毫米 1/16
电 话	总编室:0551-2903038 发行部:0551-2903198	印 张	11
网 址	www.hfutpress.com.cn	字 数	270 千字
E-mail	press@hfutpress.com.cn	印 刷	合肥学苑印务有限公司
		发 行	全国新华书店

ISBN 978-7-5650-0138-3

定价:18.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。

前 言

《电工电子实验教程》是高等工科院校实践性很强的一门技术基础课程。为了培养高素质的专业技术人才,在理论学习的同时,必须十分重视和加强实践性教学环节,使学生获得电工技术和电子技术的基本知识、基本技能和创新意识的训练,从而为后续课程的学习以及从事有关工程技术和科学研究工作打下坚实的基础。

在电子技术飞速发展、广泛应用的今天,实验显得格外重要。电子技术人员在实际工作中,分析器件、电路的工作原理,验证器件、电路的功能,对电路进行调试、分析,排除故障,测试器件、电路的性能指标,设计、制作各种实用电路的样机等,都离不开实验。同时通过实验还能培养学生勤奋、进取、不断追求的精神和严肃认真、踏实的工作作风。

本书是编者在以往电工电子系列实验讲义的基础上,为适应当前教学改革的需要,总结了近几年实践教学的经验编写的。本书涉及电路、模拟电子技术、数字电子技术、现代电子技术、三相异步电动机的继电接触控制、可编程控制器等知识,内容较为丰富充实、系统全面,实验编排科学合理,学生有较大的选择空间。每部分实验中既有基础性的,又有综合和设计性的。

本书共分6章。第1章注重对学生电工电子实验基础知识的培养,介绍了测量的误差分析、数据处理、实验故障的排除、实验步骤和实验要求。第2章主要是常用电子仪器仪表的简介,这些测量仪表基本上可以测量课程中所涉及的电路参数,也可以满足学生自主地扩展各种实验的需要。这两章的内容要求学生结合实验自己阅读掌握,为实验做好基础知识的铺垫。第3~6章是电工基础、模拟电子、数字电子三部分共37个实验,基本覆盖了课程的内容,由浅到深、由易到难。实验既紧密联系基本理论,又开拓了基本理论的应用,众多的实验内容可为因材施教提供可选的方式。对附录的内容,要求学生结合实验,掌握其基本的使用方法;常用电子元器件的型号、特性参数及引脚排列等内容也要求学生有所了解。

本书的第1章和第2章由郎朗编写,第3章由李永明、陶秀凤编写,第4章由陈欣编写,第5章和第6章由崔祎编写。全书由郎朗统稿,陈永煌正高级工程师审阅了全书并提出了宝贵的修改意见。在编写过程中还得到了安徽工程科技学院电气工程系其他一些教师和实验人员的大力支持与关心,在此向他们表示衷心的感谢。本书的编写除了参考多年来摸索的教学经验外,还参阅了大量的参考资料,在此一并向这些作者表示诚挚的谢意。

本书可作为高等院校非电类专业电工学、电工与电子技术课程的配套实验教材,也可供工程技术人员参考。

由于作者水平有限和时间仓促,书中难免会有一些错误及不妥之处,敬请使用本书的教师、同学和各位读者指正,提出改进意见。

编 者

2010年1月

目 录

第 1 章 实验技术

1.1 测量误差及误差分析	(1)
1.2 实验数据处理	(4)
1.3 实验要求及实验故障的排除	(9)
1.4 实验报告的编写和要求	(12)

第 2 章 常用电子仪器仪表的简介

2.1 万用表	(14)
2.2 示波器	(19)
2.3 函数信号发生器	(32)
2.4 交流毫伏表	(38)
2.5 功率表	(42)

第 3 章 电工技术实验

3.1 电位、电压的测定及电路电位图的绘制	(45)
3.2 基尔霍夫定律	(47)
3.3 叠加原理	(49)
3.4 有源二端网络等效参数的测定	(52)
3.5 交流电路等效参数的测量	(56)
3.6 功率因数的提高	(59)
3.7 RC 一阶电路的响应测试	(62)
3.8 RLC 串联谐振电路	(65)
3.9 三相电路电压、电流、功率的测量	(68)
3.10 单相电度表的校验	(72)
3.11 三相异步电动机点动控制和自锁控制	(75)
3.12 三相异步电机联锁正反转控制	(79)
3.13 PLC 在液体混合控制中的应用	(82)
3.14 PLC 在十字路口交通灯控制中的应用	(85)

