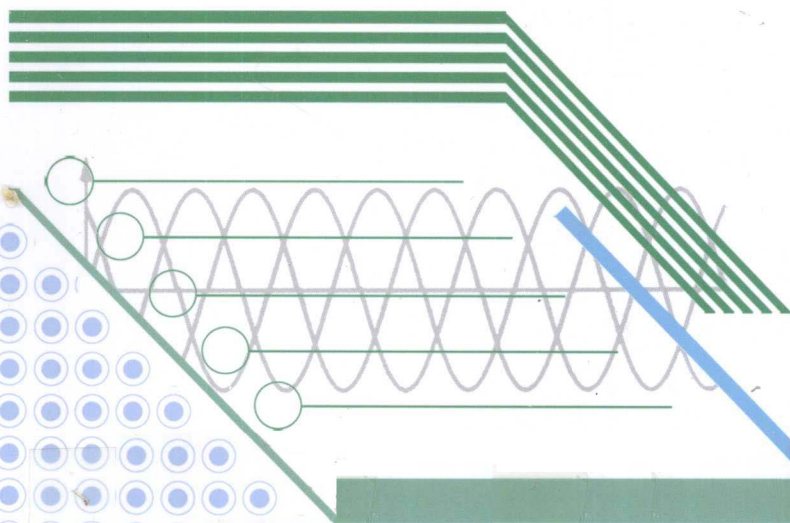


21世纪高等教育规划教材

电路实验技术

徐 红 郑兆兆 编著



中国农业科学技术出版社

电路实验技术

徐 红 郑兆兆 编著

中国农业科学技术出版社

内 容 简 介

本书主要内容为直流电路测量、动态电路测量、三相电路测量、交流参数测定、非正弦周期电路测量、双口网络参数测定、计算机辅助分析等。

在内容安排上的特点是：1、增加了每个实验的任务；2、拓宽实验内容的范围；3、将计算机辅助分析引入实验中，使全书更加合理、科学。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电路实验技术/徐红, 郑兆兆编著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2010.7

ISBN 978-7-5116-0223-7

I. ①电… II. ①徐…②郑… III. ①电路-实验 IV. ①TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 125588 号

出版发行 中国农业科学技术出版社
出 版 者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081
电 话 (010) 82109704 (发行部) (010) 82106626 (编辑室)
(010) 82109703 (读者服务部)
传 真 (010) 82106624
网 址 <http://www.castp.cn>
经 销 者 新华书店北京发行所
印 刷 者 河北省昌黎县第一印刷厂
开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16
印 张 7.75
字 数 156 千字
版 次 2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷
定 价 16.00 元

版权所有·翻印必究

前 言

《电路实验技术》一书，是为配合高校本科电类专业电路和电路原理等课程的实践教学而编写的。由于教育理念的提升，人才质量观念的转变，教学方法与手段的改革，高等教育要求培养有坚实的理论基础，有严格的工程技术训练，能够理论联系实际，具有解决工程实际问题能力的人才，因而对实践类教材也提出了新的要求。本书正是针对电路及电工相关实验课程编写的。

本书将电工测量和常用电工仪器仪表的知识与实验紧密结合，本着由浅入深、循序渐进的原则，实验设置由简单到复杂，旨在提高学生的综合素质，着力于实践能力的培养。从培养工程素质的人才为出发点，培育学生理论联系实际的能力，锻炼学生的动手能力、分析问题和解决问题的能力。

本书第1章、第2章、第4章由郑兆兆编写，第3章由徐红和郑兆兆合编，实验一至实验十和附录由徐红编写。全书由徐红统稿。

限于编者的水平和经验，本书的编审、出版还可能存在不少缺点和不足，希望使用本书的教师、学生和其他广大读者积极提出批评和建议，以不断提高本书的编写、出版质量，共同为电路实验教材建设服务。

编者
2010. 6

实 验 守 则

实验时应保证人身安全、设备安全，爱护国家财产，培养科学作风。为此，应遵守下列守则：

- (1) 严守纪律，按时开始实验。做完实验得到教师许可后再离开实验室。
- (2) 接通电源前必须请教师检查电路。
- (3) 严禁带电拆线、接线。
- (4) 非本次实验用的设备，未经教师许可不得动用。
- (5) 发生事故要保持镇定，迅速切断电源，并向教师报告。
- (6) 若自己增加实验内容，须事先征得教师同意。
- (7) 保持实验室清洁、安静，实验室内不得吸烟、喧哗。
- (8) 实验如未通过，必须补做。
- (9) 实验课前要认真预习实验指导书，做好必要的准备工作，实验结束后及时填写实验报告。

