

21世纪高等学校规划教材



DIANGONG DIANZI
SHIYAN ZHIDAO

电工电子 实验指导

(第二版)

廖英杰 许勤 主编

吴红莲 刘泽良 袁开艳 杨保海 石翔 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

21世纪高等学校规划教材



电工电子 实验指导

(第二版)

主 编 廖英杰 许 勤
副主编 吴红莲 刘泽良 袁开艳
杨保海 石 翔
编 写 梁宁利 盛 健
主 审 王建敏



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

本书分为三篇，共七章。第一篇为实验基础，包括测量与误差理论、常用仪器设备的使用、实验要求；第二篇为基本实验，包括电路分析实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验；第三篇为 PSpice 电路仿真技术，介绍 PSpice 软件和仿真应用。本书充分反映了现阶段电工电子技术实践性教学的实际，具有内容全面、翔实，实用性强等特点。

本书可作为高等院校工科各专业的实验教材，也可作为电工电子工程技术人员参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子实验指导/廖英杰，许勤主编. —2 版. —北京：中国电力出版社，2014. 10

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5123-6512-4

I. ①电… II. ①廖…②许… III. ①电工技术—实验—高等学校—教学参考资料②电子技术—实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM-33②TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 226580 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 7 月第一版

2014 年 10 月第二版 2014 年 10 月北京第六次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.75 印张 255 千字

定价 28.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

电工电子技术实验是实践性教学中进行基本技能训练的重要环节,是各类工科专业学生必修的基础课程之一。为适应新世纪对素质教育发展的要求,进一步推动质量工程建设,提高教学水平,故编写本书。本书反映了现阶段电工电子技术实践性教学的实际,尽量满足实践性教学改革对教材建设的要求,并与《电工电子实训指导》构成电工电子实践性教学环节的教材体系,体现了编者对电工电子实践性教学的目的、任务和方法的理解。

本书是在编者多年电工电子技术实验教学和教材建设的基础上编写而成的。本书内容在满足课程教学基本要求的前提下,对现有教学内容进行了精选,并注意加强知识的综合和系统的概念,力求具备保证基础、加强实用的特点。

本书主要内容包括实验基础和基本实验部分。实验基础部分主要介绍了电工电子测量的基础知识,包括测量与误差理论的基本知识、测量数据的处理、电工电子测量仪器的基本知识和使用说明、常用电学量的测量技术等内容。基本实验部分涵盖了电路分析实验、模拟电子技术实验和数字电子技术实验。这样安排的好处是可以使学生在各门课程时充分利用已学知识,强化学习成果,避免不必要的重复学习。书中还介绍了 PSpice 电路仿真软件,以期学生在进入实验室之前就能对将要进行的实验作电路仿真,加深对所做实验的认识,强化实验效果,节约实验时间。

本书由九江学院电子工程学院电工电子教研室集体编写完成。书稿由江西科技师范学院王建敏教授审阅,并提出了宝贵意见和建议。全书编写是在九江学院电子工程学院院长高小英先生的支持和指导下进行的,也得到了九江学院教务处汪剑平副处长的热情鼓励和支持,还得到了除编写人员外其他老师的大力支持和无私帮助。在此一并表示衷心的感谢!参加本书编写的人员有廖英杰、许勤、吴红莲、刘泽良、袁开艳、杨保海、石翔、梁宁利、盛健。全书由廖英杰负责大纲的策划、内容的安排及审校,许勤负责书稿的组织、统稿及部分内容写作。

限于编者水平,疏漏之处在所难免,恳请使用本教材的老师 and 同学提出宝贵意见和建议,以期在今后加以改正。

编 者

2014 年 8 月

目 录

前言

第一篇 实 验 基 础

第一章 测量与误差理论	1
第一节 实验测量	1
第二节 误差理论	4
第二章 常用仪器设备的使用	9
第三章 实验要求	18
第一节 实验报告	18
第二节 实验室管理规定	20

