



中国地质大学(武汉)实验教学系列教材
中国地质大学(武汉)实验技术研究经费资助出版

电子技术基础实验指导

DIANZI JISHU JICHU SHIYAN ZHIDAO

舒邦久
郝国成

◎主 编

李杏梅
张祥莉

◎副主编





中国地质大学(武汉)实验教学系列教材
中国地质大学(武汉)实验技术研究经费资助出版

电子技术基础实验指导

DIANZI JISHU JICHU SHIYAN ZHIDAO

舒邦久 郝国成 主 编

李杏梅 张祥莉 副主编



中国地质大学出版社

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础实验指导/舒邦久等主编. —武汉:中国地质大学出版社,2018.10
中国地质大学(武汉)实验教学系列教材
ISBN 978-7-5625-4431-9

- I. ①电…
- II. ①舒…
- III. ①电子技术-实验-高等学校-教学参考资料
- IV. ①TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 237337 号

电子技术基础实验指导

舒邦久 郝国成 主 编
李杏梅 张祥莉 副主编

责任编辑:周 豪 党梅梅 责任校对:周 旭

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号) 邮政编码:430074
电 话:(027)67883511 传真:(027)67883580 E-mail:cbb@cug.edu.cn
经 销:全国新华书店 http://cugp.cug.edu.cn

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16 字数:180 千字 印张:7
版次:2018 年 10 月第 1 版 印次:2018 年 10 月第 1 次印刷
印刷:荆州鸿盛印务有限公司 印数:1—800 册

ISBN 978-7-5625-4431-9 定价:21.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

中国地质大学(武汉)实验教学系列教材

编委会名单

主 任：刘勇胜

副主任：徐四平 殷坤龙

编委会成员：(以姓氏笔画排序)

文国军 朱红涛 祁士华 毕克成 刘良辉

阮一帆 肖建忠 陈 刚 张冬梅 吴 柯

杨 喆 金 星 周 俊 章军锋 龚 健

梁 志 董元兴 程永进 窦 斌 潘 雄

选题策划：

毕克成 李国昌 张晓红 赵颖弘 王凤林

前 言

随着现代电子技术突飞猛进的发展,社会越来越需要具有创造能力的电子技术人才。模拟电子技术是高等院校工科电类专业一门重要的专业技术基础课,是一门实践性很强的课程,在整个电类专业的课程体系中起着承前启后的作用。模拟电子技术实验是加深、巩固学生所学理论知识所必需的一种教学手段和教学途径,是关系到学生对于理论知识的掌握程度,以及实验技能、创新能力的培养等众多方面的一门实践性课程。不仅可以训练学生的基本实践技能,培养学生独立分析及解决问题的能力,而且也能后续电类课程的学习奠定良好的基础。

本书的编写是在对有关专业人才培养方案和教学内容体系进行充分调查研究和论证的基础上,以及在充分总结实践教学经验与教学成果的基础上编写而成。书中实验部分包括模拟电子线路基础性实验、模拟电子线路设计与综合实验、Multisim 10 概述及仿真实验,附录部分介绍了常用电子元件基础知识。

本书侧重实验技术和方法的学习,在实验手段与方式上,学生需要自己完成根据电路图搭接实验电路,重视学生硬件调试能力的基本训练的同时,融入了Multisim 软件的仿真,使学生学会用现代手段和传统方式相结合来分析验证电路。内容具有实用性、综合性特点,强调学生动手能力、创新意识的训练和培养。

本书可作为高等院校电类专业模拟电子技术课程配套的实验教材使用,也可供相关工程技术人员参考。

本书由舒邦久、郝国成任主编,李杏梅、张祥莉任副主编。本书共分为4章,其中,第一章由李杏梅编写,第二章由郝国成、舒邦久编写,第三章由郝国成编写,第四章及附录由舒邦久、张祥莉编写,由舒邦久负责统稿,全书在张友纯教授的指导下完成。

由于编者学识水平有限,书中难免会有疏漏和错误之处,恳请各位专家、读者,以及使用本书的老师和同学批评、指正。

编 者

2018年3月

I

目 录

第一章 电子线路实验的基础知识	(1)
第二章 观察性与训练性电子实验	(15)
实验一 单管放大电路性能指标测试	(15)
实验二 放大器频率响应测试	(18)
实验三 负反馈放大器性能指标测试	(20)
实验四 差模、共模及共模抑制比的测试	(23)
实验五 功率放大器功率和效率的测试	(26)
实验六 集成运算放大器主要参数的测试	(28)
实验七 集成运算放大器的线性应用	(34)
实验八 振荡及频率的测试	(40)
实验九 二阶有源滤波器的测试	(42)
实验十 方波-三角波发生器的测试	(44)
实验十一 直流稳压电源的测试	(46)
第三章 模拟电子线路设计与综合实验	(48)
实验十二 RC 正弦波振荡器	(48)
实验十三 函数信号发生器	(50)
实验十四 二阶有源低通滤波器	(53)
实验十五 二阶有源带通滤波器	(56)
实验十六 集成稳压电源	(59)
第四章 Multisim 10 介绍及仿真实验	(64)
附录 常用电子元件基础知识	(82)
附录 1 电阻器、电容器和电感器	(82)
附录 2 半导体二极管和三极管	(87)
附录 3 半导体集成电路	(94)
主要参考文献	(102)

第一章 电子线路实验的基础知识

一、电子线路实验的目的和意义

电子线路是一门实践性很强的学科,它的任务是使学生获得电子线路方面的基础理论、基础知识和基本技能。加强实验训练特别是技能的训练,对提高学生分析问题和解决问题的能力,特别是毕业后的实际工作能力,具有十分重要的意义。

