

高等学校教材

电子技术基础实验

华中理工大学电子学教研室

陈大钦 朱如琪 高洁 编

陈大钦 主编

高等教育出版社



TN01-33

C38

445766

高等学校教材

电子技术基础实验

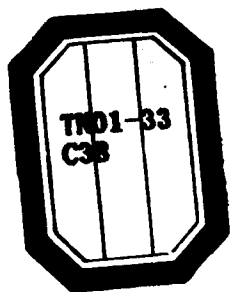
华中理工大学电子学教研室

陈大钦 朱如琪 高洁 编

陈大钦 主编



00445766



高等教育出版社

(京)112号

本书是参照国家教委颁布的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》和《高等学校工程专科电子技术基础教学基本要求》进行编写的,全书分为三篇和四个附录。

第一篇为电子电路调试与实验基础知识,包括电子技术基础实验须知,常用元、器件的识别和简单测试,基本测量技术和电子电路调试与故障检测技术四章。第二篇和第三篇为模拟电路实验和数字电路实验。总计 29 个实验,其中综合设计性实验 7 个。在选题上力求做到有趣。除部分模拟实验属基础性单元电路实验外,大部分实验都具有“小部件”性质。目的是通过这些以“小部件”为主的实验,提高学生对常用集成块(或半导体电路)的综合应用能力。

为适应电子技术实验独立设课和不独立设课的不同要求,本教材中每个实验都附有实验原理、参考电路和思考题。

本书可作为高等学校本科和高等学校工程专科电气类、电子类专业电子技术基础实验课程的教材。也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

本书责任编辑 章浩平

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础实验 / 陈大钦主编. —北京: 高等教育出版社, 1994.5(1999 重印)

ISBN 7-04-004682-2

I. 电… II. 陈… III. 电子技术—实验 IV. TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 00780 号

书 名 大学物理教程 第二册 第二版
作 者 吴锡珑 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010—64054588

传 真 010—64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 中国科学院印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 1994 年 5 月第 1 版

印 张 17.25

印 次 1999 年 6 月第 5 次印刷

字 数 400 000

定 价 14.10 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等

质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

序

本书是为高等学校电气、电子类和其他相近专业而编写的实验教材。在编写过程中参照了国家教委颁布的《高等工业学校电工课程教学基本要求》中“电子技术基础课程教学基本要求”和《高等学校工程专科电子技术基础教学基本要求》，因此，本书也可作为高等工程专科学校有关专业的电子技术基础实验教材。

知识、技能和能力的培养是密切相关的，学习者的能力要在学习知识和获取技能中日积月累，逐渐形成与发展。从知识的掌握到能力的形成发展不是直接的，而是要以技能为中介。因此，对于电子技术基础这样一门具有工程特点和实践性很强的课程，加强工程训练，特别是实践技能的训练，对于培养工程人员的素质和能力具有十分重要的作用。

编写本书的指导思想是：

1. 验证性的实验具有一定作用，但不宜片面强调，重点应放在基本技能训练上。因此，本教材以技能培养作为主线组织教学。并在教材中专门编写了一篇“电子电路调试与实验基础知识”作为教学基本内容。

2. 为了突出基本技能的训练和培养学生分析和解决实际问题的能力，本教材力求做到目标明确、措施落实。

(1) 会正确使用常用电子仪器是电子技术基础实验的基本要求。应当让学生掌握常用电子仪器测量电子电路的主要技术指标。重点培养学生熟练使用示波器，包括会选用同步信号，会用示波器测量相位、时间、频率、电压(或电流)的平均值、有效值、峰值和显示 X - Y 函数关系等。因此，我们把学习电子仪器(特别是示波器)的使用和测试方法贯彻于理论教学和各个实验中。

