



中国管理软件学院

适合于高等教育自学考试 适合于高等教育学历文凭考试

基础电路实验

杨建昌 编著

国防工业出版社

基础电路实验

杨建昌 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书分为两大部分,共6章。前一部分(1章~4章)主要介绍了电路测量的基本知识:测量误差及测量结果处理;电压、电流、电阻的测量;时间、频率和相位的测量;常用仪器的使用方法。后一部分(5章~6章)主要介绍了模拟电路实验和数字电路实验,共九个实验。在每个实验中都详细阐述了实验原理和操作方法。

本书适合普通高等院校学生、准备参加高等教育自学考试和国家学历文凭考试的广大读者用做电路实验教材。

图书在版编目(CIP)数据

基础电路实验 / 杨建昌编著. —北京:国防工业出版社,2003.1

ISBN 7-118-01743-4

I.基... II.杨... III.电路分析—实验
IV.TM133—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 082760 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 4 $\frac{3}{4}$ 100 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—6000 册 定价:11.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

序

中国管理软件学院成立于1984年,在北京市教委的正确领导下,在全国许多著名的计算机软件和电子信息专家的亲切关怀和指导下,面向现代化、面向世界、面向未来,培养高科技高级专业技术人才和信息管理人才,按照“强专业、高质量”的方针,在教学改革、严格管理、加强建设和探索高级人才培养模式等方面取得了出色的成绩。1993年,中国管理软件学院经国家教委审定,被批准为第一批国家学历文凭考试试点院校;1994年被批准为计算机等级培训点之一。1995年,北京市高等教育自学考试委员会为我院单独开设通信工程专业。1996年,学院获得海淀区民办高校“香港迎回归知识竞赛”一等奖;1997年,被中国成人教育协会民办高等教育委员会评为“民办高校先进单位”;1998年,被北京市教委评为民办高校“优良学校”;2001年,被教育部信息管理中心批准为远程教育培训点;2001年,被少年文摘报社评为百万读者“信得过民办院校”;2001年北京市教委对100所民办高校评估中,我院被评为首批合格24所院校之一;2002年北京市教委和高等教育自学考试委员会唯一批准我院开设计算机网络专业(文凭考试)。这些成绩的取得是与教委的领导和著名专家的指导分不开的,也是我们全体师生努力奋斗、顽强拼搏、极力创新、创建特色的结果。

我院以计算机控制及应用专业而闻名,以通信工程为名牌,以计算机网络专业为特色,以计算机软件及应用为优势。这四个专业代表了学院的特点,使全国的莘莘学子不远千里,慕名前来求学。随着高科技日新月异的发展,我院不断调整专业的深度和广度,并加强各专业的外语学习,使这些专业长盛不衰,符合社会发展的需要,为国家培养了许多急需的新型的有专业知识的技能型高科技人才,为国家的现代化建设作出了应有的贡献。

实践告诉我们,教育质量是民办高校的生命线,而好的教材是提高教学质量的一个重要方面。通过加强基本理论和基本技能的训练,使学生基础理论扎实,动手能力强,真正成为过硬的高科技应用型人才。

我院一向注重教材建设,编写了一套适合国家文凭考试和自学考试的系列教材,受到了许多读者的欢迎和赞扬,也得到了许多同仁的支持和帮助,在此表示深深的感谢。为了更好地为学生服务,我们把一些教材系列出版。希望使用这套书的读者提出更多的宝贵意见,以便我们今后能编写出更好更适用的教材,为我国的民办教育作出更大的贡献。

中国管理软件学院院长

朱忠才

2002年10月

前 言

实验是学习电子技术的一个重要环节,对于巩固和加深课堂教学内容,提高学生实际工作技能,培养科学作风,为学习后续课程和从事实践技术工作奠定基础具有重要作用。为适应电子科学技术的迅猛发展和教学改革不断深入的需要,我们根据国家文凭考试教学大纲要求和我院的实际情况,编写了这本《基础电路实验》。

本书大体分两部分内容。首先介绍了电路测量的基本知识:测量误差、有效数字、电参量的测量方法和常用仪器的使用方法;然后是实验内容。对于实验内容的安排遵循由浅到深,由易到难的规律。教师根据各专业课程内容和实验时间长短,可对实验内容进行增减。