第 4 章 模拟电子技术实验

4.1 常用电子仪器使用	(89)
--------------------	------

4.2	晶体管共射放大电路静态与动态参数测试	(92)
4.3	差动放大电路	(94)
4.4	OTL 功率放大电路	(96)
4.5	负反馈放大器	(98)
4.6	集成运算放大器的应用:基本运算电路	(100)
4.7	RC 正弦波振荡电路	(103)
4.8	整流滤波与并联稳压电路	(104)

第 5 章 数字电子技术实验

5.1	门电路功能测试与应用	(107)
5.2	集成逻辑门电路的参数测试	(109)
5.3	译码器及其应用	(112)
5.4	数据选择器及其应用	(115)
5.5	触发器功能测试与应用	(117)
5.6	移位寄存器及其应用	(119)
5.7	中规模计数器及其应用	(121)
5.8	分频器的设计	(123)
5.9	脉冲与整形电路	(124)
5.10	555 定时器的应用	(126)

第 6 章 现代电子技术

6.1	MAX+plus II 软件及应用	(129)
6.2	简单逻辑电路练习	(143)
6.3	组合逻辑电路的设计	(145)
6.4	任意进制计数器	(149)
6.5	格雷码发生器及节拍发生器	(151)
6.6	高楼电梯自动控制电路的设计	(152)
6.7	交通灯控制器的设计	(153)

附录

附录 A	常用电阻器、电容器介绍	(155)
附录 B	常用半导体二极管、三极管介绍	(159)
附录 C	常用集成运算放大器参数及引脚排列	(162)
附录 D	集成芯片外引脚图	(164)

参考文献	(169)
------------	-------

第1章 实验技术

1.1 测量误差及误差分析

在任何测量中,由于各种主观和客观因素的影响,使得测量结果不可能完全等于被测量的实际值,而只是它的近似值,我们把测量值与被测量的实际值之差叫做测量误差。

1.1.1 测量误差的分类

根据测量误差的性质和特征,测量误差可分为系统误差、偶然误差和疏忽误差。

1. 系统误差

系统误差是由于仪表的不完善、使用不恰当、测量方法采用了近似公式或外界因素(如温度、电场、磁场)等原因引起的。它遵循一定的规律变化或保持不变。按照误差产生的原因又可分为:

(1)基本误差:基本误差是仪表在正常使用条件下,由于结构上和制造中的缺陷而产生的误差,它为仪表所固有。其主要原因是仪表的活动部分在轴承中的摩擦、游丝的永久变形、零件位置安装不正确、刻度不准确等等。

(2)附加误差:它是由于外界因素的变化而产生的。主要原因是仪表没有在正常条件下使用,例如温度和磁场的变化、放置方法不同等。

(3)方法误差:因测量方法不完善或使用仪表的人在读数时因个人习惯不同而造成读数不准确,间接测量时近似计算公式等等,都可能造成误差,所有这些误差都叫做方法误差。

2. 偶然误差

这种误差是由于某些偶然因素所造成的。这些因素产生的原因或是目前还不知道,或者还无法掌握。例如用同一电桥对同一电阻进行多次测量,其结果都可能不一样,有的偏大,有的偏小,看起来好像没有什么规律,但把多次测量结果综合起来看,仍是有规律的,由数学理论可知它符合统计规律。

3. 疏忽误差

疏忽误差是由于测量中的疏忽所引起的。由于疏忽所引起的测量结果一般都严重偏离被测量的实际值。如读数错误、记录错误、计算错误或操作方法错误等所造成的误差。

1.1.2 减小或消除误差的方法

测量的目的就是要尽可能求出被测量的实际值,为达到此目的必须设法减小或消除测量误差。

1. 减小系统误差的方法

(1) 对仪表进行校正,在测量中引用更正值,减小基本误差。

(2) 按照仪表所规定的条件使用,减小方法误差。

(3) 采用替代法测量。例如,在保持仪表读数不变的条件下,用等值的已知量去代替被测量,这样的测量结果就和测量仪表的误差、外界条件的影响无关。具体地说,比如用电桥测量电阻,先用电桥测量被测电阻,调节桥臂电阻使电桥平衡。然后以标准电阻箱代替被测电阻,调节标准电阻使电桥平衡,这时标准电阻箱上的读数就是被测电阻的阻值。此方法广泛应用于测量元件参数。