目 录

第1章 电工测量的基本知识

1.1 仪表的误差与准确度	1
1.1.1 仪表误差的分类	1
1.1.2 误差的几种表示形式	1
1.1.3 仪表的准确度	2
1.2 测量误差及误差分析	3
1.2.1 测量误差的分类	3
1.2.2 系统误差及处理	4
1.2.3 随机误差和处理	5
1.2.4 疏失误差和处理	6
1.3 实验数据处理	6
1.3.1 测量中仪表数据的读取	6
1.3.2 有效数字的表示方法和运算	7
1.3.3 实验数据的处理方法	8
1.4 电工实验方案的拟定和实施	9
1.4.1 实验的实施	9
1.4.2 自行拟定实验方案	11
1.4.3 实验故障的排除	12

第2章 电工仪表的基本知识

2.1 常用电工仪表的分类	13
2.1.1 指针式仪表	13
2.1.2 数字式仪表	15
2.1.3 较量式仪表	15
2.2 指针式仪表	15
2.2.1 指针式仪表的组成	15
2.2.2 电工仪表的型号	16
2.2.3 指针式仪表的结构及工作原理	17

2.2.4 指针式仪表表盘上常用的符号及意义	19
2.3 仪表的合理选择与正确使用	21
2.3.1 仪表的合理选择	21
2.3.2 仪表的正确使用	22

第3章 常用电工仪器仪表及实验装置

3.1 电流表	24
3.1.1 电流表工作原理	24
3.1.2 电流表读数	24
3.1.3 电流表的使用规则	25
3.2 电压表	25
3.2.1 电压表的原理	25
3.2.2 电压表的分类	26
3.3 数字万用表	27
3.3.1 基本功能	28
3.3.2 技术指标	28
3.3.3 使用方法	30
3.4 功率表	34
3.4.1 功率表的使用	34
3.4.2 使用功率表应注意事项	35
3.5 双路直流稳压电源 YB1713	36
3.5.1 面板控制件作用说明	36
3.5.2 基本操作方法	38
3.6 通用示波器 DC4322B	39
3.6.1 DC4322B 的技术性能	39
3.6.2 DC4322B 示波器面板说明	41
3.6.3 示波器使用方法	44
3.7 调压器	47
3.7.1 调压器型号及含义	50
3.7.2 调压器的调压范围	50
3.7.3 调压器使用方法	51
3.8 DGJ-3 电工技术实验装置	51
3.8.1 实验屏操作、使用说明	51
3.8.2 实验组件挂箱	53

第4章 电路元件基础知识

4.1 电阻器	55
4.1.1 电阻器的分类	55
4.1.2 电阻器的型号命名方法	57
4.1.3 电阻器的主要特性参数	57
4.1.4 电阻器阻值标示方法	58
4.1.5 电阻器的正确选用及测量	60
4.2 电容器	61
4.2.1 电容器的型号命名方法	63
4.2.2 电容器的分类	63
4.2.3 电容器主要特性参数	64
4.2.4 电容器的标示方法	65
4.2.5 电容器的选用及测量	66
4.3 电感器	66
4.3.1 电感器的型号命名方法	67
4.3.2 电感器的种类	67
4.3.3 电感器的主要参数	68
4.3.4 电感器的标示方法	69
4.3.5 电感的测量及好坏判断	69
4.4 二极管	70
4.4.1 二极管型号命名方法	70
4.4.2 二极管的工作原理	71
4.4.3 二极管的特性与应用	71
4.4.4 二极管的类型	72
4.4.5 二极管的主要参数	73
4.4.6 二极管的识别	73

第5章 电路基础实验

实验一 直流电路测量	75
实验二 基尔霍夫定律	78
实验三 叠加原理的验证	80
实验四 戴维南定理	82
实验五 一阶 RC 电路的响应	85
实验六 受控源特性	88

