

中国电子教育学会高教分会推荐
普通高等教育电子信息类“十三五”课改规划教材

电工电子实训教程

主 编 陈红斌

副主编 王克强 李伟 欧智贵



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

中国电子教育学会高教分会推荐

普通高等教育电子信息类“十三五”课改规划教材

电工电子实训教程

主 编 陈红斌

副主编 王克强 李 伟 欧智贵

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是依据高等学校工科专业电路课程对实验的要求,在总结编者多年电工电子实验教学改革与实践经验的基础上编写而成的。本书共分四章,第一章介绍了电工电子测量基础,第二章~第四章共有35个实验项目,主要包括电工技术实验、电子技术实验和电路综合设计实验,最后附录部分给出了实验仪器设备的使用说明。

本书适合自动化、电气自动化、电子信息工程、通信工程等电类专业的学生使用,也可作为高等院校非电类专业电工学课程的配套实验指导书,还可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子实训教程/陈红斌主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2016.9

普通高等教育电子信息类“十三五”课改规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4034 - 1

I. ① 电… II. ① 陈… III. ① 电工技术—高等学校—教材

② 电子技术—高等学校—教材 IV. ① TM ② TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 209219 号

策 划 毛红兵

责任编辑 刘玉芳 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com

电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 虎彩印艺股份有限公司

版 次 2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 9.5

字 数 222千字

印 数 1~3000册

定 价 19.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4034 - 1/TM

XDUP 4326001 - 1

如有印装问题可调换

前 言



电工电子技术实验是高等院校的一门基础课,是对学生进行科学实验基本训练,提高学生分析问题和解决问题能力的重要课程。为了加强高等院校电工电子基础课的实验技能训练,培养学生的实践动手能力,使学生掌握科学研究的基本方法,我们编写了《电工电子实训教程》一书。本书结合了目前实验仪器生产厂家最新产品特点,大部分实验操作与仪器使用一致,极大方便了学生的使用。

本书是我们在多年教学实践的基础上,经过不断改进和充实完善而成的。本书系统地介绍了电工电子实验的目的和要求、实验的基本程序、测量的有效数字和运算规则、误差和不确定度、实验结果表示和数据处理的基本方法。实验内容主要包括电工技术实验、电子技术实验和电路综合设计实验。其中,电工技术实验和电子技术实验旨在让学生了解常用元器件的性能和使用方法,巩固和加深对理论知识的理解,掌握基本的实验方法和技能,为后续实验打下基础。本书在编写时力求将实验原理叙述清楚,使学生在预习实验时能掌握理论依据,实验内容尽可能叙述得具体。而综合设计实验编写时不局限于统一的格式,只提出实验任务和基本要求,而让学生查阅相关资料,自行设计实验方案,更多地发挥其主观能动性和创造性,以培养学生的电路设计能力以及对现代电路实验方法、测试技术的应用能力。

本书由陈红斌任主编,王克强、李伟和欧智任副主编。参加本书编写工作的还有于凤梅、王改田、张麟、周丽萍、吴羲晖等。本书还得到广东省创新强校项目资助和西安电子科技大学出版社的大力支持,在这里编者表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不当之处,希望广大读者批评指正。

编 者

2016年5月

目 录

第一章 电工电子测量基础	1
第一节 电工电子实验的目的和要求	1
第二节 测量的基本知识	3
第二章 电工技术实验	10
实验 1 电路元件伏安特性的测绘	10
实验 2 电位、电压的测定及电路电位图的绘制	13
实验 3 基尔霍夫定律的验证	14
实验 4 叠加原理的验证	16
实验 5 戴维南定理和诺顿定理的验证——有源二端网络等效参数的测定	18
实验 6 用三表法测量电路等效参数	22
实验 7 阻抗的串联、并联和混联	25
实验 8 RLC 串联电路谐振特性的研究	27
实验 9 日光灯电路的测试	30
实验 10 单相铁芯变压器特性的测试	32
实验 11 三相交流电路电压电流的测量	34
实验 12 三相电路功率的测量	36
实验 13 三相鼠笼式异步电动机点动控制和自锁控制	39
实验 14 三相鼠笼式异步电动机正反转控制	41
第三章 电子技术实验	45
实验 15 晶体管共射极单管放大器	45
实验 16 负反馈放大器	52
实验 17 射极跟随器	55
实验 18 差动放大器	58
实验 19 集成运算放大器的基本应用——模拟运算电路	62
实验 20 低频功率放大器(I)——OTL 功率放大器	67
实验 21 低频功率放大器(II)——集成功率放大器	71
实验 22 直流稳压电源——串联型晶体管稳压电源	74
实验 23 组合逻辑电路的设计与测试	79
实验 24 译码器及其应用	82
实验 25 数据选择器及其应用	87
实验 26 触发器及其应用	92