参加本书编写的还有杨竑艳、管朝华、杨生双等同志。

由于编者水平所限,时间仓促,错误及欠缺之处恳请批评指正。

作 者

2002年10月

目 录

实验要求	1
第 1 章 测量误差及测量结果处理	2
1.1 测量误差	2
1.2 测量数据的处理	5
第 2 章 电压、电流、电阻的测量	9
2.1 电压的测量	9
2.2 电流的测量	10
2.3 电阻的测量	11
第 3 章 时间、频率和相位的测量	13
3.1 时间的测量	13
3.2 频率的测量	14
3.3 相位的测量	14
第 4 章 常用仪器的使用方法	16
4.1 DT9801 型数字万用表	16
4.2 YB4328 双踪示波器	16
4.3 TPE-AD 多功能模拟/数字电路实验箱	20
第 5 章 模拟电路实验	27
5.1 实验一 单级交流放大电路	27
5.2 实验二 负反馈放大电路	31
5.3 实验三 直流差动放大电路	35
5.4 实验四 比例求和运算电路	40
第 6 章 数字电路实验	44
6.1 实验一 门电路逻辑功能及测试	44
6.2 实验二 组合逻辑电路(半加器、全加器及逻辑运算)	50
6.3 实验三 触发器 R-S、D、J-K	57
6.4 实验四 三态输出触发器及锁存器	62
6.5 实验五 编码器	65

实 验 要 求

1. 实验前必须充分预习,完成指定的预习任务。要求如下:
 - 1) 认真分析、掌握实验电路的工作原理,并进行必要的估算。
 - 2) 完成各实验“预习要求”中指定的内容。
 - 3) 熟悉实验任务。
 - 4) 复习实验中所用各仪器的使用方法及注意事项。
2. 在使用仪器和实验箱前必须了解其性能、操作方法及注意事项,在使用时应严格遵守。
3. 实验时接线要认真,相互仔细检查,确定无误后才能接通电源,初学或者没有把握应经指导教师审查同意后再接通电源。
4. 模拟电路实验注意:
 - 1) 在进行小信号放大实验时,由于所用信号发生器及连接电缆的缘故,往往在进入放大器前就出现噪声或不稳定,有些信号源调不到毫伏以下,实验时可采用在放大器输入端加衰减的方法。一般可用实验箱中电阻组成衰减器,这样连接电缆上信号电平较高,不易受干扰。
 - 2) 做放大器实验时如发现波形削顶失真甚至变成方波,应检查工作点设置是否正确。
5. 实验时应注意观察,若发现有破坏性异常现象(例如有元件冒烟、发烫或有异味)应立即关断电源,保持现场,报告指导教师。找出原因、排除故障,经指导老师同意再继续实验。
6. 实验过程中需要改接线时,应关断电源后才能拆、接线。
7. 实验过程中应仔细观察实验现象,认真记录实验结果(数据波形、现象)。所记录的实验结果经指导教师审阅签字后再拆除实验线路。
8. 实验结束后,必须关断电源、拔出电源插头,并将仪器、设备、工具、导线等按规定整理。
9. 实验后每个同学必须按要求独立完成实验报告。

第 1 章 测量误差及测量结果处理

测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。测量是揭示客观世界的重要手段。广义地说,任何实验科学的结论,都是对实验数据统计推断的结果。而数据的取得,就要靠测量。“没有测量,就没有科学”。

一个量在被观测时,该量本身所具有的真实大小称为真值。在一定的时、空条件下,某被测量的真值是一个客观存在的确定数值。但是,在任何测量中,无论所用仪器多么精密,方法多么完善,测量者多么细心,所测结果总不能完全与被测对象的真值一致。

1.1 测量误差

测量误差就是测量结果与被测量真值的差别。测量误差通常可分为绝对误差和相对误差两种。

(1) 绝对误差

若被测量的真值为 x_0 , 测量仪器的指示值为 x , 于是绝对误差为

$$\Delta x = x - x_0$$

在某一时、空条件下,被测量的真值虽然是客观存在的,但要确切地说出真值的大小却很困难。在有些情况下,真值可由理论给出或由计量学做出规定。例如理论上指出三角形内角和为 180° , 就是说三角形内角和的真值为 180° 。但就大多数情况而言,真值很难完全确定。在一般测量工作中,只要按规定的要求,达到误差可以忽略不计,就可以认为该值接近于真值,并用它来代替真值。满足规定准确度要求,用来代替真值使用的量值称为实际值。在实际测量中,常把用高一等级的计量标准所测的量值作为实际值。除了实际值以外,还可以用已修正过的多次测量的算术平均值来代替真值使用。