2. 减小偶然误差的方法

从统计学规律看,把同一测量重复多次,取其算术平均值作为被测量的值,即可减小偶然误差。测量次数越多,偶然误差越小;测量次数趋于无穷大,则偶然误差趋于零。

3. 消除疏忽误差的方法

由于疏忽误差是明显的错误,比较容易发现,测量后要进行详细的分析。凡是由于疏忽所测量的数据都应抛弃,因为它是不可信的。这种误差是应该避免的。

1.1.3 测量误差的表示方法

1. 绝对误差

测量值 A_x 和被测量的实际值 A_0 之间的差值叫做绝对误差,用 Δ 表示,即

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1-1)$$

在计算时,可用标准表的指示值作为被测量的实际值。

【例 1】 用一只标准电压表来鉴定甲、乙两只电压表时,读得标准表的指示值为 70V。甲表读数为 71V,乙表读数为 69.5V,求它们的绝对误差。

解:甲表的绝对误差 $\Delta_{\text{甲}} = A_x - A_0 = 71 - 70 = +1(\text{V})$

乙表的绝对误差 $\Delta_{\text{乙}} = A_x - A_0 = 69.5 - 70 = -0.5(\text{V})$

可见,绝对误差有正负之分,正的表示测量值比实际值偏大,负的表示测量值比实际值偏小。另外,甲表偏离实际值较大,乙表偏离实际值较小,说明乙表的测量值比甲表准确。

所谓准确度,就是与实际值接近的程度。与实际值越接近,准确度越高。从而可以看出,仪表的准确度越高,测量结果越准确。

2. 相对误差

在测量不同大小的被测量时,不能简单地用绝对误差来判断其准确度,例如,甲表测 100V 电压时,绝对误差 $\Delta_{\text{甲}} = +1\text{V}$,乙表测 10V 电压时,绝对误差 $\Delta_{\text{乙}} = +0.5\text{V}$,从绝对误差来看,甲表绝对误差大于乙表。但从仪表误差对测量结果的相对影响来看,却正好相反,因为甲表的误差只占被测量的 1%,而乙表的误差却占被测量的 5%,即乙表误差对测量结果的相对影响更大,所以在工程上通常采用相对误差来衡量测量结果的准确度。相对误差就是绝对误差与被测量的实际值之比,通常用百分数来表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

【例2】已知甲表测100V电压时,其绝对误差为 $\Delta_{\text{甲}} = +2\text{V}$,乙表测20V电压时,其绝对误差为 $\Delta_{\text{乙}} = -1\text{V}$,试求它们的相对误差。

解:甲表的相对误差 $\gamma_{\text{甲}} = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% = \frac{+2}{100} \times 100\% = +2\%$

乙表的相对误差 $\gamma_{\text{乙}} = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% = \frac{-1}{20} \times 100\% = -5\%$

可以看出,甲表的准确度高于乙表的准确度。

1.1.4 仪表的准确度等级

仪表的基本误差是它本身所固有的。基本误差越小,测量所引起的这一方面的误差就越小,测量就越准确。

所谓仪表的准确度就是仪表在正常工作条件下,仪表全量程范围内的最大绝对误差 $|\Delta m|$ 与该量程 (Am) 之比的百分数值,即

$$\pm K = \frac{|\Delta m|}{Am} \times 100\% \quad (1-3)$$

按国家标准规定,仪表的准确度共分为7级,如表1-1-1所示。

表 1-1-1 仪表的准确度分级

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5
基本误差(%)	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5

【例3】用0.5级、0~10V的电压表和0.2级、0~100V的电压表测量8V电压,问哪一块表测量的准确度高?