实验七 交流参数测定	93
实验八 三相电路	96
实验九 互感电路的测量	99
实验十 功率因数的提高	103
附录 对电作出突出贡献的科学家	106
参考文献	115

第1章 电工测量的基本知识

我们在实验过程中,任何形式的测量都希望获得被测量的真实数值,真实数值将简称为“真值”。不过,所有的仪器仪表在实验过程中都不能实现绝对理想的测量,因而测出的数据并不是被测量的真值,而是近似值。仪表的误差是指仪表在测试中的指示值与被测量真值之间的差异。误差越小,仪表的测量值就越准确。

1.1 仪表的误差与准确度

1.1.1 仪表误差的分类

根据误差产生的原因,我们把它可分为两类。

(1) 基本误差

是指仪表在规定的正常工作条件下(即规定的环境温度、放置位置、频率和波形以及不存在外界电场或磁场的影响等)使用时,由于结构和制造工艺上的不完善而产生的仪表本身所固有的误差。例如,摩擦误差、倾斜误差、刻度误差等均属于基本误差范畴。

(2) 附加误差

是指仪表在非正常工作条件下(指环境温度改变、使用方式错误、有外磁场或外电场干扰等)使用时所产生的额外误差。

1.1.2 误差的几种表示形式

1. 绝对误差

指仪表的指示值 A_x 与被测量真值 A_0 之间的差值,用符号 Δ 表示。即

$$\Delta = A_x - A_0$$

例题 1.1

用甲、乙两只电压表测负载电压,其读数分别为 202V 和 199V,而用标准表测量时其读数为 200V,求甲、乙两表的绝对误差。

解 由绝对误差的定义得

$$\text{甲表的绝对误差 } \Delta_1 = A_{x1} - A_0 = 202 - 200 = +2\text{V}$$

$$\text{乙表的绝对误差 } \Delta_2 = A_{x2} - A_0 = 199 - 200 = -1\text{V}$$

计算结果表明,绝对误差的单位与被测量的单位相同,符号有正负之分。

2. 相对误差

相对误差是指仪表的绝对误差与被测量的真值 A_0 之比的百分数，用符号 γ 表示。

即

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

例题 1.2

有甲、乙两只电压表，用甲表测量 200V 电压时，绝对误差 $\Delta_1 = +2\text{V}$ ；用乙表测量 10V 电压时，绝对误差 $\Delta_2 = +0.5\text{V}$ ，判断哪只表的测量精度更高？并计算仪表的相对误差。

解 从绝对误差看，显然 $\Delta_1 > \Delta_2$ ，但绝不等于甲表的测量精度比乙表低。

绝对误差能直观地反映仪表基本误差的大小，但不能反映仪表基本误差对测量结果究竟有多大的影响，也就是说，绝对误差反映不出仪表的基本误差在测量中占了多大的比例。这个问题不解决，测量不同大小的被测量时，就无法判断测量精度的高低。

甲表的相对误差

$$\gamma_1 = \frac{\Delta_1}{A_{01}} \times 100\% = \frac{+2}{200} \times 100\% = +1\%$$

乙表的相对误差

$$\gamma_2 = \frac{\Delta_2}{A_{02}} \times 100\% = \frac{+0.5}{10} \times 100\% = +5\%$$

结果表明 $\gamma_2 > \gamma_1$ 。可见，第一只表虽然绝对误差较大，但对测量结果的影响却小，即相对误差小。

1.1.3 仪表的准确度

仪表的准确度是用仪表的最大引用误差表示的，因为考虑到仪表各刻度位置上的绝对误差有一些小差别，为了能用引用误差概括仪表的基本误差全貌，就用最大绝对误差 Δ_m 与测量上限值 A_m 的百分比来表示仪表的准确度。即

$$\pm K\% = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\%$$

式中，K—仪表的准确度等级，它的百分数即表示仪表在正常的使用条件下最大引用误差的数值。仪表准确度越高，则最大引用误差越小，基本误差也就越小。

根据 GB 776-76《电气测量指示仪表通用技术条件》规定，电工指示仪表准确度等级分为七级，见表 1-1。



表 1-1 仪表的基本误差

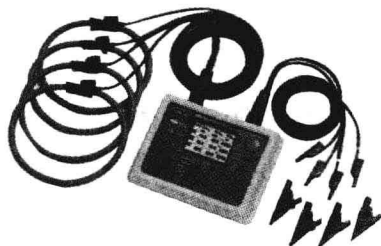
准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差/%	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

