

# 电子技术基础实验

主编 ◇ 段新文 李银轮

主审 ◇ 赵顺珍



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 电子技术基础实验

主编 段新文 李银轮

主审 赵顺珍

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是青海师范大学国家级物理实验教学示范中心的建设成果之一,在保证基础性、系统性和科学性的前提下,力求体现先进性、实用性和可操作性。全书共6章,内容包括电子技术实验基础知识、模拟电路实验、数字电路实验、高频电路实验、电子电路调试与故障检测技术、常用元器件及测量仪器介绍,教学学时为60~70学时。

本书可作为高等师范院校、理工科大学电子技术基础的实验课程教材,也可作为电大、函大及自学考试等相关专业的参考教材,是一本适用面较宽的实验教学用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础实验/段新文,李银轮主编. —北京:科学出版社,2010.6  
ISBN 978-7-03-027620-9

I. ①电… II. ①段… ②李… III. ①电子技术-实验 IV. ①TN-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第089493号

责任编辑:匡敏 潘斯斯 / 责任校对:李奕莹  
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市安泰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2010年6月第一版 开本:B5(720×1000)

2010年6月第一次印刷 印张:15 1/2

印数:1—4 500 字数:308 000

定价:25.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

本书是由中国高等学校电子教育学会组织富有教学经验和教材编写经验的教师,根据现代电子科学技术的飞速发展以及高等学校电子类实验教材的现状共同编写而成的。本书编写时参照了现行高等师范院校和理工科院校相关专业的电子技术基础课程教学大纲所规定的教学内容。考虑到教育部颁布的教学大纲自制定至今已有多年,在这期间电子技术得到了飞速发展,特别是大量各种功能的集成芯片在电子技术基础实验课教学中得到了日益广泛的应用。因此,本书内容在保证基础性、科学性的前提下,力求体现先进性、实用性和可操作性。

本书按总学时 60~70 学时编写,全书共分为 6 章。第一章“电子技术实验基础知识”较为完整地介绍了电子测量的基础知识及电子技术基础实验中一些常用电量的测量方法;第二章“模拟电路实验”共优选了 12 个基础性的实验,可以对学员进行较为全面的模拟电路基础性训练;第三章“数字电路实验”安排了 13 个实验,选用目前电子设计中应用较多的集成电路芯片,这些实验内容均可在相应的数字实验箱上完成;第四章“高频电路实验”安排了 9 个实验,这些实验既考虑到基础性,又具有一定的典型性、综合性,基本覆盖了高频电路的各知识点,体现了近几年高频实验工作的成果;第五章“电子电路调试与故障检测技术”介绍了调试技术和故障排除的一般方法;第六章“常用元器件及测量仪器介绍”介绍了常用元器件及电子测量仪器的使用方法和技术指标等。

本书可作为高等师范院校、理工科大学相关专业的实验课教材,也可用于函授及自学考试教材,是一本适用面较宽的教学用书。

参加本书编写工作的有段新文(第一、二章)、易晓斌(第四章)、李银轮(第三、五、六章)等同志。本书主编为段新文、李银轮同志,其中,段新文同志负责全书的章节组织和定稿。赵顺珍教授对全书进行了审定,并提出了许多建设性的修改意见。谨在此表示诚挚的感谢!