解:用0.5级、0~10V电压表测量,可能出现的最大绝对误差为:

$$\Delta m = \pm K \times Am = \pm 0.5\% \times 10 = \pm 0.05(\text{V})$$

可能出现的最大相对误差:

$$\gamma_m = \frac{\Delta m}{A_0} \times 100\% = \frac{\pm 0.05}{8} \times 100\% = \pm 0.625\%$$

用0.2级、0~100V电压表测量,可能出现的最大绝对误差为:

$$\Delta m = \pm K \times Am = \pm 0.2\% \times 100 = \pm 0.2(\text{V})$$

可能出现的最大相对误差:

$$\gamma_m = \frac{\Delta m}{A_0} \times 100\% = \frac{\pm 0.2}{8} \times 100\% = \pm 2.5\%$$

从计算结果可以看出,用0.5级、0~10V的电压表测量8V电压的准确度高。

由此看出,测量的准确度既取决于仪表的准确度,又取决于仪表的量程。被测量的值越接近满量程,测量准确度就越高。因而在测量时,除正确选择仪表的准确度等级外,还应

正确选择仪表的量程。通常被测量值为满量程的 $2/3$ 以上较为合适。

1.2 实验数据处理

实验中对所测量的值进行记录、计算、分析和整理,从中得到最后的实验结果,并找出实验的规律,这个过程称为数据处理。

在测量和数字计算中,用几位数字来表示测量或计算结果是很重要的,它涉及有效数字和计算规则的问题。

1.2.1 测量结果的记录与运算

任何测量总存在误差,所以一个完整的测量结果记录应包括测量数据和误差两部分,这样才能从测量结果中得知数据的可靠性。

1. 测量数据的记录

测量数据的记录方法应是:所记录的数据中,除末位数位是估计数字外,其他各位数字都应是确定的数。这样一个数既反应了被测量的大小,又与测量误差出现的位数一致。所以作为一个测量数据,即使“零”出现在末尾,也不能不写。如 3.70 为三位有效数字的测量数据,末位的零写上,意味着这个“零”是估计数字,而前面的“7”是确定数字,若将“零”舍去不写,则该数变为 3.7 ,意味着“7”是估计数字。

2. 测量数据的运算

根据上述道理,对几个数据进行运算时,运算结果只能保留参加运算的所有测试数据中小数点后面位数最少的一位。例如:

$$3.1 \times 5.72 \times 0.384 = 6.809$$

运算结果应记为 6.8 。它与参加运算的数 3.1 小数点后面的位数一样多。

3. 测量结果的图解分析

一个测量结果,除了用数的大小表示外,还经常用各种曲线来表示。所谓图解分析,就是研究如何根据实验结果作出一条尽可能反映真实情况的曲线(包括直线),并对该曲线进行定量分析。如频率变化时,放大器的输出电压随频率变化而变化的情况,可用频率特性曲线表示。图解分析两个(或几个)物理量的关系时,比用数字、公式表示更形象、直观。

1.2.2 测量结果误差的估计

在任何测量过程中,误差总是存在的。因此在测量工作完成以后,不仅要确定测量结果的数值,而且还要确定测量结果的准确程度。在工程测量中,由于疏忽误差是一个错误的测量结果,当然应当舍去,因而在误差估算中不加以考虑。在测量中我们所取的测量结果一般都是多次测量的算术平均值,偶然误差与系统误差相比较,偶然误差对测量结果的影响很小,故可略去不计,所以在工程测量中只考虑系统误差的影响。下面分别讨论直接测量和间接测量中系统误差的估算方法。

1. 直接测量中系统误差的估算方法

系统误差包含仪表的基本误差、附加误差和方法误差,所以测量中的最大误差等于上述误差之和。

(1)仪表基本误差的估算方法:根据仪表的准确度等级和所选的量程来计算。设在测量中所使用的仪表准确度为 α 级,选用的量程为 A_m ,测量的读数为 A_x ,则测量结果可能出现的最大相对误差为:

$$\gamma_m = \pm \frac{\alpha \cdot A_m}{A_x} \times 100\% \quad (1-4)$$

这里需要说明的是,前面我们说的相对误差是指绝对误差与被测量的实际值之比。这里我们用的是测量的读数 A_x ,而不是被测量的实际值 A_0 。由于被测量的实际值和仪表的指示值相差不大,所以在工程上当不能确定实际值 A_0 时,常用仪表的指示值 A_x 近似地代替 A_0 进行计算。

【例4】现用一电流表测量电流,仪表的准确度为1.5级,量程为30A,其读数为20A,试求由于仪表结构不完善所引起的基基本误差。

解:利用式(1-4)可求得:

$$\gamma_m = \pm \frac{\alpha \cdot A_m}{A_x} \times 100\% = \pm \frac{1.5\% \times 30}{20} \times 100\% = \pm 2.25\%$$