(2) 把阅读和查阅电子器件(特别是数字集成电路块)的外引线和功能表作为一种基本训练列入有关实验目的中。

(3) 所有实验都是由学生自行安装、调试，并且相当一部分实验只提出实验内容和目的要求，实验实施方案要由学生自己拟定，以培养他们组织实验的能力。

(4) 考虑到在实验过程中故障现象是很多的，因此，在这方面没有专门安排实验内容。指导教师应抓住实验中的典型故障，由教师或学生向全班现场讲解故障现象及其消除方法，引导学生进行思考，以提高学生分析问题、解决问题的能力。

(5) 在选题上力求做到有趣。除部分模拟实验属基础性单元电路实验外，大部分(特别是数字)实验都具有“小部件”性质。目的是通过这些以“小部件”为主的实验，提高学生对常用集成块(或半导体电路)的综合应用能力。并在此基础上，在模拟电路和数字电路中再选做一两个较大型的综合设计性实验，以培养学生初步设计较典型电子电路的能力。

有电子技术课程设计的专业(如自控类专业等)，学生还可以通过两周左右的课程设计进

一步得到锻炼和提高。

3. 为了适应电子技术实验独立设课和不独立设课的不同要求,本教材每个实验都附有实验原理、参考电路和思考题。大多数学生通过自学实验原理内容后,即可自行完成实验。

4. 本教材按总学时 50~70 学时左右编写,全书共分为三篇和四个附录。第一篇可作为较系统讲授电子电路调试与实验基础知识的基本教材,重点应放在第三章基本测量技术和第四章电子电路调试和故障检测(其中带“*”部分可作为选讲内容)。第二篇和第三篇为模拟电路实验和数字电路实验,总计 29 个实验,其中综合设计性实验 7 个。一般实验每次 3 学时,综合设计性实验每次 6 学时。各学校可根据教学条件和不同的教学基本要求进行选择。

对于总学时为 60 学时左右的电子技术基础实验课,建议按下表安排教学:

讲 课		实 验		总计学时
内 容	学时数	内 容	学时数	
第一章1.1节,1.2节	0.5	模拟实验1,2,4,5,6,8,11, 12,13 A (或13 C)	30	62
第三章3.1节, 3.2节	1			
第三章3.3节	4	数字实验14,15(二),16 19(或20),21, 22, (23 B 或 23 A)	24	
第四章4.1节,4.2节,4.3节	2.5			
合 计	8	合 计	54	

参加本书编写工作的有陈大钦(第一、三、四章及实验 3,10,11,12,15(一),15(二))、高洁(第二章及实验 1,2,4,5,6,7,8,9,14,16,17,18,19,20,21,22)、朱如琪(实验 13 A,13 B,13 C,13 D,23 A,23 B,23 C及附录 A、B、C、D)等同志,陈大钦同志为主编,负责全书的组织 and 定稿。在编写过程中,得到了康华光教授的热心指导。**肖锡湘**同志参加了编写大纲的讨论和制定。杨晓安同志为本书绘制了全部底图。

本书由浙江大学郑家龙副教授主审,参加审阅的还有王小海讲师,吴斌讲师。三位老师对初稿进行了认真审阅,提出了许多宝贵的意见和修改建议,在此谨致衷心的感谢。

电子技术日新月异,教学改革任重道远。十年来我们虽然在电子技术基础实验改革中做了一些工作,但和要求相比,还有很大差距。由于水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

1992 年 9 月

目 录

第一篇 电子电路调试与 实验基础知识

第一章 电子技术基础实验须知

- 1.1 电子技术基础实验的目的和意义 1
- 1.2 电子技术基础实验的一般要求 2
- *1.3 误差分析与测量结果的处理 3
 - 1.3.1 误差的来源与分类 3
 - 1.3.2 误差表示法 4
 - 1.3.3 测量结果的处理 6

第二章 常用元、器件的识别 与简单测试

- 2.1 电阻器、电容器、电感器的识别与
简单测试 8
 - 2.1.1 电阻器和电位器 8
 - 2.1.2 电容器 12
 - 2.1.3 电感器 16
- 2.2 半导体二极管、三极管的识别与简
单测试 17
 - 2.2.1 二极管的识别与简单测试 17
 - 2.2.2 三极管的识别与简单测试 20
- 2.3 集成电路的识别 22
 - 2.3.1 集成电路的型号命名法 22
 - 2.3.2 集成电路的分类 23
 - 2.3.3 集成电路外引线的识别 24