实验 27 计数器及其应用	98
实验 28 移位寄存器及其应用	103
实验 29 脉冲分配器及其应用	109
实验 30 使用门电路产生脉冲信号——自激多谐振荡器	112
实验 31 单稳态触发器与施密特触发器——脉冲延时与波形整形电路	114
第四章 电路综合设计实验	121
实验 32 智力竞赛抢答装置	121
实验 33 电子秒表	123
实验 34 拔河游戏机	126
实验 35 温度监测及控制电路	129
附录	135
附录 1 ST16B 示波器	135
附录 2 YB1610 函数信号发生器	137
附录 3 电阻器的标称值及精度色环标志法	139
附录 4 万用电表对常用电子元件的检测	141
附录 5 放大器的噪声抑制和自激消除	144
参考文献	146

第一章 电工电子测量基础

第一节 电工电子实验的目的和要求

一、电工电子实验的目的

根据电工、电路实验大纲的要求,通过实验应达到以下目的:

- (1) 通过实验,巩固、加深和丰富电路理论知识。
- (2) 学习正确使用电流表、万用表、功率表及一些常用的电工设备;学会使用示波器、信号发生器、晶体管稳压电源、晶体管毫伏表。
- (3) 掌握一些基本的电工及电子测试技术,如测量电压、电流、功率、频率、相位、时间及电路的主要技术指标。
- (4) 训练学生选择实验方法、整理实验数据、分析误差、绘制曲线、判断实验结果、编写实验报告的能力。
- (5) 具备查阅电子器件手册的能力。
- (6) 能按照电路图连接实验线路和合理布线,初步具备分析、寻找和排除常见故障的能力。
- (7) 初步具有根据实验任务确定实验方案,选择合适元件设计线路的能力,具备选择常用电工仪表、设备进行实验的能力。
- (8) 培养学生实事求是、严肃认真、细致踏实的科学作风和独立工作的能力。

二、电工电子实验的要求

为了保证实验的正常进行,提出以下要求。

1. 实验前

- (1) 仔细阅读实验讲义及有关参考资料。明确实验目的、实验任务、实验必备的理论知识、具体的实验电路,了解实验方法和步骤,清楚实验中需观察哪些现象、记录哪些数据等,然后写出实验预习报告。
- (2) 理解并牢记指导书中提出的注意事项,了解仪器、仪表的使用方法,特别是它们的额定值,防止实验过程中损坏仪器、仪表。

2. 实验中

- (1) 实验者应按预先安排好的顺序到相应的实验台上做实验。先了解仪器、设备的规格、量程和性能等,检查仪器、设备是否齐全、完好,如发现问题应及时提出。
- (2) 合理布局。合理安排仪器、仪表的位置,使之符合安全、方便、整齐的原则;保证

连线清晰、调节顺手、读数方便；应遵循布局合理、操作方便、连线简单、尽量减少连线交叉的原则。

(3) 在连接实验线路时，可以按照“先串后并”、“先主后辅”的原则接好无源部分，而后接电源部分；接电源的时候应该将电源开关处于断开状态，并将可调设备的旋钮、手柄、触头等置于最安全或者要求置放的位置；还应该注意正确连接电子仪器的接地线。整个实验线路要求走线整齐，线路松紧适当，接线点不要过于集中于一点。

(4) 完成实验接线后，必须进行自查：串联回路从电源的某一端出发，按回路逐项检查各设备、负载的位置、极性等是否正确、合理；并联支路则检查其两端的连接点是否在指定的位置。距离较近的两连接端尽可能用短导线；距离较远的两连接端尽量选用长导线直接连接，尽可能不用多根导线作过渡连接。