(2)仪表附加误差的估算方法:由于附加误差起源于工作条件的变化,所以保证仪表在规定的正常条件下使用,附加误差即可消除。如果仪表的使用不符合所规定的正常条件,则所引起的附加误差按表1-2-1计算。

表 1-2-1 根据工作条件的变化计算附加误差

工作条件的变化	变 化 规 定	附加误差
工作位置 倾斜角	自规定的工作位置任一方向倾斜角(0.5~1.0级)变化 20°	等于基本误差
工作温度	环境温度自额定温度变化,每变化 10°C	
工作频率	自额定频率变化 $\pm 10\%$ (对单相相位表为 $\pm 2\%$,对单相无功功率表为 $\pm 5\%$)	
工作电压	工作电压自额定值偏离 $\pm 10\%$ (对比率表)、 $\pm 15\%$ (对整流式仪表)、 $\pm 20\%$ (对其他仪表)	
辅助电源的 电压和功率	电压自额定值偏离 $\pm 10\%$,频率自额定值偏离 $\pm 2\%$	等于基本误差的一半

例如在例4中,若规定的工作温度为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$,而测量时的工作温度为 30°C ,可见超出了所规定的温度范围,但小于 10°C 。由表1-2-1可知,在测量中所出现的附加误差等于

基本误差,即 $\pm 2.25\%$ 。因而在这种情况下测量,总的最大误差为上述两种误差之和,即 $\pm (2.25 + 2.25)\% = \pm 4.5\%$ 。

(3)方法误差的估算方法:方法误差是由于测量方法不完善或因计算公式近似而引起的。如果需要考虑时,应根据具体情况进行分析计算。

2. 间接测量中系统误差的估算方法

在间接测量中,被测量是通过直接测量值的计算而得到的,因而测量误差与直接测量值的误差有关。

现假设被测量值 y 与直接测量值 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 满足关系式:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1-5)$$

则被测量值 y 的测量结果所含绝对误差等于该函数的全微分,即:

$$dy = \frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} dx_n \quad (1-6)$$

其相对误差为:

$$\gamma_y = \frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \frac{dx_1}{y} + \frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \frac{dx_2}{y} + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \cdot \frac{dx_n}{y} \quad (1-7)$$

式中, $dx_1, dx_2, \dots, dx_n$ 分别为各直接测量值 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的测量所含的绝对误差。下面讨论常用的几种典型情况。

(1)被测量为直接测量值之和。

$$\text{设} \quad y = Ax_1 + Bx_2 \quad (1-8)$$

$$\text{则} \quad dy = A dx_1 + B dx_2 \quad (1-9)$$

$$\text{所以} \quad \gamma_y = A \frac{dx_1}{y} + B \frac{dx_2}{y} = A \frac{x_1}{y} \cdot \frac{dx_1}{x_1} + B \frac{x_2}{y} \cdot \frac{dx_2}{x_2} \quad (1-10)$$

$$\gamma_y = A \frac{x_1}{y} \cdot \gamma_{x_1} + B \frac{x_2}{y} \cdot \gamma_{x_2} \quad (1-11)$$

式中, $\gamma_{x_1}, \gamma_{x_2}$ 分别为直接测量值 x_1, x_2 的相对误差。

在最不利的情况下,最大误差将发生在各直接测量的误差符号相同时,所以估算误差时,对上两式各项均取绝对值,即

$$|dy| = |A dx_1| + |B dx_2| \quad (1-12)$$

$$|\gamma_y| = \left| A \frac{x_1}{y} \gamma_{x_1} \right| + \left| B \frac{x_2}{y} \gamma_{x_2} \right| \quad (1-13)$$

(2)被测量为直接测量值之差。设 $y = Ax_1 - Bx_2$

$$\text{则绝对误差为: } dy = A dx_1 - B dx_2 \quad (1-14)$$

$$\text{相对误差为: } \gamma_y = A \frac{x_1}{y} \cdot \gamma_{x_1} - B \frac{x_2}{y} \cdot \gamma_{x_2} \quad (1-15)$$

从最严重的情况考虑,最大误差发生在两直接测量误差符号相反时,其数值用绝对值表示:

$$|dy| = |Adx_1| + |Bdx_2| \quad (1-16)$$

$$|\gamma_y| = \left| A \frac{x_1}{y} \gamma_{x_1} \right| + \left| B \frac{x_2}{y} \gamma_{x_2} \right| \quad (1-17)$$