由于编者的水平有限,加之时间比较仓促,书中难免会有许多不足之处,恳切希望使用本书的广大教师和读者批评指正。

编 者

2010 年 3 月

# 目 录

## 前言

<b>第一章 电子技术实验基础知识</b> .....	1
1.1 电子电路测量技术的基础知识 .....	1
1.1.1 电子技术基础实验的目的和意义 .....	1
1.1.2 电子技术基础实验的一般要求 .....	2
1.1.3 误差分析与测量结果的处理 .....	3
1.1.4 测量仪器的阻抗对测量的影响 .....	7
1.1.5 接地、电源接地 .....	9
1.2 电子技术实验中基本电量的测量.....	14
1.2.1 电阻的测量 .....	14
1.2.2 电容的测量 .....	17
1.2.3 电感的测量 .....	18
1.2.4 电压的测量 .....	20
1.2.5 电流的测量 .....	30
<b>第二章 模拟电路实验</b> .....	33
实验 2.1 示波器的使用 .....	33
实验 2.2 晶体管特性鉴别和测试 .....	42
实验 2.3 放大器静态工作点和放大倍数的测量 .....	47
实验 2.4 结型场效应管共源放大电路 .....	53
实验 2.5 射极跟随器性能测试 .....	56
实验 2.6 负反馈放大器 .....	61
实验 2.7 差动放大器 .....	66
实验 2.8 互补对称功率放大器 .....	70
实验 2.9 集成运算放大器测试 .....	73
实验 2.10 集成运算放大器的基本应用 .....	80
实验 2.11 RC 桥式振荡器 .....	84
实验 2.12 晶体管直流稳压电源 .....	87
<b>第三章 数字电路实验</b> .....	91
实验 3.1 TTL 与非门参数测试及使用 .....	91
实验 3.2 组合逻辑电路分析与设计(一) .....	95

实验 3.3	组合逻辑电路分析与设计(二)	98
实验 3.4	基本 RS 触发器和 D 触发器	103
实验 3.5	JK 触发器	105
实验 3.6	计数器及其应用	108
实验 3.7	脉冲分配器及其应用	112
实验 3.8	4 位双向移位寄存器	116
实验 3.9	传输门的使用	119
实验 3.10	555 集成定时器及其应用	122
实验 3.11	D/A、A/D 转换器	126
实验 3.12	数字抢答器设计	130
实验 3.13	交通灯控制电路	136
<b>第四章</b>	<b>高频电路实验</b>	<b>143</b>
实验 4.1	LC 与晶体振荡器	143
实验 4.2	通频带展宽	149
实验 4.3	非线性波形变换	156
实验 4.4	变容二极管调频器与相位鉴频器	161
实验 4.5	幅度调制与解调电路	168
实验 4.6	锁相调频与鉴频	173
实验 4.7	函数信号发生器	180
实验 4.8	集成乘法器混频	184
实验 4.9	小信号调谐放大电路	188
<b>第五章</b>	<b>电子电路调试与故障检测技术</b>	<b>194</b>
5.1	调试技术	194
5.1.1	调试前的直观检查	194
5.1.2	调试方法	195
5.1.3	调试注意事项	196
5.2	故障检测	197
5.2.1	故障现象和产生故障的原因	198
5.2.2	检查故障的一般方法	198
<b>第六章</b>	<b>常用元器件及测量仪器介绍</b>	<b>203</b>
6.1	常用元器件	203
6.1.1	电阻器和电位器	203
6.1.2	电容器	207
6.1.3	电感器	212

---

6.2 万用表 .....	213
6.2.1 MF47F 型指针式万用表 .....	214
6.2.2 DY2101 型数字式万用表 .....	217
6.3 DA16B 型毫伏表 .....	219
6.4 YB4320G 型双踪示波器 .....	221
6.5 YB1603P 函数信号发生器 .....	228
6.6 BT-3C 型频率特性测试仪 .....	230
6.7 HC-F1000L 型多功能频率计 .....	232
6.8 HH1713 型双路直流稳压电源 .....	235
参考文献 .....	237

# 第一章 电子技术实验基础知识

## 1.1 电子电路测量技术的基础知识

### 1.1.1 电子技术基础实验的目的和意义

实验是将事物置于控制或特定的条件下加以观测,是对事物发展规律进行科学认识的必要环节,是科学理论的源泉、自然科学的根本、工程技术的基础。任何科学技术的发展都离不开实验。电子技术是一门实践性很强的学科,它的任务是使学生获得电子技术方面的基础理论、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,都具有十分重要的意义。

电子技术是一门飞速发展的学科,经济社会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诸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能得到提高。此外,通过实验还可以培养学生勤奋进取、严肃认真、理论联系实际的良好作风和为科学事业奋斗的精神。

电子技术实验,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等四大类。

验证性实验和训练性实验是针对电子技术基础理论而设置的,通过实验获得感性认识,验证和巩固重要的基础理论,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。同时,培养学生一定的安装、调试、分析、寻找故障等技能。

综合性实验侧重于对一些理论知识的综合应用和实验的综合分析,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、可行性、元器件及测量仪器的综合应用等。