与绝对误差大小相等、符号相反的量称为修正值 C 。即

$$C = x_0 - x$$

在某些较准确的仪器中,常常以表格、曲线或公式的形式给出修正值。在自动测量仪器中,修正值还可以先编成程序储存在仪器中,测量时仪器可以对测量结果自动进行修正。

绝对误差及修正值是与给出值具有相同量纲的量。绝对误差的大小和符号分别表示了给出值偏离真值的程度和方向。

(2) 相对误差

绝对误差的表示方法有它的不足之处,这就是它往往不能确切地反映测量的准确程度。例如测量的两个频率,其中一个频率 $f_1 = 1000\text{Hz}$, 其绝对误差 $\Delta f_1 = 1\text{Hz}$, 另一个频率 $f_2 = 1000000\text{Hz}$, 其绝对误差 $\Delta f_2 = 10\text{Hz}$ 。尽管 Δf_2 大于 Δf_1 , 但我们并不能因此得出 f_1 的测量较 f_2 准确的结论。恰恰相反, f_1 的测量误差对 f_1 来讲占 0.1% , 而 f_2 的测量误差仅

占 f_2 的 0.001%。为了弥补绝对误差的不足,又提出了相对误差的概念。

相对误差又叫相对真误差,它是绝对误差与真值的比值,通常用百分数表示。若用 r 表示相对误差,则

$$r = \frac{\Delta x}{x_0} \times (100\%)$$

相对误差是一个只有大小和符号,而没有量纲的量。

相对误差可以较好地反映某次测量的准确程度。但是,在连续刻度的仪表中,用相对误差来表示整个量程内仪表的准确程度,往往感到不便。因为使用这种仪表时,在某一测量量程内,被测量有不同的数值,随着被测量的不同,式中的分母也在变化,求得的相对误差也将随着改变。因此,为了计算和划分电表准确程度等级的方便,在用上述式求相对误差时,改为取电表量程,即用满刻度值作为分母,这就引出了引用相对误差(又叫满度相对误差)的概念,即

$$r_n = \frac{\Delta x}{x_m}$$

常用电工仪表分为 ± 0.1 、 ± 0.2 、 ± 0.5 、 ± 1.0 、 ± 1.5 、 ± 2.5 、 ± 5.0 七级,分别表示它们的引用相对误差所不超过的百分比。

若某仪表的等级是 S 级,它的满刻度值为 x_m ,被测量的真值为 x_0 ,那么测量的绝对误差

$$\Delta x \leq x_m \cdot S\%$$

测量的相对误差

$$r = \frac{\Delta x}{x_0} \leq \frac{x_m \cdot S\%}{x_0}$$

当一个仪表的等级 S 选定后,测量中绝对误差的最大值与仪表刻度的上限 x_m 成正比。因此所选取仪表的满刻度值不应比实测量 x 大得太多。由于 $x_0 \leq x_m$,当仪表等级 S 选定后, x_0 越接近 x_m 时,测量中相对误差的最大值越小,测量越准确。因此,我们在用这类仪表测量时,在一般情况下应使被测量的数值尽可能在仪表满刻度的三分之二以上。

例:若要测一个 10V 左右的电压,手头有两块电压表,其中一块量程为 150V, ± 1.5 级;另一块是量程为 15V, ± 2.5 级,问选用哪一块表合适?

解:若使用量程为 150V, ± 1.5 级电表,测量产生的绝对误差

$$\Delta U \leq U_m \times S\% = 150V \times (\pm 1.5\%) = \pm 2.25V$$

若表头示值为 10V 时,则被测电压的真值是在 $10V \pm 2.25V$ 的范围内,误差的范围是相当大的。

若使用量程为 15V, ± 2.5 级电表,测量产生的绝对误差

$$\Delta U \leq 15V \times (\pm 2.5\%) = \pm 0.375V$$

若表头示值也是 10V,则被测电压的真值是在 $10V \pm 0.375V$ 的范围内,可见误差的范围小了很多,因此应选用 15V, ± 2.5 级电压表。

由这个例子可以说明,在测量中我们不能片面追求仪表的级别,而应该根据被测量的大小,兼顾仪表的满刻度值和级别,合理地选择仪表。

1. 测量误差的分类

根据测量误差的性质和特点,可将它们分为系统误差、随机误差和粗大误差三大类

(1) 系统误差

系统误差的定义:在相同条件下多次测量同一量时,误差的绝对值和符号保持恒定,或在条件改变时按某种确定规律而变化的误差称为系统误差。例如电表零点不准,温度、湿度、电源电压等变化造成的误差。