(3)被测量为直接测量值的积或商。设

$$y = x_1^n \times x_2^m \times x_3^p \quad (1-18)$$

n, m, p 为任意常数。对上式两边取对数,

$$\ln y = n \ln x_1 + m \ln x_2 + p \ln x_3 \quad (1-19)$$

$$\text{再微分得: } \frac{dy}{y} = n \frac{dx_1}{x_1} + m \frac{dx_2}{x_2} + p \frac{dx_3}{x_3} \quad (1-20)$$

$$\text{故相对误差: } |\gamma_y| = |n\gamma_{x_1}| + |m\gamma_{x_2}| + |p\gamma_{x_3}| \quad (1-21)$$

这里需要说明,指数越高,对误差的影响越大,直接测量时所用仪表的准确度等级应选高一些。

通过上面的分析可以看出,间接测量的准确度较低。所以能够直接测量的就不要采用间接测量。如果条件不允许,非采用间接测量不可时,对所需的直接测量以及它们与被测量之间的关系,还有所用的仪表准确度等级、量程范围等问题,都要认真选择,否则,即使仪表准确度等级很高,也可能出现不可信赖的测量结果。

1.2.3 有效数字

1. 有效数字的概念

在测量中,当读取数据时除末位数字欠准确外(末位数字是估计出来的,因为指针指在两条刻度线之间,读数是不确定的),其余各位数字都是准确可靠的。例如:用一块 50V 的电压表(每小格为 1V)测量电压时,指针指在 32V 和 33V 之间,可读取 32.4V,其中数字“32”是准确可靠的,称为可靠数字,而最后一位“4”是估计出来的不可靠数字,称为欠准数字,两者结合起来称为有效数字。对于“32.4”这个数字,有效数字是三位。

对可疑数字的解释,目前有两种,在无特殊规定的情况下,允许被测量的实际值在可疑数字位置上有 ± 0.5 或 ± 1 个单位的变动。比如,32.4V 所代表的电压,可以认为它的实际值在 32.35~32.45V 之间,也可以认为实际值在 32.3~32.5V 之间。

有效数字位数越多,测量准确度越高。如果条件允许的话,能够读成“32.40”,就不应记为“32.4”,否则降低了测量准确度。反过来,如果只能读作“32.4”,就不应记为“32.40”,后者从表面来看,提高了测量准确度,但是实际上小数点后面的第二位是不准确的,因为小数点后第一位就是估计出来的可疑数字,第二位就没有什么意义了。在读取和处理数据时,有效数字的位数要合理选择,使所取的有效数字的位数与实际测量的准确度一致。

2. 有效数字的正确表示法

(1) 记录测量数值时,只允许保留一位可疑数字。

(2) 数字“0”在数中可能是有效数字,也可能不是有效数字。例如 0.0415kV,前面的两个“0”不是有效数字,它的有效数字是三位。0.0415kV 可以写成 41.5V,它的有效数字仍然是三位,可见前面的两个“0”仅与所用单位有关。又如 30.0V 有效数字是三位,后面两个“0”都是有效数字。必须注意末位的“0”不能随意增减,它是由测量设备的准确度来决定的。

(3) 大数值与小数值要用幂的乘积形式来表示。例如,测得其电阻的阻值是 15000Ω ,有效数字为三位,则记为 $1.50 \times 10^4\Omega$ 或 $150 \times 10^2\Omega$,不能记为 15000Ω 。

(4) 在计算中,常数(如 π, e 等)及乘子(如 $\sqrt{2}, \frac{1}{2}$ 等)的有效数字的位数没有限制,需要几位就取几位。

3. 有效数字的修约规则

当有效数字位数确定后,多余的位数应一律按四舍五入的规则舍去。

4. 有效数字的运算规则

处理数据时,常常需要运算一些准确度不相等的数值,按照一定的规则计算,既可以提高计算速度,也不因数字过少而影响计算结果的准确度。常用规则如下:

(1) 加法运算

参加运算的各数所保留的小数点后的位数,一般应与各数中小数点后位数最少的数相同。

例如 13.6、0.056 和 1.666 相加,小数点后最少位数是一位(13.6),所以应将其余二位数修约到小数点后一位数,然后相加,即

$$13.6 + 0.1 + 1.7 = 15.4$$

为了减少计算误差,也可在修约时多保留一位小数,即

$$13.6 + 0.06 + 1.67 = 15.33$$

其结果应为 15.3。

(2) 减法运算

参加运算的数据,数值相差较大时,运算规则与加法运算相同。如果两数相差很小,运算后将失去若干位有效数字,致使测量结果误差很大,这是要避免的。解决的办法是尽量采用其他测量方法。