设计性实验对学生来说,既有综合性又有探索性。它主要侧重于某些理论知识的灵活应用。要求学生在教师的指导下独立从事查阅资料、设计方案与组合实验等工作,并写出实验报告。借助于计算机仿真,可以使实验方案更加完善、合理。



这类实验对提高学生的科学实验能力以及科学研究的能力非常有益。

### 1.1.2 电子技术基础实验的一般要求

尽管每个电子技术实验的目的和内容不同,但为了培养良好的学风,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,对电子技术实验的准备阶段、进行阶段、完成阶段和实验报告分别提出下列基本要求。

#### 1. 实验前准备

为了避免盲目性,参加实验者应对实验内容进行预习。通过预习,明确实验目的和要求,掌握实验的基本原理,看懂实验电路图,查阅有关资料,拟出实验方法和步骤,设计实验表格,对思考题作出解答,初步估算(或分析)实验结果,最后做出预习报告。

#### 2. 实验进行

(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适当,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所得资料、波形(并进行分析判断所得资料、波形是否正确)。若发生故障,应独立思考,耐心寻找故障原因并排除,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。

#### 3. 实验完成

实验报告是对实验工作的全面总结,学生做完实验后,必须用简明的形式将实验结果和实验情况完整真实地表达出来。

##### 1) 实验报告的内容

实验报告应包括以下几个部分。

(1) 实验的目的和要求。

(2) 实验电路、测试电路和实验的工作原理。

(3) 实验用仪器、主要工具。

(4) 实验的具体步骤、实验原始数据及实验过程的详细情况记录。

(5) 实验结果和分析。必要时,应对实验结果进行误差分析。

(6) 实验小结。实验小结即总结实验完成情况,对实验方案和实验结果进行讨论,对实验中遇到的问题进行分析,简单叙述实验的收获和体会。

(7) 参考资料。记录实验前、后阅读的有关资料。应记录资料的名称、作者和简单内容,为今后查阅提供方便。

## 2) 实验报告的基本要求

实验报告的基本要求:结论正确、分析合理、讨论深入、文理通顺、简明扼要、符号标准、字迹端正、图表清晰。在实验报告上还应注明以下内容:课题、实验者、实验日期、使用仪器编号等。

### 1.1.3 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,对实验人员及科技工作者来说是必须了解和掌握的。

#### 1. 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。它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仔细阅读仪器的使用说明书,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。

例如,万用表表盘上的符号: $\perp$ 、 $\parallel$ 、 $\angle 60^\circ$ 分别表示万用表垂直位置使用、水平位置使用与水平面倾斜成 $60^\circ$ 使用。使用时应按规定放置万用表,否则会带来误差,至于用欧姆挡测电阻前不調零所带来的误差,更是显而易见的。

(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、对某些经典测量方法作了不适当的修改简化所产生的,即凡是在测量结果的表达式中没有得到反应的因素,而实际上这些因素在测量过程中又起到一定的作用所引起的误差。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为测量结果,而不计电表本身内阻的影响,就会引起误差。

## 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、随机误差和疏失误差三大类。

(1) 系统误差。它是指在相同条件下重复测量同一个量时,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减少或消除。在电子技术实验中,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,又称偶然误差。在相同条件下多次重复测量同一个量时,误差大小和符号无规律变化的误差称为随机误差。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作出估计,或通过多次重复测量,然后取其算术平均值来达到减小误差的目的。

(3) 疏失误差,又称粗差。这是一种过失误差,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差。含有粗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。

## 2. 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

设被测量的真值为  $A_0$ , 测量仪器的示值为  $X$ , 则绝对误差为

$$\Delta X = X - A_0$$

在某一时间及空间条件下,被测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。故常用高一标准测量仪器的测量值  $A$  代替真值  $A_0$ , 则

$$\Delta X = X - A$$

在测量前,测量仪器应由高一标准仪器进行校正,校正量常用修正值  $C$  表示。对于被测量,高一标准仪器的示值减去测量仪器的示值所得的差值,就是修正值。实际上,修正值就是绝对误差,只是符号相反