(5) 自查完成后，须经指导教师复查后方可通电实验。接通电源前，先将电源的有关调节手柄或电位器调至零位，或置于实验要求的位置。合上电源开关后，缓慢调节电源的输出电压。注意观察各仪表的偏转是否正常，并随时注意有无异常现象出现，如异味、冒烟、发热或打火等现象，如有这些现象发生，应立即切断电源，查找原因并及时处理。实验过程中应培养单手操作的习惯，能用单手操作的尽量不用双手操作，以防双手触及线电压。不能用手触及未经绝缘的电源或电路中的裸露部分。需要改换接线时，应先将电源电压调回零位，并切断电源，待改换完线路并检查无误后，方可通电继续实验。

(6) 实验时，应按实验指导书所提出的要求及步骤逐项进行实验和操作。改接线路时，必须断开电源。对实验中出现的现象和所得数据应做好记录，随时分析、研究实验结果的合理性，如果发现异常现象，应及时查找原因，如遇到事故发生，应立即切断电源，并报告指导教师。

(7) 为了测取准确的数据，在选择测试点时应注意使其分布合理。如曲线的弯曲段应多取几个测试点；读数前要认清仪表量程值与标尺刻度值，合理选择量程。读数时要眼、针、影成一线；记录的数据应是依所选量程经换算后的值，应合理地读取有效数据（最末一位数为估计的存疑数）。每测试完一项任务，暂不要拆线，分析、判断一下数据是否正确，若有错误可重新进行测试。要求对测量的数据，测前有预见，测后有判断。实验数据应记录在预习时编制好的数据表格中，并注明被测量的名称和单位。经重测得到的数据，应记录在原数据的旁边或新数据表格中，不要涂改原始数据，以便比较和分析。

(8) 实验内容全部完成后，原始记录经教师审查后方可拆除实验线路。拆线前应先切断电源，拆完线后将仪器设备复归原位，清理好导线，经教师验收后才可离去。

3. 实验后

认真书写实验报告。实验报告是对实验工作的全面总结，字体要端正，文字要简练，数据要齐全，图表要规范。实验报告除填写实验日期、姓名、班级、组别等项外，还应包括以下几个部分：

实验目的：填写实验目的和意义。

实验设备：填写实验中实际使用的设备名称、型号和数量。

实验原理：填写实验原理及绘制实验线路图。

实验内容：填写必要的实验步骤、实验方法，列表记录实验数据，写出必要的数据处理过程。

实验总结：对实验现象、数据进行分析处理，得出理论。实验中若有故障发生，应分析故障的原因，简述排除故障的方法。回答问题，总结本次实验的心得体会并提出有关建议。

第二节 测量的基本知识

一、测量的方法

在科学实验中，物理量的值是通过测量得到的。测量是一个比较的过程，它利用测量工具(量具或仪器)用一定的方法和技术(技能)通过比较获得物理量的大小和物理量间的关系规律。测量是进行科学实验的基础，在测量工作中，要熟练掌握一些基本的实验技能。一个物理量的测量可以通过不同的方法来实现，在测试方案确定之后，选择合适的测量方法就至关重要了。测量分直接测量、间接测量和组合测量。

1. 直接测量

直接测量是指预先使用按已知标准定度的电工仪表或电子仪器对被测量直接进行的测量。如电压表测某元件两端的电压，电流表测某支路的电流。根据读取数据方式的不同，直接测量又分为直读式测量和比较式测量。

(1) 直读式测量：是指直接从仪表、仪器刻度上读取测量结果。

(2) 比较式测量：是指通过被测量与标准量进行比较后而获得测量结果，如常见的电桥测量。

2. 间接测量

间接测量是指利用当前直接测试的量与被测量之间的已知函数关系或某种约定关系所进行的测量。如测量电阻元件消耗的功率，可用测量其端电压及流过的电流来计算得到。间接测量常用于缺少直接测量条件，或者直接测量不便和误差较大等情况。