电子线路是一门飞速发展的学科,市场经济需要的是具有一定实际工作能力的复合型人才,而实验教学在培养学生实际动手能力方面有一定的优势。在实验过程中,通过分析、验证器件和电路的工作原理及功能,对电路进行分析、调试、故障排除和性能指标的测量,自行设计、制作各种功能的实际电路等多方面的系统训练,可以使学生的各种实验技能得以提高,实际工作能力也得到了锻炼。同时,学生的创造性思维能力、观测能力、表达能力、动手能力、查阅文献资料的能力等综合素质也得到了提高。此外,通过实验还可以培养学生勤奋进取、严肃认真、理论联系实际的务实作风和为科学事业奋斗的精神。

电子线路实验,按性质可分为验证性实验、训练性实验、综合性实验和设计性实验四大类。

(1)验证性实验和训练性实验是针对电子线路理论而设置的,通过实验获得感性认识。验证和巩固重要的基础理论,同时使学生掌握测量仪器的工作原理和规范使用,熟悉常用元器件的原理和性能,掌握其参数的测量方法和元器件的使用方法,掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能,培养学生一定的安装、调试、分析、寻找故障的技能。

(2)综合性实验侧重于对一些理论知识和实验能力的综合应用,其目的是培养学生综合应用理论知识的能力和解决较复杂的实际问题的能力,包括实验理论的系统性、实验方案的完整性和可行性、元器件及测量仪器的综合应用等。

(3)设计性实验对学生来说,既有综合性又有探索性。它主要侧重于电子线路某些理论知识的灵活应用。要求学生在教师的指导下独立查阅资料、设计方案、组装调试、完成实验,并写出实验报告。也可以先借助于仿真软件进行仿真,这样可以使实验方案更加完善、合理,有助于提高设计效率。这类实验可以提高学生的科学实验能力,培养学生的创新意识。

二、电子线路实验的一般要求

尽管每个电子线路实验的目的和内容不同,但为了培养良好的学风和严谨的科学态度,充分发挥学生的主动精神,促使其独立思考、独立完成实验并有所创新,需要对学生在电子线路实验的准备阶段、进行阶段、实验完成和报告撰写阶段分别提出一些基本要求。

(一)实验准备阶段

为了避免盲目性,参加实验者应提前对实验内容进行预习。通过预习,明确实验的目的和

要求,查阅有关资料,掌握实验的基本原理,看懂实验电路图,清楚实验内容及实验步骤,并且达到如下要求:

(1)拟出实验方法和实验步骤,设计实验表格,并对思考题在理论上进行分析,以便在实验中进行观察和解答。

(2)初步估算(或分析)实验结果,这一步非常关键,它将为后面实验过程中对于实验结果的分析提供参考。

(3)写预习报告,预习报告要包括前面两点的内容。

(二)实验进行阶段

(1)参加实验者要自觉遵守实验室规则。

(2)根据实验内容合理布置实验现场。仪器设备和实验装置安放要妥当。检查所用器件和仪器是否完好,然后按实验方案搭接实验电路和测试电路,并认真检查,确保无误后方可通电测试。

(3)认真记录实验条件和实验所得结果,并且根据预习的实验结果对记录的结果进行分析,检查实验结果的正误。发生故障应独立思考,耐心寻找故障原因并排除故障,记录排除故障的过程和方法。

(4)仔细审阅实验内容及要求,确保实验内容完整,测量结果准确无误,现象合理。

(5)实验中若发生异常现象,应立即切断电源,并报请指导教师和实验室有关人员,等候处理。

(三)实验完成和报告阶段

实验报告是对实验工作的全面总结。实验者做完实验后应用简明的形式将实验结果和实验情况完整和真实地表达出来。实验报告的写作具体见实验报告撰写部分。

三、误差分析与测量结果的处理

在科学实验与生产实践的过程中,为了获取表征被研究对象的特征的定量信息,必须准确地进行测量。在测量过程中,由于各种原因,测量结果和待测量的客观真值之间总存在一定差别,即测量误差。因此,分析误差产生的原因,如何采取措施减少误差,使测量结果更加准确,对实验人员来说是必须要了解和掌握的。

(一)误差的来源与分类

1. 测量误差的来源

测量误差的来源主要有以下几个方面:

(1)仪器误差。仪器误差是指测量仪器本身的电气或机械等性能不完善所造成的误差。显然,消除仪器误差的方法是配备性能优良的仪器并定时对测量仪器进行校准。

(2)使用误差,也称操作误差。它是指测量过程中因操作不当而引起的误差。减小使用误差的办法是测量前详细阅读仪器使用说明书,严格遵守操作规程,提高实验技巧和对各种仪器的操作能力。

(3)方法误差,又称理论误差。它是指由于使用的测量方法不完善、理论依据不严密,或对

某些经典测量方法作了不适当的修改及简化所产生的误差。即凡是在测量结果的表达式中没有得到反映,而实际在测量过程中又起到一定作用的因素所引起的误差就称为方法误差。例如,用伏安法测电阻时,若直接以电压表示值与电流表示值之比作测量结果,而不计电表本身内阻的影响引起的误差就是方法误差。

2. 测量误差的分类

测量误差按性质和特点可分为系统误差、随机误差和粗失误差三大类。

(1)系统误差。系统误差是指在相同条件下重复测量同一量时,误差的大小和符号保持不变,或按照一定的规律变化的误差。系统误差一般可通过实验或分析方法,查明其变化规律及产生原因后,可以减少或消除。电子线路实验中系统误差常来源于测量仪器的调整不当和使用方法不当所致。