但是,并不是仪表的“准确度越高越好”,仪表的准确度高,一般来说误差是小的,但仪表的量程大了会增大误差。这好比秤重量较轻的物体要用小秤或天平,而不能用大秤来称一样,否则可能无法称或称不准。因而选用仪表不仅要考虑仪表的准确度,还要选择合适的量程。为了保证测量结果的准确度,仪表的量程要尽量接近被测量,通常被测量应大于仪表量程的 $1/2$ 。

1.2 测量误差及误差分析

1.2.1 测量误差的分类

测量误差的分类方法较多,一般有从误差的来源来分类和误差的性质来分类这两种方法。两种分类方法互相交叉。



1. 按来源分类的常见测量误差

(1) 工具误差 工具误差是测量中的主要误差,它取决于制造工艺及所使用的材料。它包括了在正常工作条件下仪表的固有误差及工艺结构误差等造成的读数误差和由于元器件、材料逐步随时间老化导致出现的稳定性误差;在动态测量中由于尚未达到稳定而读取数据从而产生的动态误差等。工具误差中以准确度为衡量指标的仪表基本误差是给定的。

(2) 使用误差 使用误差也称为操作误差,测量过程中因操作不当或未按正常要求放置而引起的使用误差。

(3) 人身误差 人身误差是由个人习惯和生理条件对实验所造成的偏差。

(4) 环境误差 环境误差是指外界环境(如温度、湿度、放射性和机械振动等)的影响而引起的误差。

(5) 方法误差 方法误差有时也称为理论误差,它是指测量所依照的理论公式与实际情况之间的近似程度,或由于测量方法、测量电路不合理所带来的误差。

2. 按性质分类的常见测量误差

(1) 系统误差 系统误差又称为规则误差。这种误差在测量过程中保持恒定或按一定规律变化,它包括工具误差、使用误差、环境误差、人身误差及方法误差等,其中最主要的是工具误差和方法误差。

(2) 随机误差 随机误差又称为偶然误差。由于一些偶发性因素所引起的误差，其误差的数值和符号均不确定。但这种误差符合统计规律（正态分布规律）。

(3) 疏失误差 疏失误差也称为粗大误差。由于测量者对仪表性能不了解、使用不当或测量时粗心大意造成的误差，如操作时仪表没调零、数据读错或记错数据等。

1.2.2 系统误差及处理

系统误差将直接影响测量结果的准确性。一般来说系统误差不可能消除，但可以尽量减小，通常从以下两个方面考虑。

1. 从仪表方面考虑

(1) 引入更正值 测量准确度要求较高时，可以事先在仪表标尺的主要分度线上引入更正值或参考仪表校验的更正曲线。

(2) 考虑工作环境 尽量使工作环境符合仪表的使用要求，减少因工作环境差异带来的附加误差。

(3) 合理选择量程 选择量程与测量量相近的仪表，并尽可能使仪表读数接近满偏位置。

(4) 注意仪表内阻 当使用电压表测量电路时，并接入测量电路的电压表内阻应远大于负载电阻；当使用电流表测量电流时，串接于测量电路中的电流表内阻应远小于负载电阻。

2. 从测量方面考虑

(1) 选择比较完善的测量方法 根据测量对象选择比较完善的测量方法，在直接测量电流、电压时要考虑仪表阻抗对测量对象的影响；间接测量时力求避免用减法取得最终测量结果，当一定要用减法时，测量中力求避免两个接近的量进行相减运算。

例题

在测量指针式仪表的内阻时，可利用“替代法”有效地减小系统误差，如图1-1所示， g_x 是待测仪表； R 是限流电阻； G 是指零仪表。指零仪表是一块高灵敏度的检流计，与其他仪表不同之处是它的零位在刻度盘的中间。

为测量待测仪表 g_x 的内阻，先将开关 S 接到“1”上，调节 RP ，使待测仪表的指针偏转到某一刻度（一般是满刻度），同时记下指零仪表的刻度；再将开关 S 转接到“2”上，调节电阻箱 R_x ，使指零仪表仍偏转到记下的刻度，这时读出可调电阻箱 R_x 的数值即是待测仪表的内阻。