系统误差产生的原因有:

① 工具误差:测量时所用的装置或仪器仪表本身的缺点而引起的误差。

② 外界环境影响误差:由于没按照技术要求使用测量工具,或由于周围环境不合乎要求而引起的误差。

③ 方法误差或理论误差:由于测量方法不完善或测量所用理论根据不充分而引起的误差。

④ 人员误差:由于测试人员的感官、技术水平、习惯等个人因素不同而引起的误差。

(2) 随机误差

随机误差也称偶然误差。在实际相同条件下多次测量同一量时,误差的绝对值和符号以不可预定的方式变化着的误差称为随机误差。

随机误差主要是由那些对测量值影响较微小,又互不相关的多种因素共同造成的。例如热骚动、噪声干扰、电磁场的微变、空气扰动、大地微振、测量人员心理或生理的某些变化等等。在测量中,即使已经消除了引起系统误差的一切因素,但是只要测量装置灵敏度足够高,就会发现测量结果有上下起伏的变化,这种变化就是由随机误差造成的。

随机误差变化的特点:在多次测量中,随机误差的绝对值实际上不会超过一定的界限,即随机误差具有有界性;绝对值相等的正负误差出现的机会相同,即随机误差具有对称性;随机误差的算术平均值随着测量次数无限增加而趋近于零,即随机误差具有抵偿性。抵偿性是随机误差的重要特性。具有抵偿性的误差,一般可以按随机误差来处理。

随机误差时大、时小,时正、时负,无法消除,无法控制。但在同样条件下,对同一量进行多次测量,可以发现随机误差是服从统计规律的,因此只要测量的次数足够多,随机误差对测量结果的影响就是可知的。

通常在工程测量中,可以不考虑随机误差。

(3) 粗大误差

超出在规定条件下预期的误差叫粗大误差。也就是说在一定的测量条件下,测量结果明显地偏离了真值。它主要由于读数错误、测量方法错误、测量仪器有缺陷等原因造成的。粗大误差明显地歪曲了测量结果,因此一旦有了粗大误差,应该舍弃对应的测量结果(称为坏值)重新测量。

粗大误差也称过失误差、寄生误差。

2. 正确度和精密度

正确度是指所测数据与真值接近的程度。也就是表示测量结果中系统误差大小的程度。精密度是指所测数据互相接近的程度,也就是表示测量结果中随机误差大小的程度,

也可简称精度。准确度(也称精确度)是正确度和精密度两者的总称。如果测量的正确度和精密度均高,则称为测量的准确度高。准确度是测量结果中系统误差与随机误差的综合,表示测量结果与真值的一致程度。在一定的测量条件下,总是力求测量结果尽量接近真值。即力求准确度高。

测量结果的正确度、精密度和准确度的涵义可用上图来说明。图 1-1-1(a)测量结果的平均值与真值 x_0 相差不大,但数据比较离散,说明正确度高而精密度低;图 1-1-1(b)数据集中,但平均值与真值相差较大,说明精密度高而正确度低;图(c)具有(a)、(b)图的优点而没有它们的缺点,因而正确度、精密度均高,即准确度高。

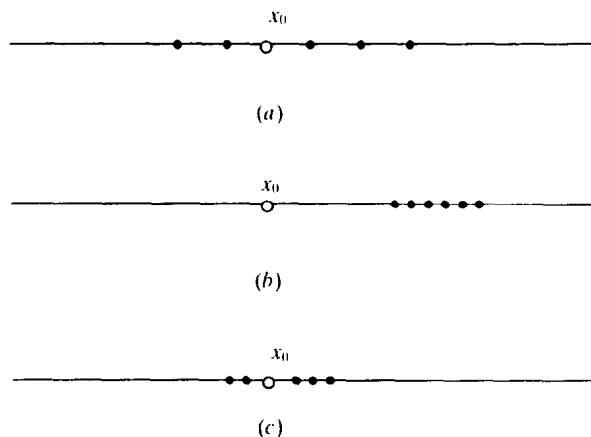


图 1-1-1 测量结果的正确度、精密度和准确度

为了减小误差提高测量的准确度,应采取以下措施:

- (1) 避免粗大误差,去掉含有粗大误差的数据。
- (2) 消除系统误差。测量之前应检查所用仪器设备的调整和安放情况。例如仪表的指针是否指零,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,要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。测量人员保持情绪稳定和精神饱满也有助于防止系统误差。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,也有利于发现系统误差。
- (3) 进行多次重复测量,取各次测量数据的算术平均值,以消弱随机差的影响。

1.2 测量数据的处理

通过实际测量取得测量数据后,通常还要对这些数据进行计算、分析、整理,有时还要把数据归纳成一定的表达式或画成表格、曲线等等,也就是进行测量结果的处理。

1. 有效数字

由于在测量中不可避免地存在误差,同时在对测量数据进行计算时,遇到像 π 、 e 、 $\sqrt{2}$ 等无理数,实际计算时也只能取近似值,因此我们得到的数据通常只是一个近似数。不能认为一个数据中小数点后面的位数越多,这个数据就越准确;也不能认为计算测量结果中保留的位数越多,准确度就越高。为了表示得确切,通常规定误差不得超过末位单位数字的一半。例如末位数字是个位,则包含的误差绝对值应不大于 0.5,若末

位是十位,则包含的误差绝对值应不大于5。对于这种误差不大于末位单位数字一半的数,从它左边第一个不为零的数字起,直到右面最后一个数字止,都叫作有效数字。值得注意的是,在数字左边的零不是有效数字,而数字中间和右面的零都是有效数字。例如 $0.0038\text{k}\Omega$ 左面的三个零就不是有效数字,因为它们可以通过单位变换变为 3.8Ω ,可见只有两位有效数字。像 306 这样的数字,中间的零自然是有效数字,因为它表示十位数字是零。特别值得注意的是像 3.860V ,最右边的一个零也是有效数字,它对应着测量的准确程度。我们不能任意把它改写成 3.86V 或 3.8600V ,因为这意味着测量准确程度的变化。有效数字除末位外前面各位数字都应该是准确的,只有末位欠准,但包含的误差不应大于末位单位数字的一半,这里讨论的 3.860V ,表明误差的绝对值不应超过 0.0005V ,而若改写成 3.86V 或 3.8600V ,则表明误差绝对值不超过 0.005V 或 0.00005V ,这显然是不合适的。

2. 数字的舍入规则

当需要 n 位有效数字时,对超过 n 位的数字就要根据舍入规则进行处理。目前广泛采用如下的舍入规则:

- (1) 当保留 n 位有效数字时,若后面的数字小于第 n 位单位数字的 0.5 就舍掉;
- (2) 当保留 n 位有效数字时,若后面的数字大于第 n 位单位数字的 0.5,则第 n 位数字进 1;
- (3) 当保留 n 位有效数字时,若后面的数字恰为第 n 位单位数字的 0.5 则第 n 位数字为偶数或零时就舍掉后面的数字;若第 n 位数字为奇数,则第 n 位数字加 1。由于第 n 位数字为偶数和奇数的概率相同,因而舍和入的概率也相同,当舍入次数是足够多时,舍入误差就会抵消。同时由于规定第 n 位为偶数时舍,为奇数时进 1(这时第 n 位由于进 1 也变成偶数了),这就使有效数字尾数为偶数的机会变大,而偶数在被除时,被除尽的机会比奇数多一些,这也有利于减少计算上的误差。

上面的舍入规则可简单地概括为:小于 5 舍,大于 5 入;等于 5 时,取偶数。

3. 测量结果的表示法

测量结果要正确反映被测量的真实大小和它的可信程度,同时数据的表达亦不应过于冗长和累赘。

首先,对于测量的误差值,包括绝对误差、相对误差等,一般只需取一位到两位数字,过多的位数通常没有什么意义。

对于数字万用表的测量的误差通常用读数误差和满度误差共同表示

$$\Delta x = \pm (\alpha\% + \beta\%x_n)$$

式中, α 为误差的相对系数; β 为误差的绝对系数。

一个测量结果往往已对确定性系统误差进行了修正,因此常可用被测量的量值和它的不确定度共同表示测量结果,被测量的量值最低位通常与误差最低位对齐,例如说某电压为 $4.32\text{V} \pm 0.05\text{V}$ 。如果被测量的量值本身低位数字的位比误差低位数还低,特别是这个量值是经过某些计算包含了较多位数的情况下,这时应把多余的位数按舍入规则处理掉,即从与误差最低位对齐处截断。