(2)随机误差(偶然误差)。随机误差是指在相同条件下多次重复测量同一量时,误差大小和符号的变化毫无规律的误差。随机误差不能用实验方法消除。但从随机误差的统计规律中可了解它的分布特性,并能对其大小及测量结果的可靠性做出估计,或通过多次重复测量,然后取其中算术平均值来达到消除或减小误差的目的。

(3)粗失误差。粗失误差是一种过失误差。这种误差是由于测量者对仪器不了解、粗心,导致读数不正确而引起的,测量条件的突然变化也会引起粗失误差。含有粗失误差的测量值称为坏值或异常值。必须根据统计检验方法的某些准则去判断哪个测量值是坏值,然后去除该测量值,达到消除粗失误差的目的。

(二)误差的表示方法

误差可以用绝对误差和相对误差来表示。

1. 绝对误差

设被测量量的真值为 A_0 , 测量仪器的读数为 X , 则绝对误差为

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

在某一时间及空间条件下,被测量量的真值虽然是客观存在的,但一般无法测得,只能尽量逼近它。一般用高一级标准(精密标准)测量仪器的测量值 A 代替真值 A_0 , 这时绝对误差近似为

$$\Delta X \approx X - A \quad (1-2)$$

在测量前,测量仪器应由高一级标准仪器进行校正,校正量常用修正值 C 表示。即

$$C = A - X = -\Delta X \quad (1-3)$$

式(1-3)中, A 为高一级标准仪器的测量值, X 为测量仪器的测量值。由上式可知,测量仪器的修正值就是绝对误差,只是符号相反。

利用修正值便可得该仪器所测量的近似实际值,即

$$A \approx X + C = X + (-\Delta X) = X - X + A = A \quad (1-4)$$

例如,用电压表测量电压时,电压表的示值为 1.1V , 通过鉴定得出其修正值为 -0.01V , 则被测电压的真值为

$$A = 1.1 + (-0.01) = 1.09\text{V}$$

修正值可以以曲线、公式或数表的方式给出。对于自动测验仪器,修正值则预先编制成有

关程序存于仪器中,测量时对误差进行自动修正,所得结果便是实际值。

2. 相对误差

绝对误差值的大小往往不能确切地反映出被测量量的准确程度。例如,测 100V 电压时, $\Delta X_1 = +2V$, 在测 10V 电压时, $\Delta X_2 = 0.5V$, 虽然 $\Delta X_1 > \Delta X_2$, 可实际上 ΔX_1 只占被测量量的 2%, 而 ΔX_2 却占被测量量的 5%。显然, 后者的误差对测量结果的影响相对较大。因此, 工程上常采用相对误差来比较测量结果的准确程度。

相对误差又分为实际相对误差、示值相对误差和引用(或满度)相对误差。

(1) 实际相对误差。它是用绝对误差 ΔX 与被测量的实际值 A 的比值的百分数来表示的相对误差, 即

$$\gamma_A = \frac{\Delta X}{A} \times 100\% \quad (1-5)$$

(2) 示值相对误差。它是用绝对误差 ΔX 与仪器给出值 X 的百分数来表示的相对误差, 即

$$\gamma_X = \frac{\Delta X}{X} \times 100\% \quad (1-6)$$

(3) 引用(或满度)相对误差。它是用绝对误差 ΔX 与仪器的满刻度值 X_m 之比的百分数来表示的相对误差, 即

$$\gamma_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\% \quad (1-7)$$

电工仪表的准确度等级就是由 γ_m 决定的, 如 1.5 级的电表, 表明 $\gamma_m \leq \pm 1.5\%$ 。我国电工仪表按引用相对误差值共分 7 级: 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0。若某仪表的等级是 S 级, 它的满刻度值为 X_m , 则测量的绝对误差为

$$\Delta X \leq X_m \times S\% \quad (1-8)$$

其引用相对误差为

$$\gamma_m \leq \frac{X_m}{X} \times S\% \quad (1-9)$$

由式(1-9)可知, 由于测量值 X 总是满足 $X \leq X_m$ 的, 可见当仪表等级 S 选定后, X 愈接近 X_m 时, 引用(或满度)相对误差就愈小, 测量就愈准确。因此, 当我们使用这类仪表进行测量时, 一般应使被测量的值尽可能在仪表满刻度值的 1/2 以上。

(三) 测量结果的处理

测量结果通常用数字或图形表示。下面分别进行讨论。

1. 测量结果的数据处理

1) 有效数字

由于存在误差, 所以测量数据总是近似值, 它通常由可靠数字和欠准数字两部分组成。例如, 由电流表测得电流为 12.6mA, 这是个近似数, 12 是可靠数字, 而末位 6 为欠准数字, 这里 12.6 为 3 位有效数字, 或称为 3 位有效位。有效数字或有效位对测量结果的科学表述极为重要。

对有效数字的正确表示, 应注意以下几点:

(1) 整数为“0”, 则小数点后面的“0”不是有效数字。例如, 0.054A 中小数点后面的“0”不

是有效位,0.054A 与 54mA 这两种写法均为 2 位有效数字。

(2)小数点后面的“0”不能随意省略。例如,24mA 与 24.00mA 是有区别的,前者为两位有效数字,后者则是 4 位有效数字。

(3)对后面带“0”的大数目数字,不同写法其有效数字位数是不同的。例如,4 000 如写成 40×10^2 ,则有效数字为 2 位;如写成 4×10^3 ,则有效数字为 1 位;如写成 $4\,000 \pm 1$,则有效数字就是 4 位。