$$C = -\Delta X = A - X$$

利用修正值便可得该仪器所测量的实际值

$$A = X + C$$

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

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

修正值给出的方式可以是曲线、公式或数表。对于自动测量仪器,修正值可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  $\Delta X_1$  只占被测量的 2%, 而  $\Delta X_2$  却占被测量的 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  $\Delta X$  与被测量的实际值  $A$  之比的百分数来表示的相对误差, 记为

$$\gamma_A = \frac{\Delta X}{A} \times 100\%$$

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

$$\gamma_X = \frac{\Delta X}{X} \times 100\%$$

(3) 引用(或满度)相对误差。它是用绝对误差  $\Delta X$  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

$$\gamma_m = \frac{\Delta X}{X_m} \times 100\%$$

电工仪表的准确度等级就是由  $\gamma_m$  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  $\gamma_m$  值共分七级: 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

$$\Delta X \leq X_m S\%$$

其示值相对误差为

$$\gamma_X \leq \frac{X_m}{X} S\%$$

在上式中, 总是满足  $X \leq X_m$  的, 可见当仪表等级 S 选定后,  $X$  越接近  $X_m$  时,  $\gamma_X$  的上限值越小, 测量越准确。因此, 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。

## 3. 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, 就是个近似数, 12 是可靠数字, 而末位 6 为欠准数字, 即 12.6 为三位有效数字。有效数字对测量结

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 与计量单位有关的“0”不是有效数字。例如,0.054A与54mA这两种写法均为两位有效数字。

② 小数点后面的“0”不能随意省略。例如,18mA与18.00mA是有区别的,前者为两位有效数字,后者则是四位有效数字。

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,3000若写成 $30 \times 10^2$ ,则成为两位有效数字;若写成 $3 \times 10^3$ ,则成为一位有效数字;若写成 $3000 \pm 1$ ,就是四位有效数字。

④ 如已知误差,则有效数字的位数应与误差所在位数相一致,即有效数字的最后一位数应与误差所在位对齐。例如,仪表误差为 $\pm 0.02\text{V}$ ,测得数为3.2832V,其结果应写作3.28V。因为小数点后面第二位“8”所在位已经产生了误差,所以从小数点后面第三位开始后面的“32”已经没有意义了,写结果时应舍去。

⑤ 当给出的误差有单位时,则测量资料的写法应与其一致。例如,频率计的测量误差为“ $\pm$ 数 kHz”,其测得某信号的频率为7100kHz,可写成7.100MHz和 $7100 \times 10^3\text{Hz}$ ,若写成7100000Hz或7.1MHz是不行的。因为后者的有效数字与仪器的测量误差不一致。

(2) 数据舍入规则。为了使正、负舍入误差出现的机会大致相等,现已广泛采用“小于5舍,大于5入,等于5时取偶数”的舍入规则,即

① 若保留 $n$ 位有效数字,当后面的数值小于第 $n$ 位的0.5单位就舍去。

② 若保留 $n$ 位有效数字,当后面的数值大于第 $n$ 位的0.5单位就在第 $n$ 位数字上加1。

③ 若保留 $n$ 位有效数字,当后面的数值恰为第 $n$ 位的0.5单位,则当第 $n$ 位数字为偶数(0,2,4,6,8)时应舍去后面的数字(即末位不变),当第 $n$ 位数字为奇数(1,3,5,7,9)时,第 $n$ 位数字应加1(即将末位凑成为偶数)。这样,由于舍入概率相同,当舍入次数足够多时,舍入的误差就会抵消。同时,这种舍入规则,使有效数字的尾数为偶数的机会增多,能被除尽的机会比奇数多,有利于准确计算。

(3) 有效数字的运算规则。当测量结果需要进行中间运算时,有效数字的取舍,原则上取决于参与运算的各数中精度最差的那一项。一般应遵循以下规则。

① 当几个近似值进行加、减运算时,在各数中(采用同一计量单位),以小数点后位数最少的那一个数(如无小数点,则为有效位数最少者)为准,其余各数均舍入至比该数多一位后再进行加减运算,结果所保留的小数点后的位数,应与各数中小数点后位数最少者的位数相同。

② 进行乘除运算时,在各数中,以有效数字位数最少的那一个数为准,其余各数及积(或商)均舍入至比该因子多一位后进行运算,而与小数点位置无关。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因子相同。