第三章 基本测量技术

- 3.1 概述 25
- 3.2 电子电路电压的测量 28
 - 3.2.1 高内阻回路直流电压的测量 28
 - 3.2.2 交流电压的测量 29
 - 3.2.3 电压测量的数字化方法 35

- 3.3 电子示波器及其在测量中的应用 35
 - 3.3.1 电子示波器显示波形的原理 36
 - 3.3.2 示波器的工作原理 40
 - 3.3.3 电子示波器在基本测量中的
一般应用 47

第四章 电子电路调试与 故障检测技术

- 4.1 调试技术 56
 - 4.1.1 调试前的直观检查 56
 - 4.1.2 调试方法 56
 - 4.1.3 调试中注意事项 58
- 4.2 检查故障的一般方法 58
 - 4.2.1 故障现象和产生故障的原因 59
 - 4.2.2 检查故障的一般方法 59
- 4.3 电子电路干扰的抑制 62
 - 4.3.1 干扰源 62
 - 4.3.2 干扰途径及其抑制方法 62
 - 4.3.3 有关接地的几点基本知识 65

第二篇 模拟电路实验

- 实验一 常用电子仪器的使用练习(一) 69
- 实验二 单级共射放大电路 73
- 实验三 结型场效应管共源放大
电路 77
- 实验四 共射-共集放大电路 81
- 实验五 带恒流源的差动放大
电路 85
- 实验六 负反馈放大器 88
- 实验七 集成运算放大器的参数测
试 93
- 实验八 基本运算电路 98

实验九 模拟乘法器	103
实验十 OTL 互补对称功率放大器	108
实验十一 波形产生器	114
实验十二 有源滤波器	118
实验十三 模拟电路综合设计性实验	121
A. 使用运算放大器组成繁用表的设计与调试	121
B. 温度检测放大电路的设计与调试	125
C. 音频功率放大电路的焊接与调试	128
D. 直流稳压电路印刷电路板的自制、焊接与调试	130
 第三篇 数字电路实验	
实验十四 常用电子仪器的使用练习(二)及逻辑门的测试	133
实验十五(一) 用SSI 构成的组合逻辑电路的分析、设计与调试	139
实验十五(二) MSI 组合逻辑电路	142
实验十六 集成JK触发器	146
实验十七 计数、译码、显示电路	150
实验十八 可编程计数器	156
实验十九 串行移位电路	160
实验二十 传输门的使用	165

实验二十一 555集成定时器及应用	169
实验二十二 D/A 转换器	174
实验二十三 数字电路综合设计性实验	179
A. 篮球竞赛 30 秒计时器	179
B. 数字抢答器	182
C. 简易电子琴	185
附录 A 常用电子仪器	189
A.1 示波器	189
A.1.1 XJ-17 型通用示波器	189
A.1.2 BS-601 双踪示波器	195
A.2 JT-1 型晶体管特性图示仪	200
A.3 信号发生器	206
A.3.1 XD-2 型信号发生器	206
A.3.2 XD-11 多用信号发生器	208
A.3.3 XD 11-PS 多用信号发生器	211
A.3.4 S 101 型函数发生器	214
A.4 万(繁)用表	215
A.4.1 MF-20 型万用表	215
A.4.2 TD 1931 型数字繁用表	217
A.5 DA-16 型晶体管毫伏表	220
A.6 HT-1712 F 型直流稳压电源	221
附录 B 本教材实验所需器件	223
附录 C 常用器件手册选编	224
附录 D 国内外集成电路对照表	268
参考文献及进一步阅读资料	270