2) 数据舍入规则

实验获得的数据,对于有效位数据后面的数据应该进行取舍。为了使正、负取舍误差出现的机会大致相等,一般采用“小于 5 舍,大于 5 入,等于 5 时取偶数”的舍入规则。即:有效位数后面的数据大于 5 则舍去进 1,小于 5 则舍去不进,恰好等于 5(5 之后没有数据或全为“0”)则视 5 之前一位的数据而定,5 之前一位的数据为偶数则舍去不进,5 之前一位的数据为奇数则舍去进 1。

下面通过几个例子来体会以上规则。设有效位为 4 位:

85.605 4	处理为 85.61(54 大于 50,舍 54 进 1),
5.626 24	处理为 5.626(24 小于 50,舍 24 不进),
32.245 0	处理为 32.24(5 前一位数为偶数,舍 50 不进),
2.687 5	处理为 2.688(5 前一位数为奇数,舍 5 进 1)。

3) 有效数字的运算规则

有效数据的运算,一般应遵循以下规则:

(1)加、减运算时,先统一为同一物理量的统一单位,然后统一精度,使各数据精度与精度最低的数据的精度相同,最后进行运算。

例 1-1: $u_1 = 0.256\,6\text{V}$, $u_2 = 42.96\text{mV}$, $u_3 = 5.505\text{mV}$, 求 $u = u_1 + u_2 + u_3$ 。

解: 第一步:先统一单位。将单位统一到 mV,则有

$$u_1 = 256.6\text{mV}, u_2 = 42.96\text{mV}, u_3 = 5.505\text{mV}$$

第二步:再统一精度。由于 u_1 的精度最低,故统一到 u_1 的 10^{-1}mV 精度,即

$$u_1 = 256.6\text{mV}, u_2 = 43.0\text{mV}, u_3 = 5.5\text{mV}$$

则

$$u = u_1 + u_2 + u_3 = 256.6 + 43.0 + 5.5 = 305.1\text{mV}$$

(2)乘除运算时,先统一有效数字,以有效位最少的数据为准,然后进行运算,运算结果的有效数字的位数应取舍成与运算前有效数字位数最少的相同。

例 1-2: 试计算 0.016, 2.648 和 56.752 三个数的乘积。

解: 由于 0.016 的有效位为 2 位,故其他各数的有效位统一为 2 位,即

$$\begin{array}{ll} 2.648 & \rightarrow 2.6 \\ 56.752 & \rightarrow 57 \end{array}$$

所以题中 3 个数的乘积为

$$0.016 \times 2.6 \times 57 = 2.3712 \rightarrow 2.4 (\text{结果也为 2 位有效位数}).$$

(3)将数平方或开方后,结果可比原数多一位有效位。

(4)用对数进行运算时, n 位有效数字的数应该用 n 位对数表。

2. 测量结果的曲线处理

在分析两个(或多个)物理量之间的关系时,用曲线比用数字、公式表示常常更形象和直观。因此,常将测量结果用曲线来表示。在实际测量过程中,由于各种误差的影响,测量数据将出现离散现象,如将测量点直接连接起来,得到的将不是一条光滑的曲线,而是呈折线状(图 1-1)。但我们应用有关误差理论,可以把各种随机因素引起的曲线波动抹平,使其成为一条光滑均匀的曲线,这个过程称为曲线的修匀。

在要求不太高的测量中,常采用一种简便、可行的工程方法,即分组平均法来修匀曲线。这种方法是将各测量点分成若干组,每组含 2~4 个数据点,然后分别估取各组的几何重心,再将这些重心连接起来。图 1-2 就是每组取 2~4 个数据点进行平均后的修匀曲线。由于对这条曲线进行了测量点的平均,在一定程度上减少了偶然误差的影响,使之较为符合实际情况。

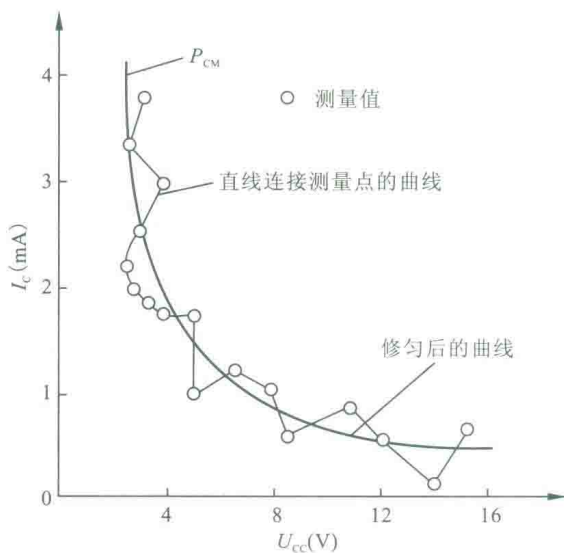


图 1-1 直线连接测量点时曲线的波动情况

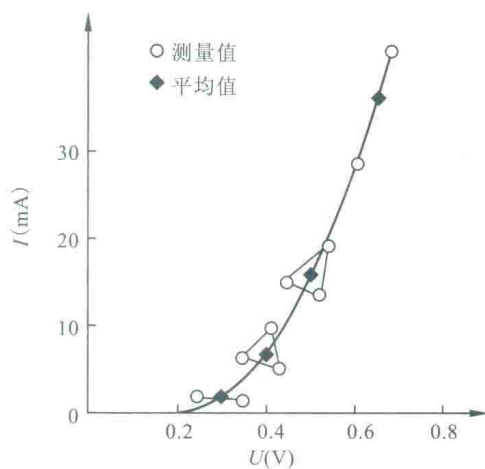


图 1-2 分组平均法修匀曲线

四、测量仪器的阻抗对测量结果的影响

如果没有合理的匹配被测电路的输入或输出阻抗与测量仪器的输入或输出阻抗,将造成测量误差,下面作简单叙述。

(一) 测量仪器输入阻抗对电压测量的影响

以用示波器或数字电压表测量电压为例,电压测量电路如图 1-3 所示,设被测电路的输出阻抗为 Z_s ,被测电压为 $\dot{U}_s$ 。测量仪表(示波器,或者数字电压表测量)输入阻抗为 Z_m ,这时输入到测量仪表的电压 $\dot{U}'$ 为