(3) 乘除运算

乘除运算时,各因子及计算结果所保留的位数,一般以百分误差最大或有效数字位数最少的项为准,不考虑小数点的位置。例如 0.12、1.057 和 23.41 相乘,有效数字最少的是二位(0.12),则

$$0.12 \times 1.1 \times 23 = 3.036$$

其结果为 3.0。

同样,为了减少计算误差,也可多保留一位有效数字,即

$$0.12 \times 1.06 \times 23.4 = 2.97648$$

其结果为 3.0。

(4) 乘方及开方运算

运算结果比原数多保留一位有效数字。例如

$$(25.6)^2 = 655.4$$

$$\sqrt{4.8} = 2.19$$

(5) 对数运算

取对数前后的有效数字位数相等。

例如: $\ln 106 = 4.66$

$$\log 7.564 = 0.8788$$

1.3 实验要求及实验故障的排除

1.3.1 实验要求

一个成功的实验,必须要在实验开始前拟定一个切实可行的步骤,这样才可以在做实验的时候不慌不忙,事半功倍,否则就会在实验时手忙脚乱,既会影响到实验结果的准确性,而且很有可能会造成危险。

1. 实验前

实验前学生应根据实验内容与要求,对相关知识进行复习和回顾,认真研读实验手册内容,熟悉实验内容、重点与难点,了解实验步骤,写好实验预习报告,以便在实验时能够较快地进入实验状态。

2. 实验过程

实验中学生要勇于实践,独立思考,充分发挥主观能动性,按教学计划规定要求完成实验教学内容。设备布局要合理,接线正确,实验操作按照规范、准确、清楚、及时的原则,有步骤安全可靠地进行,并正确地读取数据。

3. 实验后

实验结束后,要对每项实验数据进行整理,写出实验报告。实验报告写作要求文字叙述精炼、通顺,层次分明,对相关专业问题进行有益探讨,总结实验收获与不足。

1.3.2 实验故障的排除

1. 电路故障的分析

电子电路丧失规定功能的现象称为故障。在实验过程中,检查、分析与排除故障是实

验的重要内容之一。分析和处理故障的过程,就是从故障现象出发,通过反复测试,做出分析判断,逐步找出问题的过程。首先要通过对原理图的分析,把系统分成不同性能的模块,通过逐一测量找出故障模块,然后对故障模块内部加以测量,找出故障,即从系统或模块的预期功能出发,通过实际测量,确定其功能是否正常来判断它是否存在故障,然后逐层深入,进而找出故障原因并加以排除。

诊断和排除故障的能力,是实际工作能力的一个重要方面。对于初学者来说,注意积累这方面的经验是非常重要的。为此,对遇到的每一个故障都应从其现象、故障原因、排除方法、经验教训等几个方面进行总结,并做必要的记录。通过处理故障,可以提高分析、解决问题的能力。

电子电路的故障可根据其特征作如下分类:

(1)破坏性故障和非破坏性故障。破坏性故障最终导致某些元器件的损坏而使电路不能工作。非破坏性故障与其相反,不伴随有烟、味、声、热等现象,也不会导致元器件的损坏。

(2)永久性故障和间歇性故障。永久性故障的特征是在故障发生后,若不排除,则电路永远不能再正常工作了。间歇性故障则表现为时有时无,即电路有时能正常工作,有时又不能正常工作。接触不良是造成这种故障的主要原因。

(3)软故障和硬故障。软故障又称渐变故障,它往往表现为电路性能逐渐变坏。元器件的特性参数随时间和环境的影响缓慢变化是造成这种故障的主要原因。硬故障又称突变故障,它往往是由于元器件的特性参数突然出现很大偏差(短路、开路等)而造成的。

(4)早期故障和后期故障。早期故障是由设计、制作的缺陷等原因造成的,在使用初期发生的故障。后期故障又称损耗故障,是由元器件的老化、变质等原因造成的,在使用后期发生的故障。

(5)独立故障和非独立故障。独立故障是指不是由其他元器件故障而造成的故障。非独立故障是指由其他元器件故障而造成的故障。区分这两类故障,可以使我们找到真正的故障原因,避免走弯路。