3. 组合测量

兼用直接测量和间接测量的方法就是组合测量。此外，根据被测量的性质，组合测量还可以选择时域测量和频域测量。

(1) 时域测量：是指把被测量作为时间的函数进行的一种测量。

(2) 频域测量：是指把被测量作为频率的函数进行的一种测量。

二、误差的分类及表示形式

1. 误差

任何物理量在客观上总存在着一个确定的真实大小，称为客观真值。测量的目的就是要力图得到真值。由于测量仪器不可能尽善尽美，测量所需的条件也是无法绝对保证的，再加上测量技术等因素的局限，任何测量都不可能完全精确。因此，任何测量结果与真值之间总是存在着一个差值，即测量误差。

测量结果总是存在着一定的误差，误差自始至终存在于一切测量过程之中，称为误差公理。因此，重要的是理解测量误差的客观存在，即在确定实验方案、选择测量方法、选用实验仪器、考虑实验条件需要保证的程度时，还要考虑测量误差问题。

测量结果应包括数值、单位和误差，三者缺一不可。

2. 误差的分类

实验中的误差有多种分类方法，随研究的角度不同而异。根据误差的特征规律可分为系统误差、随机误差和粗大误差；从实验误差的来源可分为装置误差、环境误差、方法误差、人员误差；从对误差的掌握程度可分为已知的误差和未知的误差；从误差在合成中的计算方法可分为可用统计方法计算的误差与用其他方法计算的误差等。

1) 系统误差

系统误差也称有规律误差，是指在一定条件下，误差的数值是恒定的，或者按照某种已知的函数规律变化的误差。这种误差在测量中因为具有一定的规律性，所以可以采取一定的技术措施设法防止或者削弱。如在正常条件下使用仪表、提高操作技巧、改进测量方法，或者引入校正值等，都可以减少或者消除系统误差。产生系统误差的原因主要有以下五种。

(1) 仪表误差：也称工具误差或者基本误差，这是一种由于仪表结构和制作的不完善而产生的误差。如仪表零件安装不正确，刻度不够精确，仪表出厂之前没有校准等，均为仪表所固有的误差。

(2) 使用误差：也称操作误差，是指在使用仪表的过程中，由于安装、调节、布置或者使用不当所产生的误差。比如将水平的仪表垂直放置；接线太长或者没有按照阻抗匹配连接；接地不当；未按照操作规程进行预热、校准及测量等，都会产生使用误差。减小这类误差的方法是严格按照技术规程操作，提高实验技巧以及对各种现象的分析能力。

(3) 方法误差：是指由于测量方法不完善或者依据的理论不严密而导致的误差。比如间接测量时所用的公式是近似计算公式，就会给测量结果带来误差。

(4) 影响误差：是指在测量中由于仪表受到外界的温度、湿度、气压、电磁场、机械震动、声音、光照及放射性等的影响所产生的误差。

(5) 人身误差：是指由于人的感觉及运动器官不完善所产生的误差。对于借助人耳、人眼来判断结果的测量以及需要进行人工调节等的测量工作，均会产生人身误差。

2) 随机误差

随机误差也称偶然误差，这种误差的数值与符号均不一定，出现的时间和变化规律也不清楚。随机误差是在重复测量的情况下发现的，表现为使用同样的测量方法和仪器、仪表设备进行多次测量时，所得的结果总有差别，但是多次测量结果综合起来，又具有一定的规律性。该误差服从统计规律，可以根据概率论由多次重复测量的数据来估计随机误差的影响。

随机误差的特征是：

(1) 有界性：多次测量，随机误差的绝对值不超过一定的界限。

(2) 单峰性：绝对值小的误差出现的机会比绝对值大的误差出现的机会多。

(3) 对称性：绝对值相等的正负误差出现的机会均等。

(4) 抵偿性：随机误差就单次测量个体来说是无规律的，但是整体上服从统计规律，其算术平均值随着测量次数的无限增多而趋于零。

在有随机误差因素的条件下，要使得测量结果有更高的可靠性，可以在相同的条件下进行重复多次的测量，最后取多次测量的算术平均值作为测量结果。该值是测出的量中概

率最大的一个数值,是最可信的数值,更接近于实际值。

3) 粗大误差

粗大误差也称疏失误差、粗差或者巨差,是指在一定条件下,测量结果明显偏离其实际值所对应的误差。比如测量方法不当,测量时电源突然跳动、仪器中某元件打火,测量人员错读了仪表指示数据,测量前未对仪表进行校准、调零及记录的错误等所产生的误差。粗大误差明显地、严重地歪曲了测量结果。