$$\dot{U}' = \frac{Z_m}{Z_m + Z_s} \dot{U}_s \quad (1-10)$$

由此可见,当 $Z_m \gg Z_s$ 时, $\dot{U}' \approx \dot{U}_s$, 此时误差非常小。如果 $Z_m = Z_s$, $\dot{U}' = \dot{U}_s / 2$, 测量仪表得到的指示值为被测电压实际值的 $1/2$ 。因此,测量电压时,必须要求测量仪器的输入阻抗比被

测电路的输出阻抗大很多。特别是在被测电路的输出阻抗不确定时,就要求测量仪表的输入阻抗越大越好。

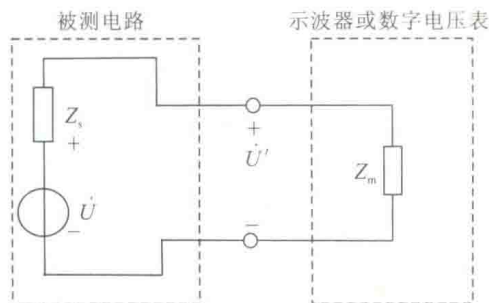


图 1-3 测量仪表输入阻抗对电压测量的影响

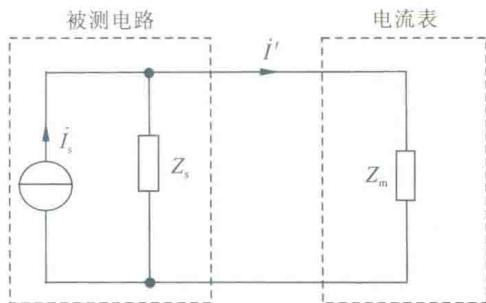


图 1-4 测量仪表输入阻抗对电流测量的影响

(二) 测量仪器输入阻抗对电流测量的影响

电流测量电路如图 1-4 所示, $\dot{I}_s$ 为被测量电流, Z_s 为被测量电路输出阻抗, Z_m 为电流表输入阻抗, 流进电流表的电流测量值为 $\dot{I}'$, 由测量电路可得

$$\dot{I}' = \frac{Z_s}{Z_s + Z_m} \dot{I}_s = \frac{\dot{I}_s}{1 + \frac{Z_m}{Z_s}} \quad (1-11)$$

由此可见, 当 $Z_m \ll Z_s$ 时, $\dot{I}' \approx \dot{I}_s$, 此时误差非常小。如果 $Z_m = Z_s$, $\dot{I}' = \dot{I}_s/2$, 测量仪表得到的指示值为被测电流实际值的 1/2。因此, 在测量电压时, 必须要求测量仪器的输入阻抗比被测电路的输出阻抗小很多。特别是在被测电路的输出阻抗不确定时, 就要求测量仪表的输入阻抗越小越好。

五、接地

(一) 接地的含义

一般电子线路中的接地有两种含义。第一种含义是指接真正的大地即与地球保持等电位, 而且常常局限于所在实验室附近的大地。对于交流供电电网的地线, 通常是指三相电力变压器的中线(又称零线), 它是在发电厂接大地。第二种含义是指接电子测量仪器、设备、被测电路等组成的测量系统的公共连接点。这个公共连接点通常与机壳直接连接在一起, 或通过一个大电容(有时还并联一个大电阻)与机壳相联。通过大电容与机壳连接, 这在交流意义上也相当于与机壳短接。因此, 至少在交流意义上, 一个测量系统中的公共连接点, 就是仪器或设备的机壳。

研究接地问题应包括两方面的内容: 保证实验者人身安全的安全接地和保证正常实验、抑制噪声的技术接地。

(二) 安全接地

绝大多数实验室所用的测量仪器和设备都由 50Hz, 220V 的交流电网供电, 供电线路的中

线(零线)已经在发电厂用良导体接大地,另一根为相线(又称为火线)。如果仪器或设备长期处于湿度较高的环境或长期受潮未烘烤、变压器质量低劣等,变压器的绝缘电阻就会明显下降,机壳可能带电,即发生漏电。通电后,如人体接触机壳就有可能触电。为了防止因漏电使仪器外壳电位升高,造成人身事故,应将仪器外壳接大地。比较安全的办法是采用三孔插头/座,如图 1-5 所示。在图 1-5 中,三孔插座中间较粗的插孔与实验室的地线(实验室的大地)相接,另外两个较细的插孔,一个接 220V 相线(火线),另一个接电网零线(中线)。由于大地电阻 R_d 的存在,电网零线与实验室大地之间存在沿线分布的大地电阻,因此不允许把电网中线与实验室大地相连。否则,在零线断开时,相线通过仪器内部线路和大地构成一个回路,会在大地电阻 R_d 上形成一个电位差,容易产生安全事故。同样道理,也不能用电网零线代替实验室地线,即不能将仪器机壳与电网零线相连接。