第一篇 电子电路调试与实验基础知识

第一章 电子技术基础实验须知

1.1 电子技术基础实验的目的和意义

众所周知,科学技术的发展离不开实验,实验是促进科学技术发展的重要手段。我国著名科学家张文裕在为《著名物理学实验及其在物理学发展中的作用》一书所写的序言中,精辟论述了科学实验的重要地位。他说:“科学实验是科学理论的源泉,是自然科学的根本,也是工程技术的基础”。又说“基础研究、应用研究、开发研究和生产四个方面如果结合得好,经济建设和国防建设势必会兴旺发达。要把上述四个环节紧密贯穿在一起,必须有一条红线,这条红线就是科学实验。”

1987年国家教委批准的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》和1990年国家教委批准的《高等学校工程专科电子技术基础教学基本要求》都明确指出,电子技术基础是一门实践性很强的课程,它的任务是使学生获得电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能,培养学生分析问题和解决问题的能力。为此,应加强各种形式的实践环节。

对于电子技术基础这样一门具有工程特点和实践性很强的课程,加强工程训练,特别是技能的培养,对于培养工程人员的素质和能力具有十分重要的作用。

在电子技术飞速发展、广泛应用的今天,实验显得更加重要。在实际工作中,电子技术人员需要分析器件、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,排除电路故障;测试器件、电路的性能指标;设计、制作各种实用电路的样机。所有这些都离不开实验。此外,实验还有一个重要任务,要养成我们勤奋、进取、严肃认真、理论联系实际的作风和为科学事业奋斗到底的精神。

电子技术实验,按性质可分为验证性实验、训练(组织)性实验、综合性实验和设计性实验四大类。

验证性和训练性实验主要是针对电子技术本门学科范围内理论验证和实际技能的培养,着重奠定基础。这类实验除了巩固加深某些重要的基础理论外,主要在于帮助学生认识现象,掌握基本实验知识,基本实验方法和基本实验技能。

综合性实验属于应用性实验,实验内容侧重于某些理论知识的综合应用,其目的是培养学生综合运用所学理论的能力和解决较复杂的实际问题的能力。

设计性实验对于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运

用。例如,完成特定功能电子电路的设计、安装和调试等。要求学生在教师指导下独立进行查阅资料、设计方案与组织实验等工作,并写出设计报告。这类实验对于提高学生的素质和科学实验能力非常有益。

有电子技术课程设计课的专业,设计性实验可结合课程设计进行。

1.2 电子技术基础实验的一般要求

尽管电子技术各个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造。我们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

为避免盲目性,参加实验者应对实验内容进行预习。要明确实验目的要求,掌握有关电路的基本原理,查出有关资料,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(包括参数和波形),最后做出预习报告。

实验前,教师要检查预习情况,并对学生进行提问,预习不合格者不准进行实验。

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。按实验方案搭接实验电路和测试电路。

(3) 要认真记录实验条件和所得数据、波形(并进行分析判断所得数据、波形是否正确)。发生故障应独立思考,耐心排除,并记下排除故障过程和方法。

(4) 发生事故应立即切断电源,并报告指导教师和实验室有关人员,等候处理。

3. 实验完成

实验完成后,可将记录送指导教师审阅签字。经教师同意后才能拆除线路,清理现场。

4. 实验报告

作为一个工程技术人员必须具有撰写实验报告这种技术文件的能力。

(1) 实验报告内容

① 列出实验条件,包括何日何时与何人共同完成什么实验,当时的环境条件,使用仪器名称及编号等。

② 认真整理和处理测试的数据和用坐标纸描绘的波形,并列出表格或用坐标纸画出曲线。

③ 对测试结果进行理论分析,作出简明扼要结论。找出产生误差原因,提出减少实验误差的措施。

④ 记录产生故障情况,说明排除故障的过程和方法。

⑤ 对本次实验的心得体会,以及改进实验的建议。

(2) 实验报告要求

文理通顺,书写简洁,符号标准,图表齐全,讨论深入,结论简明。

*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的特征的定量信息,必须准确地进行测量。而为了准确地测量某个参数的大小,首先要选用合适的仪器设备,并借助一定的实验方法,以获取必要的实验数据;其次是,对这些实验数据进行误差分析与数据处理。但人们往往重视前者而忽视后者。