在有些情况下希望把测量结果用一个数表达,这时,常在有效数字后面多给出 1 位 ~ 2 位数字,这样表示的测量结果的数字称为有效安全数字。

下面介绍这种用一个数值表示测量结果的具体做法：

- (1) 由误差或不确定度的大小定出测量值有效数字最低位的位置；
- (2) 从有效数字最低位向右多取 1 位 ~ 2 位安全数字；
- (3) 根据舍入规则处理掉其余数字。

4. 有效数字的运算

(1) 常数的有效数字为无穷。如： $1 = 1.00000\cdots$

(2) 加减运算过程中，由于参加运算的各项数据必为相同单位的同一类物理量，故正确度最差的数据也就是小数点后面有效数字位数最少的数据（若无小数点，则为有效位数最少者）。因此，在运算前应将各数据小数点后的位数进行处理，使之与正确度最差的数据相同，然后再进行运算。

如： $A = 71.3\text{cm}$, $B = 0.753\text{cm}$, $C = 6.262\text{cm}$, $D = 271\text{cm}$

求： $N = A - B + C + D$

解： $N = 71.3 - 0.8 + 6.3 + 271 \approx 71 - 1 + 6 + 271 \approx 347(\text{cm})$

(3) 乘除运算以参加运算的几个有效数字位数最少的分量为准，其它分量（包括常数）保留到比上述分量的有效数字多一位来运算。如果计算结果的第一位为 1, 2, 3, 则结果的有效数字可以比上述分量的有效数字多取一位，否则应与上述分量一致

如： $A = 39.5$, $B = 4.08437$, $C = 0.0065$, $D = 867.8$

求： $N = ABC/D$

解： $\because A, B, C, D$ 中 C 的有效数字最少，是两位，则其余各分量取三位

$$\therefore N = \frac{39.5 \times 4.08 \times 0.0065}{868} = 1.21 \times 10^{-3}$$

$\therefore$ 结果第一位为 1，所以多保留一位，取三位有效数字。

(4) 混合四则运算应按部就班地应用有效数字的运算法则。

如： $L_1 = 3.18795\text{cm}$, $a = 1$ 为常数, $b = 2.0 \times 10^{-3}$

求： $L = L_1(a + b)$

解： $\because a = 1 = 1.000\cdots$

$$\therefore a + b = 1.0020$$

$$\text{则 } L = L_1(a + b) = 3.18795 \times 1.0020 = 3.1943(\text{cm})$$

(5) 对数和指数运算。

① 取自然对数和常用对数时，其结果一律取小数部分的位数与原数的有效数字位数相同。

② 对于 e^x ，其有效数字的取法是：把 e^x 的结果写成科学表达式，小数点前保留一位，小数点后保留的位数与 x 小数点后面的位数相同。

在常见运算下下述两种情况要特别注意：

① 当指数的底远大 1 或远小于 1 时，指数的误差对结果影响较大，指数很小的变化会使结果相差很大。对这种情况，指数应尽可能多保留几位有效数字

$$\text{如 } 1000^{2.1} = 1995262 \text{ 而 } 1000^{2.2} = 3981072$$

$$\text{又如 } 0.001^{2.1} = 5.01 \times 10^{-7} \text{ 而 } 0.001^{2.2} = 2.51 \times 10^{-7}$$

② 两数相减时，若二数相差不多，有效数字的位数对结果的影响可能十分严重，在计

算机中应尽力避免这种情况或尽力多取几位有效数字。如 $y = \frac{2}{x_1 - x_2}$, $x_1 = 2.3831$, $x_2 = 2.3825$, 求 y 。

若 x_1, x_2 保留全部有效数字, 则 $y = \frac{2}{2.3831 - 2.3825} = 3333$ 。

若 x_1, x_2 保留四位有效数字, 则 $y = \frac{2}{2.383 - 2.382} = 2000$ 。

若 x_1, x_2 保留三位有效数字, 则 $y = \frac{2}{2.38 - 2.38} \rightarrow \infty$ 。

第2章 电压、电流、电阻的测量

2.1 电压的测量

电压测量是电子电路测量的一个重要内容,在集总参数电路里,表征电信号能量的三个基本参量是:电压、电流和功率。但是,从测量的观点来看,测量的主要参量是电压,因为在标准电阻的两端若测出电压值,那么就可通过计算求得电流或功率。此外,包括测量仪器在内的电子设备,它们的许多工作特性均可视为电压的派生量,例如,调幅度、波形的非线性失真系数等等。可以说,电压测量是其他许多电参量的测量、也包括非电测量的基础。