3. 误差的表示形式

1) 绝对误差

以误差的绝对数值来表示测得的误差,称为绝对误差。绝对误差可以表示同一个测量结果的可靠程度。设测量值为 N , 真值为 N_0 , 则绝对误差表示为

$$\Delta N = N - N_0 \quad (1-1)$$

它与真值同单位,反映测量值偏离真值的大小。

真值很难准确测定,可以把理论真值(国际计量大会决议约定的值、高一级标准器的量值)作为近似真值。在真值无法知道的情况下,一般采用测量的平均值代替真值(重复测量 10 次以上,重复测量次数很多,则以平均值表示测量结果),以测量值与测量平均值之差 $(N - \bar{N})$, 即偏差(残差)来估算绝对误差。

2) 相对误差

用绝对误差无法比较两次不同测量结果的准确性,例如用电流表测量 100 mA 的电流时,绝对误差为 +1 mA, 又如测量 10 mA 电流时,绝对误差为 +0.25 mA, 虽然绝对误差是前者大于后者,但并不能说明后者的测量比前者准确,要使两次测量能够进行比较,必须采用相对误差,即

$$E = \frac{\Delta N}{N_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

三、偶然误差的处理

1. 单次直接测量结果与误差估算

若对某一量的测量精确度要求不高,只需进行一次测量时,可按仪器出厂检定书或仪器上注明的仪器误差作为单次直接测量的误差。如果没有注明,也可取仪器最小刻度值的一半作为单次直接测量的绝对误差(一般根据实际情况,对测量值的误差进行合理的估算,取仪器最小刻度的 1/10、1/5 或 1/2 均可),取仪器最小刻度的 $1/\sqrt{3}$ 作为测量结果的标准偏差。

2. 多次直接测量结果与误差计算

1) 以算术平均值代表测量结果

在相同条件下对某物理量 N 进行了 n 次重复测量,其测量值分别为 N_1 、 N_2 、 $\dots$ 、 N_n , 用 $\bar{N}$ 表示算术平均值,则

$$\bar{N} = \frac{1}{n}(N_1 + N_2 + \dots + N_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i \quad (1-3)$$

根据误差理论,在一组 n 次测量的数据中,算术平均值 $\bar{N}$ 最接近于真值,称为“测量的

最佳值”。当测量次数无限增加时，算术平均值将无限接近于真值。因此，在多次直接重复测量中，以算术平均值表示测量结果。

2) 多次直接测量结果的误差计算

(1) 算术平均绝对误差。

设各次测量值 N_i 与平均值 $\bar{N}$ 的绝对之差为 $\Delta N_1 = N_1 - \bar{N}$, $\Delta N_2 = N_2 - \bar{N}$, ..., $\Delta N_n = N_n - \bar{N}$, 则算术平均绝对误差为

$$|\overline{\Delta N}| = \frac{1}{n}(|\Delta N_1| + |\Delta N_2| + \cdots + |\Delta N_n|) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta N_i| \quad (1-4)$$

有时候，测量虽然进行了多次，但读数基本不变，这时不能只记录一个数值，或把误差表示为“0”，而应该把每次数据都记录下来。当算术平均绝对误差小于仪器误差（仪器刻度或精密度的一半）时，应取仪器误差（仪器最小刻度或精密度的一半）作为测量结果的绝对误差。

(2) 标准偏差。

为了较科学地估算误差，科研和计量部门多用标准偏差来估算测量结果的误差。有限次（ n 次）测量中的某一次测量结果的标准偏差为

$$S(N_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}{n-1}} \quad (1-5)$$

而 n 次测量结果的平均值 $\bar{N}$ 的标准偏差为

$$S(\bar{N}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}{n(n-1)}} \quad (1-6)$$

3. 测量结果的表示

对于初学者或误差分析要求比较粗略的实验，可采用算术平均绝对误差估算随机误差，这时测量结果表示为

$$N = \bar{N} \pm |\overline{\Delta N}|, \quad E = \frac{|\overline{\Delta N}|}{\bar{N}} \times 100\% \quad (1-7)$$