众所周知,在测量过程中,由于各种原因,测量结果(待测量的测量值)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,分析误差产生原因,如何采取措施减少误差,使测量结果更加准确等,对实验人员及科技工作者是应该了解和掌握的。

1.3.1 误差的来源与分类

一、测量误差的来源

测量误差的来源主要有以下几种

1. 仪器误差

此误差是由于仪器的电气或机械性能不完善所产生的误差。

2. 使用误差

使用误差又称操作误差。它是指在使用仪器过程中,因安装、调节、布置、使用不当引起的误差。

3. 人身误差

人身误差是由于人的感觉器官和运动器官的限制下所造成的误差。

4. 影响误差

影响误差又称环境误差。它是指由于受到温度、湿度、大气压、电磁场、机械振动、声音、光照、放射性等影响所造成的附加误差。

5. 方法误差

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映的因素,而实际上这些因素又起作用所引起的误差。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测量结果,而不计电表本身内阻的影响,就会引起误差。又如,测量并联谐振的谐振频率时,常用近似公式为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

若考虑 L 、 C 的实际串联损耗电阻 r_L 、 r_C 时,实际的谐振频率应为①

$$f'_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{1-r_L^2(C/L)}{1-r_C^2(C/L)}}$$

则有 $\Delta f = f'_0 - f_0$

① 见参考文献[8]。

上述用近似公式带来的误差称为方法误差。

二、测量误差的分类

按误差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

是指在相同条件(人员、仪器及环境条件)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,因此这种误差是可以预测的,也是可以减少或消除的(例如仪器的零点没有调整好,可以采取的措施消除)。

2. 随机误差(偶然误差)

在相同条件下多次重复测量同一量时,误差大小,时正时负,其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。但在多次重复测量时,其总体服从统计规律,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,然后取其中算术平均值来达到目的。

3. 疏失误差(粗差)

这是一种过失误差。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^①去判断哪个测量值是坏值,然后去除。

1.3.2 误差表示法

按误差表示方法可分为绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差

设被测量的真值为 A_0 , 测量仪器的示值为 X , 则绝对值为

$$\Delta X = X - A_0$$

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。故常用高一级标准仪表测量的示值 A 代替真值 A_0 , 则

$$\Delta X = X - A$$

在测量前,测量仪器应由高一级标准仪器进行校正,校正量常用修正值 C 表示。对于被测量,高一级标准仪器的示值减去测量仪器的示值得到的值,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 1.1V , 通过检定得出其修正值为 -0.01V 。则被测电压的真值为

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

^① 参阅潘洪福等编著《电子测量技术与仪表》(第173~175页),科学技术文献出版社重庆分社,1991.2。

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被测量的准确程度。例如,测 100V 电压时, $\Delta X_1 = +2\text{V}$, 在测 10V 电压时, $\Delta X_2 = +0.5\text{V}$, 虽然 $\Delta X_1 > \Delta X_2$, 可实际 ΔX_1 只占被测量的 2%, 而 ΔX_2 却占被测量的 5%。显然, 后者误差对测量结果的相对影响大。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

实际相对误差, 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, 记为

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

示值相对误差, 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

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

引用(或满度)相对误差, 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

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

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 γ_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

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

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 愈接近 X_m 时, γ_x 的上限值愈小, 测量愈准确。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二分之一以上。

例如, 测量一个 10V、50Hz 的电压, 现用 1.5 级表, 可选用 15V 或 150V 的量程。如何选择量程?