③ 将数平方或开方后,结果可比原数多保留一位。

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。

⑤ 若计算式中出现如 $e$ 、 $\pi$ 、 $\sqrt{3}$ 等常数时,可根据具体情况来决定它们应取的位数。

## 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,测量结果常用曲线来表示。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,将不是一条光滑的曲线,而是呈折线状。

如图 1.1.1 所示,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——分组平均法来修匀曲线。这种方法是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,再将重心连接起来。图 1.1.2 是每组取 2~4 个数据点进行平均后的修匀曲线。这条曲线,由于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。

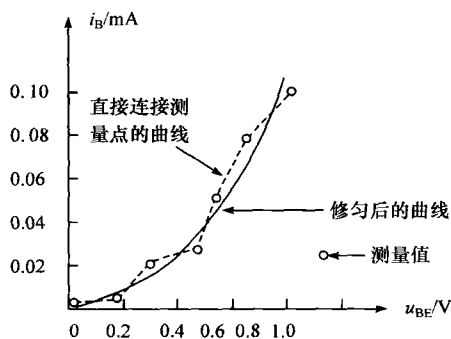


图 1.1.1 直线连接测量点时曲线的波动情况

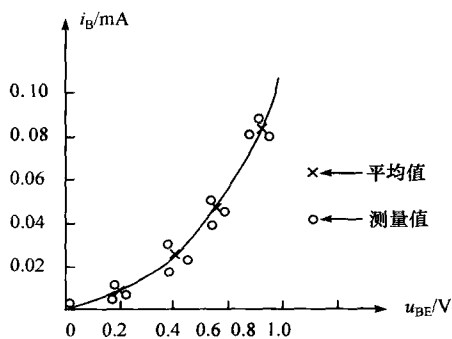


图 1.1.2 分组平均法修匀曲线

## 1.1.4 测量仪器的阻抗对测量的影响

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间的关系,如果没有合理的匹配将造成测量误差,下面作简单介绍。

### 1. 测量仪器和被测电路并联

以用示波器或数字电压表测量电路的内部电压为例,在图 1.1.3 中,被测电路

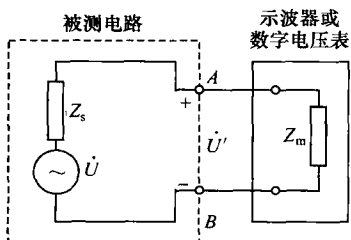


图 1.1.3 测量仪器和被测电路并联

的输出阻抗为  $Z_s$ ，内部电压为  $U$ 。用输入阻抗为  $Z_m$  的示波器，或者数字电压表测量时，测量点 A、B 间的电压  $U'$  为

$$U' = \frac{Z_m}{Z_m + Z_s} \times U$$

当  $Z_m \gg Z_s$  时， $U' \approx U$ ，此时误差非常小。如果  $Z_m = Z_s$ ， $U' = U/2$ ，指示值为实际电压的 1/2。因此，在这种情况下，必须使测量仪器的输入阻抗比被测电路的输出阻抗大很多。

另外，一般  $Z_m$  和  $Z_s$  是频率的函数（通常多是频率越高，阻抗越低），尤其在高频测量时必须注意这一点。

### 2. 测量仪器和被测电路串联

测量仪器和被测电路串联测量电流时，如图 1.1.4 所示，若未接  $Z_m$  前的真值为  $I$ ，串接  $Z_m$  后电流的测量值为  $I'$ ，则

$$I = \frac{U}{Z_s} \quad I' = \frac{I}{1 + \frac{Z_m}{Z_s}}$$

若  $Z_m \ll Z_s$ ，则  $I' \approx I$ ，测量值近于真值。如果  $Z_m = Z_s$ ，则  $I' = I/2$ ，测量指示值为真值的 1/2 倍。因此，在这种情况下，测量仪器的输入阻抗应远小于被测电路的输出阻抗。由此可见，如果忽略了测量仪器的阻抗，会对结果产生较大影响，实验中应给予足够的重视。

### 3. 阻抗匹配

用信号发生器进行测量时，如图 1.1.5 所示，当被测电路输入阻抗  $Z_m$  和信号发生器的输出阻抗  $Z_s$  相等时，称为阻抗匹配，匹配的目的在于使负载  $Z_m$  上得到最大功率，特别在高频电路中，此种匹配还为了在负载端不产生反射。