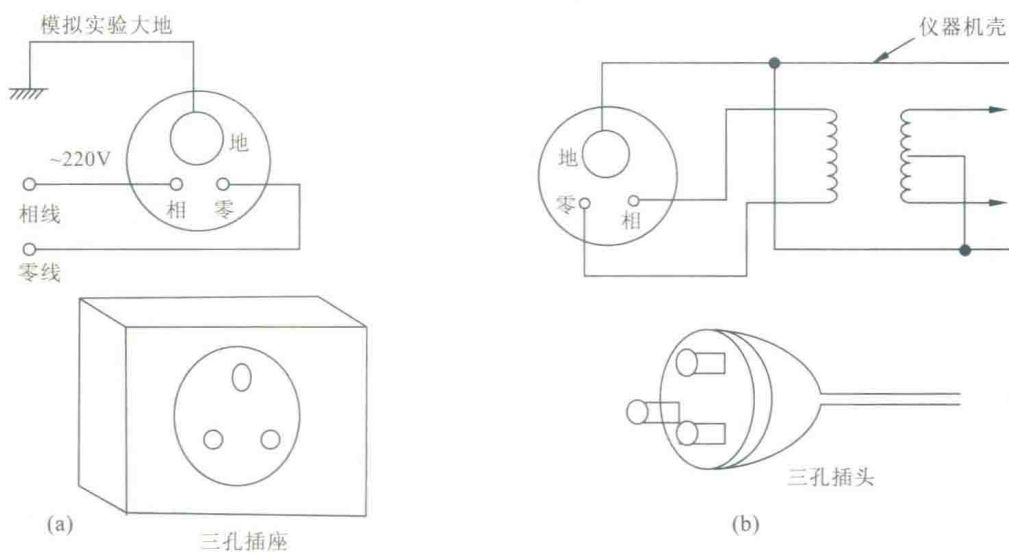


图 1-5 利用三孔插座进行安全接地

一般情况下,是将实验室仪器机壳通过接地线与实验室大地相连接,如图 1-6 所示。接地线是将大的金属板或金属棒深埋在实验室附近的地下(并用撒食盐等办法来减小接地电阻),然后用粗导线与之焊牢再引入实验室,分别接入各电源插座的相应位置。

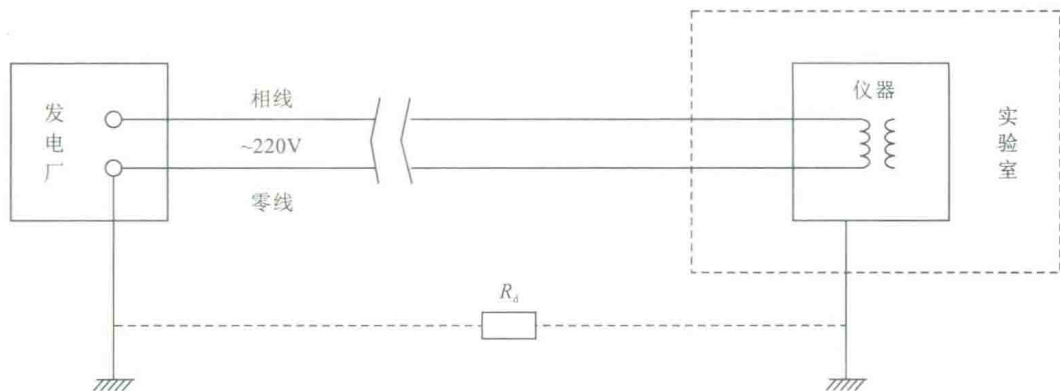


图 1-6 实验室仪器的接地方式

三孔插头中较粗的一根插头应与仪器或设备的机壳相连,另外两根较细的插头分别与仪器或设备的电源变压器的初级线圈的两端相连。利用如图 1-5 所示的电源插接方式,就可以保证仪器或设备的机壳始终与实验室大地处于同电位,从而避免了触电事故。如果电子仪器或设备没有三孔插头,也可以用导线将仪器或设备的机壳与实验室大地相连。

(三)技术接地

在电子线路实验中,由信号源、被测电路和测试仪器所构成的测试系统必须具有公共的零电位线(即接地的第二种含义),被测电路、测量仪器的接地除了保证人身安全外,还可防止干扰或感应电压窜入测量系统或测量仪器形成相互间的干扰,以及消除人体操作的影响。接地是使测量稳定、抑制外界的干扰、保证电子测量仪器和设备能正常工作所必需的。接地不良或接地不当,可能会产生实验者所不希望的结果。下面讨论几种接地不良或不当时对测量的影响。