用量程 150V 时, 测量产生的绝对误差为

$$\Delta V = V_m S\% = 150 \times (\pm 1.5\%) = \pm 2.25\text{V}$$

而用量程为 15V 时, 测量产生的绝对误差为

$$\Delta V = V_m S\% = 15 \times (\pm 1.5\%) = \pm 0.225\text{V}$$

显然, 用 15V 量程测量 10V 电压, 绝对误差小得多。

1.3.3 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。

一、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 12.6 mA，这是个近似数，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。

对有效数字的正确表示，应注意以下几点

(1) 有效数字是指从左边第一个非零的数字开始，直到右边最后一个数字为止的所有数字。例如，测得的频率为 0.0246 MHz，它是由 2、4、6 三个有效数字组成的频率值，而左边的两个 0 不是有效数字，因而它可以通过单位变换写成 24.6 kHz，这时有有效数字仍为三位，6 是欠准数字未变。但不能将 0.0246 MHz 写成 24600 Hz，因为后者的有效数字变为五位，最右边的“0”为欠准数字，两者意义完全不同。

(2) 如已知误差，则有效数字的位数应与误差相一致。例如，设仪表误差为 ± 0.01 V，测得电压为 11.3735 V，其结果应写作 11.37 V。

(3) 当给出误差有单位时，测量数据的写法应与其一致。

2. 数据舍入规则

为使正、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，而计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，而与小数点位置无关。

(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 、 π 、 $\sqrt{3}$ 等常数时, 可根据具体情况来决定它们应取的位数。

二、曲线的处理

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, 测量结果常要用曲线来表示。

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, 而是呈波动的折线状, 如图 1.3.1 所示。但我们运用有关的误差理论, 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。

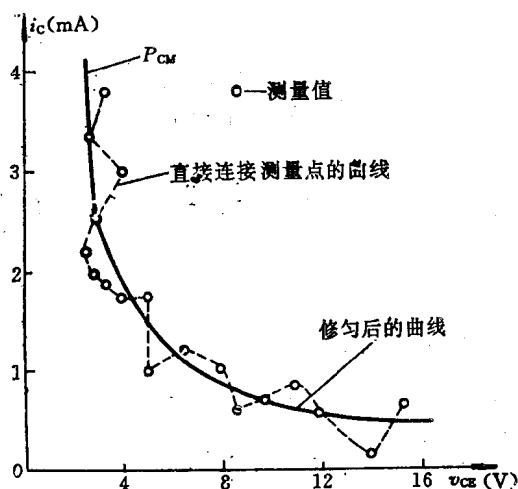


图 1.3.1 直接连接测量点时曲线的波动情况

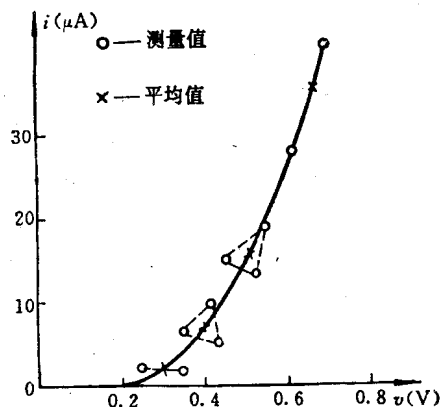


图 1.3.2 分组平均法修匀的曲线

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。这种方法是将各数据点分成若干组, 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 1.3.2 就是每组取 2~4 个数据点进行平均后的修匀曲线。这条曲线, 由于进行了数据平均, 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。

第二章 常用元、器件的识别与简单测试

任何电子电路都是由元、器件组成的，而常用的主要是电阻器、电容器、电感器和各种半导体器件(如二极管、三极管、集成电路等)。为了能正确地选择和使用这些元、器件，就必须掌握它们的性能、结构与规格等有关知识。

2.1 电阻器、电容器、电感器的识别与简单测试

2.1.1 电阻器和电位器

一、电阻器

电阻器是电路元件中应用最广泛的一种，在电子设备中约占元件总数的30%以上，其质量的好坏对电路工作的稳定性有极大影响。电阻器主要用途是稳定和调节电路中的电流和电压，其次还可作为分流器、分压器和消耗电能的负载等。

电阻器主要分为薄膜电阻和线绕电阻两大类。薄膜电阻又可分为碳膜电阻和金属膜电阻两类。其中金属膜电阻应用较为普遍。块金属膜电阻的精度可达0.001%，是当前最精密的电阻器之一。