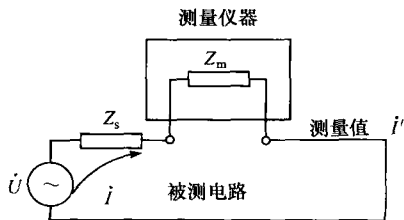


图 1.1.4 测量仪器和被测电路串联

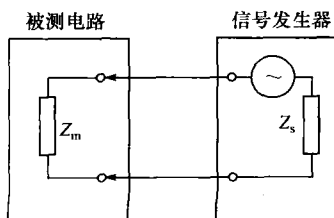


图 1.1.5

### 1.1.5 接地、电源接地

#### 1. 接地的含义

一般电子技术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——有形或无形的)与机壳相连(这在交流意义上也相当于短路)。因此,至少在交流意义上,可以把一个测量系统中的公共连接点(即电路的地线与仪器或设备的机壳)和地看作同义语。

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。

#### 2. 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。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。

为了避免触电事故的发生,可在通电后用试电笔检查机壳是否明显带电。一般情况下,电源变压器初级线圈两端的漏电阻是不相同的,因此往往把单相电源插头换个方向插入电源插座中部可削弱甚至消除漏电现象。

比较安全的办法是采用三孔插头座,如图 1.1.6 中所示。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),由于实验室的地线与电网中线的实际节点不同,二者之间存在一定的接地电阻  $R_d$ (这个电阻还随地区、距离、季节等变化,一般是不稳定的),如图 1.1.7 所示。

电网零线与实验室大地之间由于存在沿线分布的接地电阻,因此不允许把电网中线与实验室地线相连。否则,零线电流会在大地电阻  $R_d$  上形成一个电位差。同样道理,也不能用电网零线代替实验室地线。实验室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。

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 1.1.6 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。

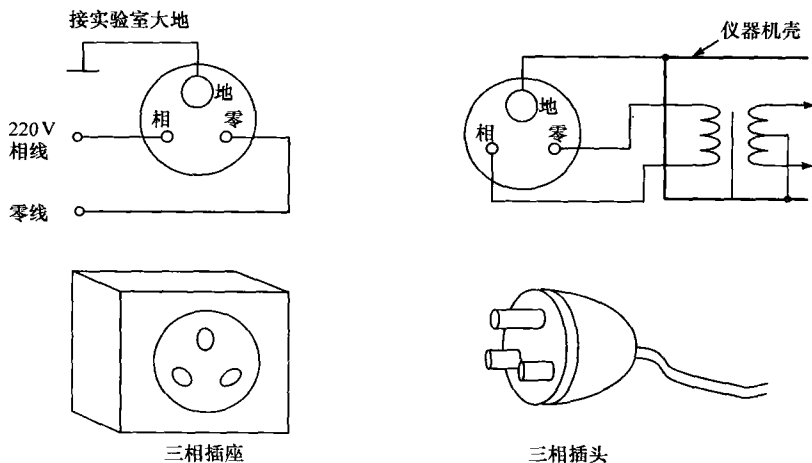


图 1.1.6 利用三孔插座进行安全接地

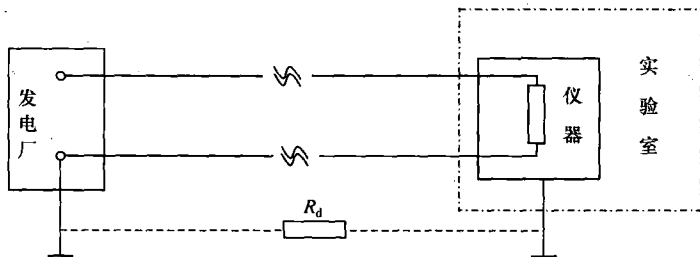


图 1.1.7 实验室的地线与电网电线间的电阻

### 3. 技术接地

#### 1) 接地不良引入干扰

在电子电路实验中,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。接地能抑制外界的干扰,保证电子测量仪器和设备正常工作,是使测量稳定所必需的。如果接地不当,可能会产生实验者所不希望的结果。下面举几个常见的例子来说明。

图 1.1.8 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