1. 接地不良引入干扰

如图 1-7(a)所示为用晶体管毫伏表测量信号发生器输出电压,因未接地或接地不良引入干扰的示意图。

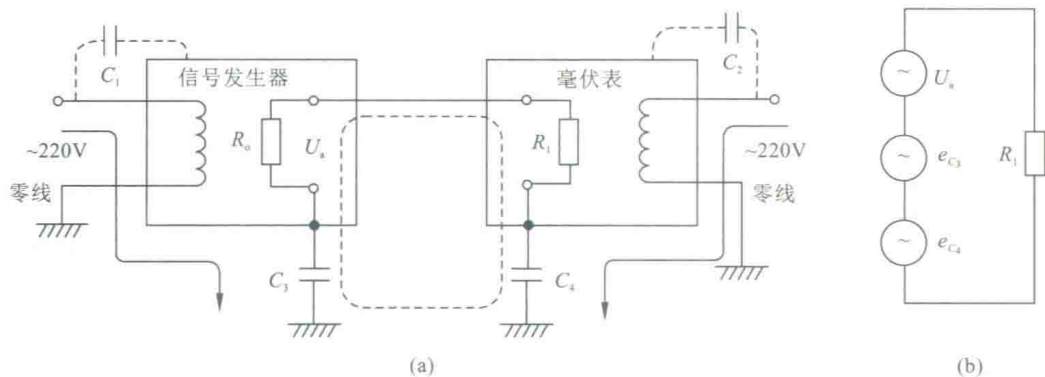


图 1-7 接地不良引入干扰

在图 1-7(a)中, C_1 、 C_2 分别为信号发生器和晶体管毫伏表的电源变压器初级线圈对各自机壳(地线)的分布电容, C_3 、 C_4 分别为信号发生器和晶体管毫伏表的机壳对大地的分布电容。由于图中晶体管毫伏表和信号发生器的地线没有相连,因此实际到达晶体管毫伏表输入端的电压为被测电压 U_x 与分布电容 C_3 、 C_4 所引入的 50Hz 干扰电压 e_{C_3} 、 e_{C_4} 之和,如图 1-7(b)所示。由于晶体管毫伏表的输入阻抗很高(兆欧级),故加到它上面的总电压可能很大而使毫伏表过负荷,表现为在小量程档表头指针超量程而打表。

如果将图 1-7(a)中的晶体管毫伏表改为示波器,则会在示波器的显示屏上看到如图 1-8 所示的一个低频信号叠加一个高频信号的信号干扰电压波形,图中低频信号为 50Hz 的工频干扰噪声。

如果将图 1-7(a)中信号发生器和晶体管毫伏表的地线(机壳)连接在一起,或两地线(机壳)分别接大地,这时 C_3 、 C_4 被短接,干扰就可消除。因此,对高灵敏度、高输入阻抗的电子测量仪器应养成先接好地线再进行测量的习惯,即在实验中,应将各测试仪器仪表的地线(机壳)

和测试电路的地线连接在一起。

在实验过程中,如果测量方法正确、被测电路和测量仪器的工作状态也正常,而得到的仪器读数却比预计值大得多或在示波器上看到如图 1-8 所示的信号波形,那么,这种现象很可能就是地线接触不良造成的。

2. 仪器信号线与地线接反引入干扰

有的实验者认为,信号发生器输出的是交流信号,而交流信号可以不分正负,所以信号线与地线可以互换使用,其实不然。

如图 1-9(a)所示为用示波器观测信号发生器的输出信号时,将两个仪器的信号线分别与对方的地线(机壳)相连,即两仪器不共地。 C_1 、 C_2 分别为两仪器的电源变压器的初级线圈对各自机壳的分布电容, C_3 、 C_4 分别为两仪器的机壳对大地的分布电容,那么图 1-9(a)的测试电路可以简化为图 1-9(b)表示的电路。在图 1-9(b)中 e_{C_3} 、 e_{C_4} 为分布电容 C_3 、 C_4 所引入的 50Hz 工频干扰,如果信号源输出电阻 R_0 不为零, e_{C_3} 、 e_{C_4} 就会在信号源的输出电阻上产生一定的压降,这时在示波器显示屏上同样可以看到与图 1-8 所示相似的叠加有 50Hz 干扰信号的测试波形,只不过这时工频干扰的幅度比上一种情况要小得多。

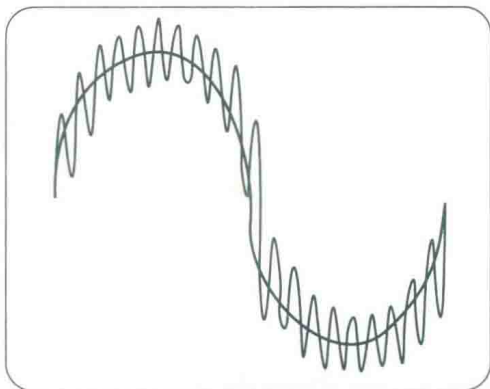


图 1-8 示波器观测 50Hz 干扰信号波形

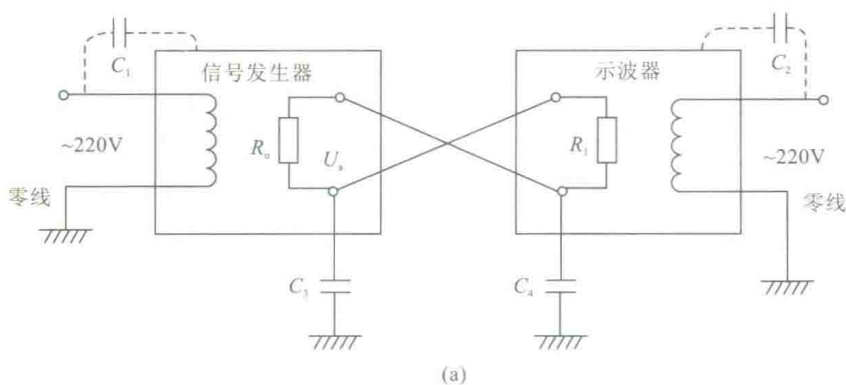
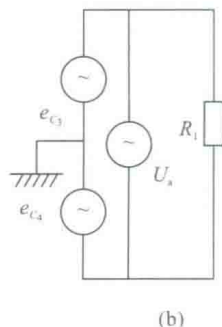


图 1-9 信号线与地线接反引入干扰



(b)