常用电阻器的外形和符号如图2.1.1(a)、(b)所示。

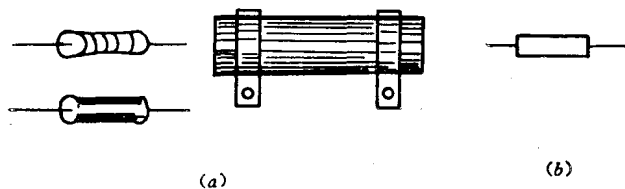


图 2.1.1 常用电阻器外形及符号
(a) 常用电阻器外形 (b) 电阻器的符号

二、电位器

电位器是一种具有三个接头的可变电阻器。其阻值可在一定范围内连续可调。

电位器的分类有以下几种：

按电阻体材料分，可分为薄膜和线绕两种。薄膜又可分为 WTX 型小型碳膜电位器，WTH 型合成碳膜电位器，WS 型有机实芯电位器，WHJ 型精密合成膜电位器和 WHD 型多圈合成膜电位器等。线绕电位器的代号为 WX 型。一般，线绕电位器的误差不大于 $\pm 10\%$ ，非线绕电位器的误差不大于 $\pm 2\%$ 。其阻值、误差和型号均标在电位器上。

按调节机构的运动方式分，有旋转式、直滑式。

按结构分，可分为单联、多联、带开关、不带开关等；开关形式又有旋转式、推拉式、按键式等。

按用途分,可分为普通电位器、精密电位器、功率电位器、微调电位器和专用电位器等。

按输出特性的函数关系,又可分为线性和非线性电位器,如图 2.1.2 所示。

它们的特点分别为:

X 式(直线式): 常用于示波器的聚焦电位器和万用表的调零电位器(如 MF-20 型万用表),其线性精度为 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.3\%$ 、 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.05\%$ 。

D 式(对数式): 常用于电视机的黑白对比度调节电位器,其特点是,先粗调后细调。

Z 式(指数式): 常用于收音机的音量调节电位器,其特点是,先细调后粗调。

所有 X、D、Z 字母符号一般印在电位器上,使用时应注意。

常用电位器的外形如图 2.1.3 所示。

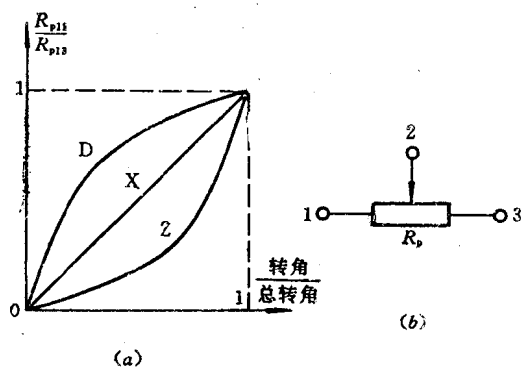


图 2.1.2 按输出特性函数关系分类的电位器
(a) 电位器输出特性 (b) 电位器符号

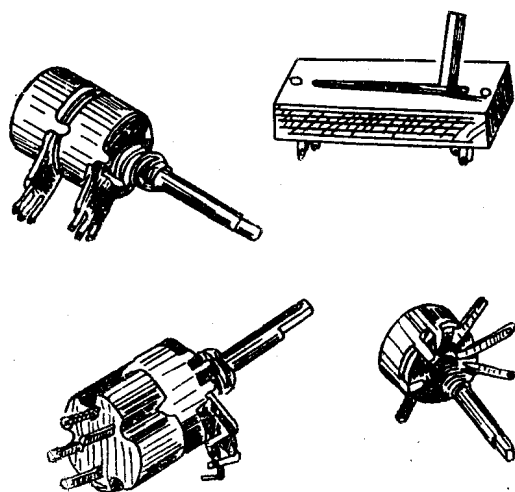
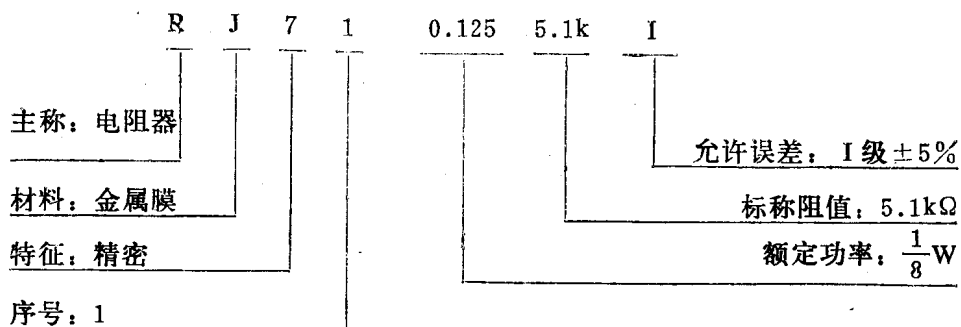