比较严密和确切的误差估算可采用标准误差，但因标准误差是在测量次数 n 为无限大时定义的，实际上无法计算。而从理论分析可知，当测量次数 $n \rightarrow \infty$ 时，标准偏差的计算值也就趋近于按标准误差定义时的计算值了。所以，在实际的实验中，只要测量的次数足够多，就可用标准偏差来代替标准误差而对随机误差作出相当好的估计，通常说计算标准误差，指的也是这个意思。因此，测量结果应表示成

$$N = \bar{N} \pm S(N_i), \quad E = \frac{S(N_i)}{\bar{N}} \times 100\% \quad (1-8)$$

或

$$N = \bar{N} \pm S(\bar{N}), \quad E = \frac{S(\bar{N})}{\bar{N}} \times 100\% \quad (1-9)$$

四、有效数字及其运算规则

实验的数据记录、数据运算以及实验结果的表达，都应遵从有效数字的规则。

1. 有效数字的概念

任何一个测量结果总存在误差,数值计算也有一定的近似性,因此实验数据记录、数据运算以及实验结果的表达,其位数的多少应由测量值本身的误差来决定。在测量和数字计算中,确定该用几位数字来代替测量或计算的结果是一件很重要的事情。如果认为在一个数值中小数点后面的数字愈多,准确度愈高,这种想法是错误的。因为小数点的位置并不是决定准确度的标准,小数点的位置仅与所用单位的大小有关。如:电压为 26.4V 与 0.026 kV,准确度完全相同。

若测量结果从某位数起开始有误差,则自第一位非零数字算起,直到包含开始有误差的位为止的各数字均称为有效数字,有误差的一位称为可疑数字。从仪器上读取测量数据时,最后一位应该是开始有误差的可疑数字。

第一位非零数字左边的“0”不是有效数字,数字中间的“0”和末位的“0”都是有效数字,例如 0.04010 是四位有效数字。

按照有效数字的定义,可以得出实验数据记录和数据处理的几项原则:

- (1) 实验记录的原始数据的最后一位应该是估读的。
- (2) 测量误差只产生于测量结果的最后一位。
- (3) 测量结果的最后一位应与误差位取齐,多余的尾数应按数字修约规则舍弃。

2. 有效数字的运算规则

1) 加减法

运算结果的有效数字的最后一位与参与加减运算时各量中误差最大的有效数字的末位对齐,多余尾数按截尾规则舍去。

例如, $20.\underline{1} + 4.17\ \underline{8} = 24.\underline{3}$, 加下划线的数字为可疑数字。

2) 乘法

运算结果的有效数字的位数以参与乘除运算各量中有效数字位数最少的为准,多余尾数按截尾规则舍去。

例如, $3.21\ \underline{9} \times 1.0\ \underline{4} = 3.3\ \underline{5}$
 $5768.\underline{9} \div 28\ \underline{2} = 20.\underline{5}$

3) 乘方和开方

运算结果的有效数字的位数与其底数(被开方数)的有效数字的位数相同。

4) 函数运算

三角函数的有效数字的位数与相应角度(以弧度为单位)的有效数字的位数相同。如分光计读角度读到 $1'$, 因为 $1' = 0.0003\ \text{rad}$, 所以 $\sin 30^\circ 00' = 0.5000$ 应有四位有效数字。

自然对数的有效数字位数与真数的有效数字位数相同;而常用对数其尾数的有效数字位数与真数的有效数字位数相同,如 $\lg 1983 = 3.2973$, $\ln 1983 = 7.592$ 。

指数函数运算后的有效数字位数与指数小数后的位数相同。如 $10^{0.32} = 2.1$, 如指数为整数,取一位有效数字。

5) 四则混合运算

进行四则混合运算时,应注意下面两点:

- (1) 参与计算的常数(如 e 、 π 等)和公式中自然数的取位,一般与参与运算的各数值中

有效数字位数最多的相同。

(2) 在混合运算中, 有的因子可能包含加减运算, 经过加减运算后有效数字的位数可能增减, 这时不能以原始数据为准来确定结果的有效数字位数, 而应该从整个算式中各个因子的有效数字的位数来考虑, 例如(加下划线的数字为可疑数字):

$$\begin{aligned} & 22 \underline{5} \times (11.3 \underline{7} - 10.5 \underline{2}) \div 11.8 \underline{7} \\ &= 22 \underline{5} \times 0.8 \underline{5} \div 11.8 \underline{7} \\ &= 1 \underline{6} \end{aligned}$$

3. 测量结果的有效数字

有效数字的定义明确地说明, 由误差决定有效数字, 这是处理一切关于有效数字问题的依据。测量结果的有效数字的位数, 也应由误差来确定, 即测量结果的末位要与误差的末位对齐。如某测量值为 0.1785, 其误差为 ± 0.003 , 则测量结果写成 0.178 ± 0.003 。由于标准偏差是对标准误差的估计, 所以误差通常只取一位有效数字。为了不人为地缩小误差范围, 对误差截尾时, 一般都采用进位的方法。相对偏差一般保留两位有效数字。

五、实验数据处理方法

对实验中所测得的大量数据进行整理分析和归纳计算, 得到实验结论的过程称为数据处理。下面介绍两种最常用的数据处理的方法。

1. 列表法

列表法是将实验中测得的数据按一定的形式和顺序列成表格。列表法具有结构紧凑、简单明了、便于分析和比较, 有助于找出物理量之间的相互关系和变化规律的优点。列表要求如下:

(1) 表格的设计要便于记录、计算和检查。列入表格中的数据是主要的原始数据, 计算过程的一些中间值及处理结果也可列入表中。个别的或与其他量关系不大的数据不要列入表中, 写在表格顶端。

(2) 要标明符号所代表被测量的意义和单位, 单位和量值的数量级写在标题栏中, 不要重复记在各个数值上。

(3) 表中数据正确反映测量结果的有效数字。

2. 作图法

作图法是在一坐标平面内, 用图线表示两个物理量之间的变化规律。作图法的优点是, 当两个被测量之间的关系不能用函数式表示时, 就可用作图法表示出来, 并且直观形象。

实验作图不是示意图, 它不仅要表达出实验中得到的被测量之间的关系, 而且要反映出测量的精确度, 因而必须按一定的要求作图, 具体要求如下:

(1) 作图一定要用坐标纸。根据有关数据的变化情况选用适当的坐标系。

(2) 选定坐标轴。以横轴表示自变量, 在轴的末端标以代表正方向的箭头, 并在其近旁注明所代表的物理量及其单位。

(3) 确定坐标分度。在坐标轴上每隔一定间距(如 5 格或 10 格)标明所代表的被测量值。分度的大小一般应使坐标纸上的最小格对应于数据有效数字最后一位的可靠数, 坐标轴分度的起点不一定取零值, 以充分利用图纸。

(4) 描点。把实验数据用“+”、“×”或“⊙”在图上标出，使数据对应的点准确落在所用符号的中心上。

(5) 连线。纵观所有数据的变化趋势，根据不同情况，用直尺或曲线板把数据点连成直线或光滑曲线。通常，曲线不会通过所有点，但要求画出光滑曲线时，曲线两旁的偏差点应有较均匀的分布。对于个别偏离较大的点应加以分析并决定取舍。仪器核准曲线应通过校准点连成折线。

(6) 写图名和图注。在图纸的上方或下方写出简洁、完整的图名，在图的适当空白处注明实验条件等，书写要工整。

第二章 电工技术实验

实验 1 电路元件伏安特性的测绘

一、实验目的

- (1) 学会识别常用电路元件的方法。
- (2) 掌握线性电阻、非线性电阻元件伏安特性的测绘。
- (3) 掌握实验台上直流电工仪表和设备的使用方法。

二、实验原理

任何一个二端元件的特性可用该元件上的端电压 U 与通过该元件的电流 I 之间的函数关系 $I=f(U)$ 来表示,即用 $I-U$ 平面上的一条曲线来表征,这条曲线称为该元件的伏安特性曲线。

(1) 线性电阻器的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线,如图 1-1 中的 a 直线所示,该直线的斜率等于该电阻器的电阻值。