1. 对电压测量的基本要求

由于在电子电路测量中所遇到的待测电压具有频率范围宽、幅度差别悬殊、波形的形式多等特点,所以对电压测量提出了一系列的要求,主要可概括如下:

(1) 应有足够宽的频率范围。一般,在集总性电路中,交流电压的频率范围约从几 Hz 或几十 Hz 到几百 MHz,甚至达 GHz 量级。

(2) 应有足够宽的电压测量范围。通常,待测电压的下限在十分之几 μV 至几个 mV ,而上限可达几十 kV 左右,随着科学技术的发展,要求测量非常小的电压值,即要求电压测量仪器具有非常高的灵敏度。目前,已出现灵感度高达 1nV 的数字电压表。

(3) 应有足够高的测量准确度。电压测量仪器的测量准确度一般用下列三种方式之一来表示:① $\beta\%U_m$,即满值的百分数;② $\alpha\%U_x$,即读数值的百分数;③ $\alpha\%V_x + \beta\%V_m$ 。第一种可能是通用的,一般具有线性刻度的模拟电压表中都采用这种方式;第二种在具有对数刻度的电压表中用得最多;而第三种方法是目前用在具有线性刻度电压表的一种较严格的准确度表征,数字电压表都用这种方式。

由于电压测量的基准是直流标准电池,同时,在直流测量中,各种分布性参量的影响极小,因此,直流电压的测量可获得最高的准确度。例如,目前数字电压表测量直流电压的准确度可达 $\pm(0.005\%U_x + 0.0001\%U_m)$,即可达 10^{-6} 量级,而模拟电压表一般只能达到 10^{-2} 量级。至于交流测量,一般需要通过交、直流变换(检波)电路,而且当测量高频电压时,分布性参量的影响不容忽视,再加上波形误差,故即使采用数字电压表,目前交流电压的测量准确度也只能达到 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 量级。

(4) 应有足够高的输入阻抗。在测量电压时,电压测量仪器并联在被测电路两端,电压测量仪器的输入阻抗就是被测电路的额外负载,为了使仪器接入电路尽量减少它的影响,要求仪器具有高的输入阻抗。MF20 万用表的输入电阻比较低:DC - $20\text{k}\Omega/\text{V}$, AC - $333\text{k}\Omega/\text{V}$; 数字万用表的输入阻抗高,如 DT9801 数字电压表输入阻抗为 $10\text{M}\Omega$,有的还更高。

(5) 应具有高的抗干扰能力

我们的测量工作,一般都在充满各种干扰的条件下进行,当电压测量仪器工作在高灵

敏度时,干扰将会引入测量误差。显然,对数字电压表来说,这个要求更为突出

2. 电压的测量方法

电压的测量方法主要有电压表测量法和示波器测量法两种。

1) 电压表测量法

电压表总的可分为两大类:即模拟式的和数字式的。

模拟式电压表是指针式的,用磁电式电流表作为指示器,并在电流表表盘上以电压(dB)刻度。模拟式电压表由于电路简单、价廉,特别是在测量高频电压时,其测量准确度不亚于数字电压表,故在目前和今后一段时间内,在电压测量中仍将占有重要的地位。

数字式电压表首先将模拟量通过模/数(A/D)变换器变成数字量,然后用电子计数器计数,并以十进制数字显示被测电压值。

将电压表并于被测电路两端,直接由电压表的读数决定测量结果的测量方法称为电压表的直读测量法。这种方法简便直观,是电压(电位)测量的基本方法。测量电压除了直读量法外,还可用补偿法和微差法。

2) 示波器测量法

用示波器测量电压最主要的特点是能够正确地测定波形的峰值及波形各部分的大小,因此在需要测量某些非正弦波形的峰值或某部分波形的大小时,用示波器进行测量便成为必须的方法了。

(1) 直接法(又称标尺法)

双踪示波器(如 YB4328)的 Y 轴灵敏度已标出(mV ~ V)/cm,使用前,要用校准信号校准各挡灵敏度。然后,将被测信号加于示波器 Y 输入端,从荧光屏上直接读出被测电压波形的高度(cm 数),则被测电压幅值灵敏度 = (V/cm 或 mV/cm) × 高度(cm)