图 2.1.3 几种常用电位器的外形

三、电阻器和电位器的型号命名法

电阻器和电位器的型号命名法详见表 2.1.1。

示例: RJ 71-0.125-5.1 kI 型电阻器



由此可见,这是精密金属膜电阻器,其额定功率为 $\frac{1}{8}$ W,标称电阻值为 5.1 k Ω , 允许误差

表 2.1.1 电阻器和电位器的型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
用字母表示主称		用字母表示材料		用数字或字母表示特征		用数字表示序号
符 号	意 义	符 号	意 义	符 号	意 义	
R	电阻器	T	碳膜	1, 2	普通	包括: 额定功率 阻值 允许误差 精度等级
W	电位器	P	硼碳膜	3	超高频	
		U	硅碳膜	4	高阻	
		C	沉积膜	5	高温	
		H	合成膜	7	精密	
		I	玻璃釉膜	8	电阻器——高压 电位器——特殊函数	
		J	金属膜(箔)			
		Y	氧化膜	9	特殊	
		S	有机实芯	G	高功率	
		N	无机实芯	T	可调	
		X	线绕	X	小型	
		R	热敏	L	测量用	
		G	光敏	W	微调	
		M	压敏	D	多圈	

为 $\pm 5\%$ 。

四、线性电阻器和电位器的主要性能指标

1. 额定功率:电阻器的额定功率是在规定的环境温度和湿度下,假定周围空气不流通,在长期连续负载而不损坏或基本不改变性能的情况下,电阻器上允许消耗的最大功率。当超过额定功率时,电阻器的阻值将发生变化,甚至发热烧毁。为保证安全使用,一般选其额定功率比它在电路中消耗的功率高1~2倍。

额定功率分19个等级,常用的有 $\frac{1}{20}W$, $\frac{1}{8}W$, $\frac{1}{4}W$, $\frac{1}{2}W$, $1W$, $2W$, $4W$, $5W$ ……。在电路图中,非线绕电阻器额定功率的符号表示法如图2.1.4所示。

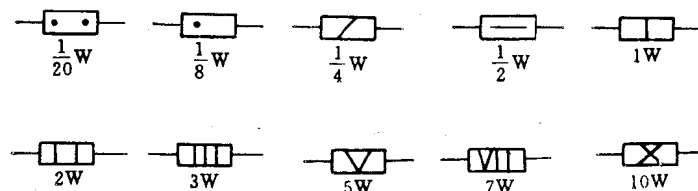


图 2.1.4 额定功率的符号表示法

实际中应用较多的有 $\frac{1}{4}W$ 、 $\frac{1}{2}W$ 、 $1W$ 、 $2W$ 。线绕电位器应用较多的有 $2W$ 、 $3W$ 、 $5W$ 、 $10W$ 等。

2. 标称阻值:标称阻值是产品标志的“名义”阻值,其单位为欧(Ω)、千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)。标称阻值系列如表2.1.2所示。

任何固定电阻器的阻值都应符合表2.1.2所列数值乘以 $10^n\Omega$,其中 n 为整数。