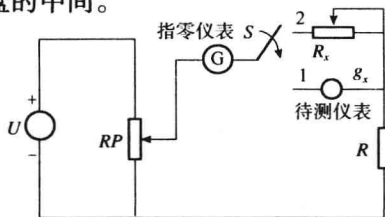


图 1-1 用替代法测量仪表内阻

“替代法”不要求指零仪表的准确度很高，但测量时读数的有效数字要尽量多，用一个与被测量相同的可调节的标准量代替被测量，所有测量条件均不变，仅靠变化标准量使仪表读数仍维持或恢复到第一次测量时的读数。此时标准量的读数就是被测量的实际值。

(2) 用误差相消法 系统误差对测量装置有影响时，可在不同的实验条件下进行两次测量，取其平均值减小误差，同时，也可因此消除某些直流仪器接头的热电动势的影响。

1.2.3 随机误差和处理

随机误差是指在相同条件下对同一量进行多次测量中出现的误差，其绝对值的大小和符号变化均无确定规律，也不可预计，但具有抵偿性的误差。

随机误差只是在进行精密测量时才能发现它，在一般测量中由于仪器仪表读数装置的精度不够，则其随机误差往往被系统误差湮没不易被发现。因此，在精密测量中首先应检查和减小系统误差，然后再来做消除和减小随机误差的工作。由于随机误差是符合概率统计规律的，故可以对它作如下处理。

(1) 采用算术平均值计算 因为随机误差数值时大时小、时正时负，采用多次测量求算术平均值可以有效地相互抵消误差。若把测量次数 n 增加到足够多（理论上为无限多次），则算术平均值 $\bar{X}$ 就近似地等于欲求结果。即

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

式中， X_i 是某次测量值。

上述算术平均值随测量次数增多而偏离真值越小。但在实际工作中，要维持长时间同一测量条件是有困难的，故常取 n 在 50 次以内，许多情况取 20 次已足够了。

(2) 采用方根误差或标准差来计算 每次测量值与算术平均值之差称为偏差。用偏差的平均数来表示偶然误差是一种办法，正负偏差的代数和和测量次数增加时趋向于零，为了避开偏差的正负符号，可将每次偏差平方后再将它们相加再除以测量次数后减 1 得到平均偏差平均和，最后再开方得到所谓方根误差或离散度，用 σ 表示，即

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

式中， σ 是反映这组数据中偏差之间差异大小的一个统计数字。上式称为贝塞尔公式。为了估计测量结果的精密度，在误差理论中常采用标准差，用 σ_s 表示，即

$$\sigma_s = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

上式表明，测量次数 n 越多测量精密度越高。但 σ_s 与 n 的方根成反比，因此精密度提

高随 n 增加而减慢。通常 n 取 20 已足够了。随机误差超过 3σ 仅占 1% 以下, 而小于 3σ 的机会占 99% 以上。对于标准偏差 σ_s 也是如此, 最大随机值不易超过 $3\sigma_s$ 。可以将测量结果考虑随机误差后写为

$$X = \bar{X} + 3\sigma_s$$

1.2.4 疏失误差和处理

疏失误差主要是由于测量者对仪表性能不熟悉及粗心大意, 而使实验的部分或全部结果显著偏离实际值所造成的误差。严格地说, 疏失误差是错误而不是误差。疏失误差是可以避免的, 在测量中尽量做到以下四点:

- (1) 测量前先熟悉仪表的性能, 了解操作方法。对未使用过得仪表先详细阅读说明书。
- (2) 在正式测量前可以做理论计算或进行试探性的粗测, 掌握测量值的大致范围, 以便测量时做参考。
- (3) 测量时加强责任心, 力求认真、仔细。而且尽量多测一些数据以便整理。
- (4) 若测量完成后, 在有足够多的测量数据情况下, 发现某个数据明显不符或偏离测量曲线, 可以考虑剔除该数据。

1.3 实验数据处理

1.3.1 测量中仪表数据的读取

测量中会遇到大量数据的读取、记录和运算。如果有效数字位数取得过多, 不但增加数据处理的工作量, 而且会被误认为测量精度很高而造成错误的结论。反之, 有效数字位数过少, 将丢失测量应有的精度, 影响测量的准确度。