如果将信号发生器和示波器的地线(机壳)相连或两地线(机壳)分别与实验室的大地相接,那么,在示波器的荧光屏上就观测不到任何信号波形,信号发生器的输出端被短路。

3. 高输入阻抗仪表输入端开路引入干扰

以示波器为例来说明这个问题。如图 1-10(a)所示为示波器开路时的等效电路, C_1 、 C_2 分别为示波器输入端对电源变压器初级线圈和大地的分布电容, C_3 、 C_4 分别为机壳对电源变压器初级线圈和大地的分布电容, R_1 、 C_1 分别为示波器的输入电阻和输入电容。此电路可进一步简化为如图 1-10(b)所示电路,可见,4 个分布电容构成一个电桥电路,当 $C_1 C_4 = C_2 C_3$ 时,电桥平衡,示波器输入端没有工频干扰电压。但是,对于分布参数来说,一般不可能满足 $C_1 C_4 = C_2 C_3$,因此示波器的输入端就会有工频干扰电压加入,显示屏上就有 50Hz 交流电压信

号显示。

如果将示波器换成晶体管毫伏表,毫伏表的指针就会指示出干扰电压的大小。正是由于这个原因,毫伏表在使用完毕后,必须将其量程旋钮置到 3V 以上档位,并使输入端短路,否则,一开机,毫伏表的指针会出现打表现象。

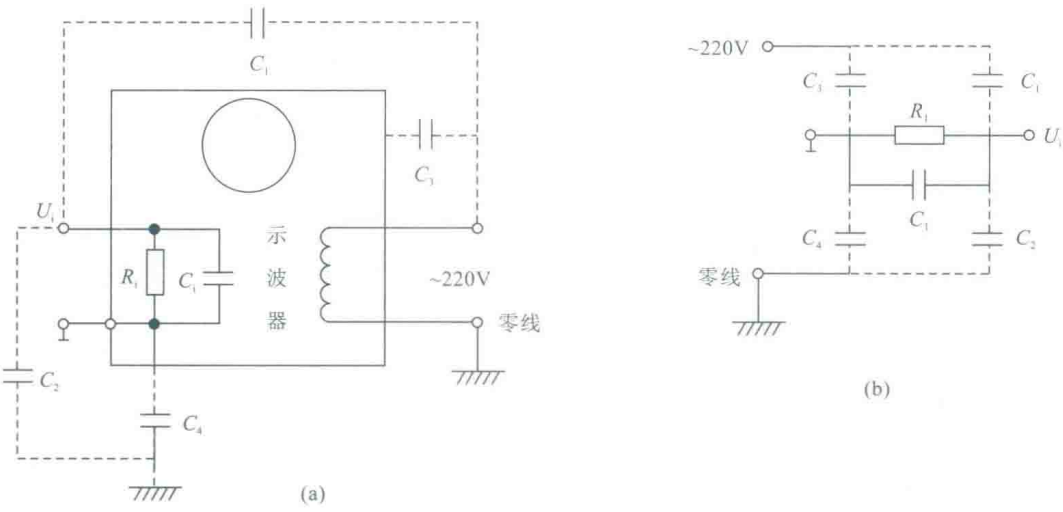


图 1-10 示波器输入端开路引入干扰

4. 接地不当将被测电路短路

这个问题在使用双踪示波器时尤其应注意。如图 1-11 所示,由于双踪示波器两路输入端的地线都是与机壳相连的,因此,在测试中,如果接地不当,就会将被测信号短路。图 1-11 所示为利用双踪示波器测量两路信号的等效电路。在图 1-11(a)中,示波器的通道一(CH1)的地线与被测电路的地线连接在一起,即共地,连接方式是正确的;而示波器通道二(CH2)的信号线与被测电路地线相连,通道二地线却与被测电路信号线相连,连接方式是错误的,这样

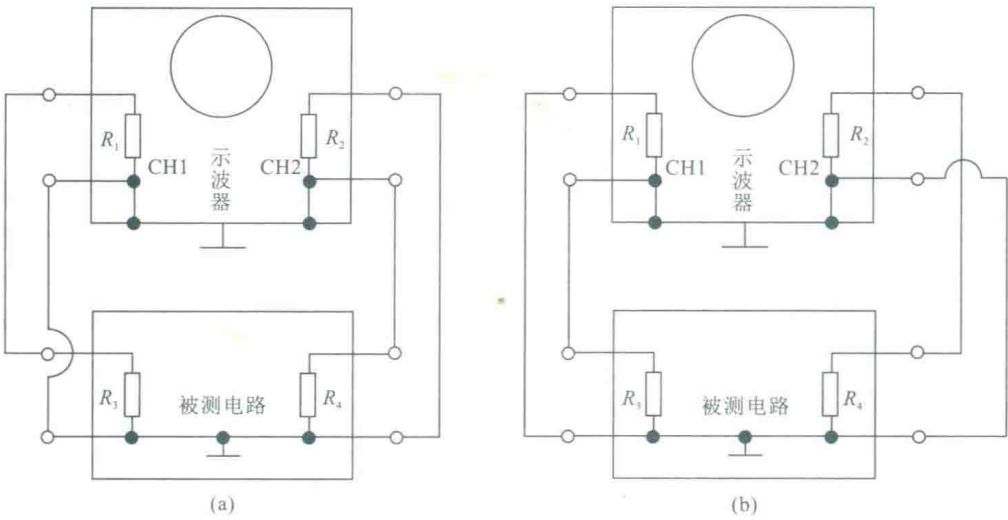


图 1-11 接地不当将被测电路短路