该测量方法会由于 Y 轴放大器增益的不稳定性而产生测量误差。

(2) 比较法

用没有标出 Y 轴灵敏度的示波器测电压时,需用比较法。测量时,先给示波器输入峰-峰值为 5V 的方波(或直流)信号(常称为比较信号),调节 Y 轴增幅,使其在荧光屏的 Y 轴上占 5cm,则 Y 轴灵敏度成为 1V/cm(注意调好后保持 Y 轴增幅不变)。对被测信号进行观察,可读出正弦波信号的峰-峰值为 4V,幅值为 2V,有效值为 $\sqrt{2}V$ 。

这种测量方法会由于荧光屏上光迹和标尺刻度不在同一平面上而产生读数误差。

用示波器测幅值时应注意:被测信号电压必须从直流输入端加入,否则将会被滤去直流成分,只剩下交流分量,而不能反映真实情况。

2.2 电流的测量

测量直流电流通常都采用磁电系电流表。由于测量时,电流表是串接在被测电路中的,为了减小对被测电路工作状态的影响,要求电流表的内阻越小越好,否则将产生较大的测量误差。

测量交流电流通常采用电磁系电流表。由于交流电流的分流与各支路的阻抗有关,而且阻抗分流很难做得很精确,所以通常使用电流互感器来扩大交流电流表的量程。钳形电流表就是用互感器扩大电流表量程的实例。钳形电流表使用非常方便,但准确度不

高。

实际操作中要特别注意,电流表(钳形电流表除外)是串联在电路中的,绝不能和被测电路并联。否则由于其内阻很小,将有很大的电流流经电流表,易把电流表烧毁。

用示波器也可以测量电流的波形。这时在被测电流支路中串入一个小电阻,被测电流在该电阻上产生电压,用示波器测量这个电压,便得到电流的波形。

串联电阻 R 的选择应考虑下列几方面: R 的值应足够小,当它串入被测电路中时应对被测电路无影响; R 的值也不能过小,否则因被测电流 i 在其上产生的电压太小会使示波器的光点偏转太小,影响用示波器测量电流的准确度。

2.3 电阻的测量

电阻的数值一般分为低值(小于 1Ω), ($1\Omega \sim 10\Omega$) 和高值(大于 $10^6\Omega$)。为了测量准确,对不同数值的电阻所用测量方法也不同,这里主要介绍中值电阻的测量方法。

1. 欧姆表法

欧姆表法是电阻的直接测量方法,主要是用万用表的欧姆挡来测定电阻。用这种方法测量电阻很方便,但不够准确。测量时被测电阻不能带电,倍率的选择要使指针偏转到容易读数的中段,每次测量前要调好零点。

用数字万用表的电阻挡来测量电阻时,其测量准确度较高,可达 0.1% ,电阻的测量范围也较宽,为 $10^{-2}\Omega \sim 20\text{M}\Omega$ 。

测量高值电阻时,可采用兆欧表,它可测 $0.1\text{M}\Omega$ 以上的高电阻,如电机绕组的绝缘电阻。

2. 伏安法

伏安法用电压和电流表分别测出被测电阻两端电压和通过电阻的电流,然后用公式 $R = V/I$ 算出被测电阻的数值,属于间接测量方法。所测结果的准确度,除了决定于所用电压表和电流表的准确度外,还与测量仪表在电路中的接法有关。

3. 替代法

为了克服用伏安法测量电阻时仪表接法和仪表本身的误差对测量结果的影响,可以采用替代法来测电阻。用替代法测量电阻时,要有一个电阻值准确的标准电阻箱 R_n 。测量方法如下:

(1)按图 2-3-1 所示电路接线,图中 R_x 为被测电阻, R 为可变电阻, R_n 为标准电阻箱。

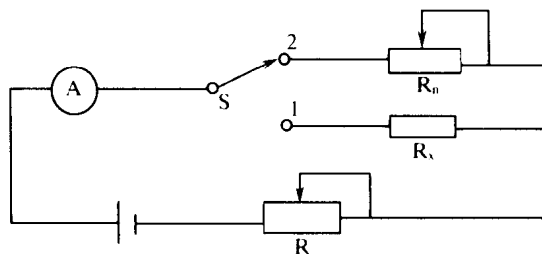


图 2-3-1 替代法测电阻电路