1. 指针式仪表数据的读取

指针仪表在测量中, 指针不一定正好在仪表的刻度线上, 读取数据时要根据仪表刻度的最小分度, 凭借目测和经验来估计这一位数字。这个估计的数字虽然欠准确, 但仍属于有意义的。如果超过这一位欠准数字再作任何估计都是无意义的。另一方面, 在读取数据时要考虑测量仪表本身的准确度。有时尽管能读取较多的位数, 但还要根据准确度估算决定取的位数, 使其与最大绝对误差的位数相一致。

2. 数字式仪表数据的读取

数字式仪表由于准确度和分辨力较高, 读数方便, 一般取全部读数, 最后再分析、舍取。

1.3.2 有效数字的表示方法和运算

1. 对有效数字的一些规定

数字“0”可以是有效数字，也可以不是有效数字。

1) 第一个非零数字之后的“0”是有效数字。

例如

30.10V 是四位有效数字；2.0mV 是两位有效数字。

2) 第一个非零数字之前的“0”不是有效数字。

例如

0.123A 是三位有效数字；0.0123A 也是三位有效数字

3) 如果某数值最后几位都是“0”，应根据有效位数写成不同的形式。

例如

14000 若取两位有效数字应写成 1.4×10^4 或 14×10^3 ；若取三位有效数字，则应写成 1.40×10^4 或 140×10^2 或 14.0×10^3 。也就是说科学表示法可写成有效位数 $\times 10^n$ ，其中 n 为 0, ± 1 , ± 2 , ± 3 , ...。

4) 换算单位时，有效数字不能改变。

例如

90.2AmV 与 90.2V 所用单位不同，但都是三位有效数字。12.12mA 可换算成 1.212×10^{-4} A，但不能写成 1.2120×10^{-4} A

2. 数字的舍入规则

在测量中目前广泛采用如下科学的舍入规则：

1) 所拟舍去数字中，其最左面的第一个数字小于 5 时，则舍去。

2) 所拟舍去数字中，其最左面的第一个数字大于 5 时，则进 1。

3) 所拟舍去数字中，其最左面的第一个数字等于 5 时，则将末位凑成偶数。即当末位为偶数时 (0, 2, 4, 6, 8)，末位不变；当末位为奇数时 (1, 3, 5, 7, 9)，末位加 1。

3. 计算中有效数字的运算规则

1) 加减法运算规则

先对加减法中各项进行修约,使各数修约到比小数点后位数最少的那个数多一位小数,然后进行加减法运算,最后对运算结果进行修约,使小数点后位数与原各项中小数点最少的那个数相同。

例如

$$13.65 + 0.00823 + 1.633 = 13.65 + 0.008 + 1.633 = 15.291 = 15.29$$

以其中小数点后位数最少的为准,其余各数均保留比它多一位。所得的最后结果与小数点后位数最少的那个数相同。

2) 乘除法运算规则

先对乘除法中各项进行修约,使各数修约到比有效数字最少的那个数多保留一位有效数字,然后进行乘除法运算,最后对运算结果进行修约,使有效数字位数与有效数字位数最少的那个数相同。

例如

$$0.0121 \times 25.64 \times 1.05782 = 0.0121 \times 25.64 \times 1.058 = 0.3282 = 0.328$$

以各数中有效数字位数最少的为准,其余各数或乘积(或商)均比它多一位,而与小数点位置无关。

3) 对数运算规则

所取对数位数应与真数位数相等。

4) 平均值运算规则

若由4个数值以上取其平均值,则平均值的有效位数可增加一位。

1.3.3 实验数据的处理方法

实验测量所得到的记录,经过有效数字修约、有效数字运算等处理后,有时仍不能看出实验规律或结果,因此,必须对这些实验数据进行整理、计算和分析,才能从中找出实验规律,得出实验结果,这个过程称为实验数据处理。实验数据处理的方法很多,这里仅介绍几种电子电路实验中常用的实验数据处理方法。

1. 列表法

列表法就是将实验中直接测量、间接测量和计算过程中的数值依一定的形式和顺序列成表格。列表法的优点是结构紧凑、简单易行,便于比较分析,容易发现问题和找出各电量之间的相互关系和变化规律等。

注意:表格的设计要便于记录、计算和检查;表中所用符号、单位要交代清楚;表中所列数据的有效数字位数要正确。