(6)单故障和多故障。单故障是指在某一时刻,故障只涉及一个元器件。这种故障常见于已工作较长时间的电路。多故障是指与几个元器件有关的故障,常见于刚刚制作好的电路。

以上各类故障均是就电子电路本身而言的,没有涉及外电路。事实上,在对一个电路进行调试时,还需要外加一些电子仪器(如直流稳压电源、信号发生器、毫伏表、示波器、频率计等)。有时出现故障并不是电路本身有问题,而是由于外接电路的连接错误、测试条件不当、仪器使用不当等原因造成的。对于初学者来说,这种情况是经常发生的。另一方面,由于电路故障而造成仪器损坏的情况也是时有发生。

2. 电路故障的诊断和排除

由于电子电路的多样性和故障的复杂性,因此电子电路故障的诊断也就没有一整套系统的方法。但一般来说可以通过一些通常的方法,按照如下一些原则和步骤对电子电路有无故障进行诊断。

(1)及时发现故障。通电后,应仔细观察电路与仪器的工作情况(特别是对初次通电的实验电路)。应注意电路与仪器有无异常现象,如烧焦气味、冒烟、异常响声等。

(2)发现故障后,应观察故障现象,并迅速切断电源。对故障现象的观察要迅速、仔细,要抓住故障现象的特征,以便为下一步分析故障原因提供准确的信息。迅速切断电源是为了避免某些故障进一步扩大而造成更大的损失。

(3)分析故障现象,确定检查故障的方法。根据故障现象确定是破坏性故障还是非破坏性故障。对于破坏性故障,一般不宜采用通电检查的方式,而应在断电的情况下进行检查。对于非破坏性故障,则可以采用通电检查。

(4)分析故障原因,查处故障部位。根据故障现象,应用理论知识和实际经验来分析产生故障的可能原因,通过检查进行验证。

(5)排除故障。在找到故障真正原因之后,即可进行排除。故障排除后,需要使电路工作一段时间,并对电路进行测试,校验故障是否真正被排除和电路各项功能和特性指标是否达到故障前的要求。

检查和排除故障的方法一般有以下几种:

(1)断电检查法。对于一些破坏性故障,在故障排除以前不宜通电,检查故障只能在断电的情况下进行。对于一些非破坏性故障,也可采用这种方法。这种方法所用的工具只是一只万用表。检查方法是首先检查电路连接是否有错误。若无错误,再检查引线间有无因相碰而造成的短路,或因断裂而造成断路及各连接点是否接触不良等。最后再用万用表的欧姆挡检查元器件内部有无断路、短路或参数值发生偏离正常值过大。

对于二极管和晶体三极管,可通过测量电极间的正反向电阻值来判断有无短路(击穿)或断路。对于电容器(特别是容量较大的电解电容),可通过观察万用表的欧姆挡接通瞬间指针偏转的大小来估计其容量及稳定时指针的位置来判断是否击穿、漏电或断路。

(2)电压、电流检查法。电路的故障往往引起电源电压、电流和各元器件工作电压、电流(静态工作点)的变化,因此人们常常检查电压、电流作为检查电路故障的一种重要方法。这种方法包括两方面内容:一方面检查电源的电压、电流;另一方面检查各元器件的工作电压、电流。当电路有故障时,首先检查电源的电压、电流。例如,当电路接入电源时,若电源电压显著下降,则说明电路中存在短路。这时就需要检查电路中有无因连接错误或引线相碰而导致的短路,若没有,则应检查某些元件(特别是滤波、去耦电容器)是否被击穿。若电源电压正常,而电流变化较大(一般是显著小于正常值或没有电流),这时就需分别检查各有源元件(如晶体管、运放等)的电源端的电压是否正常。若正常,则应进一步检查电流,以确定是否有断路。

若电源电压、电流正常,而故障并未查到,则就需进一步检查各元件的工作电压、电流(静态工作点)。若发现静态工作点偏离正常值太大,就说明偏置电路有故障或者元件本身已坏。

(3)替代法。这种方法是用一个完好的元件替代可疑的故障元件。替代后若故障消除则可确定所怀疑的元件确实是损坏了。这种方法在所怀疑的元件质量不易检查的情况下比较方便。例如电容量很小的电容器是否内部开路,如果没有适当的仪器,就不易检查,但