(2) 一般的白炽灯在工作时灯丝处于高温状态,其灯丝电阻随着温度的升高而增大。通过白炽灯的电流越大,其温度越高,阻值也越大,一般白炽灯的“冷电阻”与“热电阻”的阻值可相差几倍至十几倍,所以它的伏安特性如图 1-1 中的 b 曲线所示。

(3) 一般的半导体二极管是一个非线性电阻元件,其伏安特性如图 1-1 中的 c 曲线所示。二极管正向压降很小(一般的锗管约为 $0.2\sim 0.3\text{ V}$,硅管约为 $0.5\sim 0.7\text{ V}$),正向电流随正向压降的升高而急骤上升,而反向电压从零一直增加到十几伏至几十伏时,其反向电流增加很小,粗略到可视为零。可见,二极管具有单向导电性,但反向电压加得过高超过管子的极限值,则会导致管子击穿损坏。

(4) 稳压二极管是一种特殊的半导体二极管,其正向特性与普通二极管类似,但其反向特性较特别,如图 1-1 中的 d 曲线所示。在反向电压开始增加时,其反向电流几乎为零,但当电压增加到某一数值时(称为管子的稳压值,有各种不同稳压值的稳压管)电流将突然增加,以后它的端电压将基本维持恒定,当外加的反向电压继续升高时其端电压仅有少量增加。

注意:流过二极管或稳压二极管的电流不能超过管子的极限值,否则管子会被烧坏。

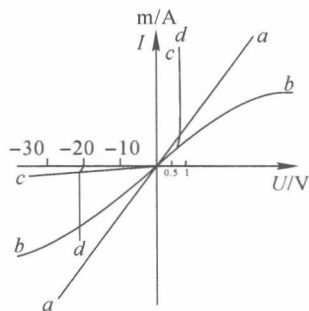


图 1-1 伏安特性曲线

三、实验设备

- (1) 可调直流稳压电源、万用表。
- (2) 二极管 1N4007。
- (3) 稳压管 2CW51。
- (4) 线性电阻器 $200\ \Omega$, $1\ \text{k}\Omega/8\ \text{W}$ 各一个。

四、实验内容

1. 测定线性电阻器的伏安特性

按图 1-2 接线, 调节稳压电源的输出电压 U , 从 $0\ \text{V}$ 开始缓慢地增加, 一直到 $10\ \text{V}$, 记下相应的电压表和电流表的读数 U_R 、 I , 填入表 1-1 中。

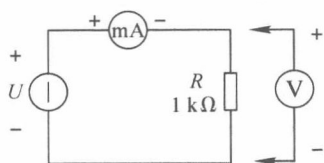


图 1-2 伏安特性测试电路 ($R=1\ \text{k}\Omega$)

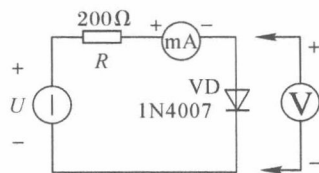


图 1-3 伏安特性测试电路 ($R=200\ \Omega$)

表 1-1

U_R/V	0	2	4	6	8	10
I/mA						

2. 测定非线性白炽灯的伏安特性

将图 1-2 中的 R 换成一只 $12\ \text{V}$, $0.1\ \text{A}$ 的白炽灯, 重复实验内容 1, 将数据填入表 1-2 中。 U_L 为白炽灯的端电压。

表 1-2

U_L/V	0.1	0.5	1	2	3	4	5
I/mA							

3. 测定半导体二极管的伏安特性

按图 1-3 接线, R 为限流电阻器。测二极管的正向特性时, 其正向电流不得超过 $35\ \text{mA}$, 二极管 VD 的正向施压 $U_{\text{VD}+}$ 可在 $0\sim 0.75\ \text{V}$ 之间取值, 在 $0.5\sim 0.75\ \text{V}$ 之间应多取几个测量点。测反向特性时, 只需将图 1-3 中的二极管 VD 反接, 且其反向施压 $U_{\text{VD}-}$ 可达 $30\ \text{V}$ 。

表 1-3 正向特性实验数据

$U_{\text{VD}+}/\text{V}$	0.10	0.30	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
I/mA								