第二篇 基 本 实 验

第四章 电路分析实验	22
实验一 电路元件伏安特性的测绘	22
实验二 电位测量及基尔霍夫定律的验证	25
实验三 叠加定理的验证	28
实验四 戴维南定理和诺顿定理的验证	31
实验五 典型电信号的观察与测量	34
实验六 RC 一阶电路响应的测试	37
实验七 二阶动态电路响应的研究	40
实验八 正弦交流电路 R、L、C 元件阻抗特性的研究	42
实验九 正弦稳态交流电路相量的研究	45
实验十 RC 选频网络特性测试	48
实验十一 RLC 串联谐振电路的研究	51
实验十二 用三表法测量交流电路等效参数	54
实验十三 三相交流电路电压电流的测量	57
实验十四 电压源与电流源的等效变换	60
第五章 模拟电子技术实验	63
实验一 放大电路静态工作点研究	63
实验二 单级放大电路动态参数的研究	67
实验三 射极跟随器	70

实验四	多级放大电路	73
实验五	差动放大电路	76
实验六	负反馈放大电路	79
实验七	比例求和运算电路	82
实验八	积分与微分电路	85
实验九	有源滤波器	87
实验十	电压比较器	91
实验十一	RC 正弦波振荡器	93
实验十二	集成功率放大器	95
实验十三	直流稳压电源的测试	98
第六章	数字电子技术实验	101
实验一	门电路逻辑功能测试	101
实验二	加法器	104
实验三	编码器	106
实验四	译码器	108
实验五	显示译码器	111
实验六	数据选择器	114
实验七	组合逻辑电路应用	117
实验八	触发器逻辑功能研究	119
实验九	触发器类型转换	122
实验十	异步时序逻辑电路研究	124
实验十一	移位寄存器研究	126
实验十二	计数器及其应用	128
实验十三	555 定时器的应用	131
实验十四	A/D 转换器	135
实验十五	D/A 转换器及其应用	137
实验十六	电路设计 (一)	139
实验十七	电路设计 (二)	141

第三篇 PSpice 电路仿真技术

第七章	PSpice 软件和仿真应用	143
第一节	PSpice 软件组成	143
第二节	PSpice 主要分析功能和特点	144
第三节	电子电路 PSpice 程序辅助分析 (一)	145
第四节	电子电路 PSpice 程序辅助分析 (二)	154
附录	常用集成电路外引脚图	159
参考文献		163

第一篇 实 验 基 础

第一章 测量与误差理论

第一节 实 验 测 量

一、测量的基本概念

(一) 测量

科学实验离不开测量,测量是人们对自然界中的客观事物取得数量的一种认识过程。在这一过程中,人们借助于专门的设备,通过实验的方法,把被测量的量与其同类的习惯上作为测量单位的量进行比较,以求出被测量的量值。因此,测量的过程实质上是一种比较过程。被测量的量值(x)一般由两部分组成:一部分是数字值(A_s),另一部分是测量单位(x_0),即

$$x = A_s x_0 \quad (1-1)$$

式(1-1)表明,被测量的量值 x 等于 A_s 个单位量 x_0 。

被测量的数字值因所选定的测量单位不同而异。选定的测量单位不同,将得到不同的数字值。例如,在测量某一被测量 x 时,先用测量单位 x_{01} ,后用测量单位 x_{02} ,则有

$$x = A_{s1} x_{01}, x = A_{s2} x_{02}$$

于是有

$$\frac{A_{s1}}{A_{s2}} = \frac{x_{02}}{x_{01}}$$

式中: A_{s1} 和 A_{s2} 分别为两次测量结果的数字值。

由上面分析可知,被测量的数字值与选定的单位大小成反比。所选定的单位大,测量结果的数字值就小;反之,若选定的单位小,则测量结果的数字值就大。

如果令 $k = x_{01}/x_{02}$,则

$$A_{s2} = k A_{s1} \quad (1-2)$$

式中: k 为两个不同单位的换算因子。

式(1-2)表明,用一定的单位去测量某一量所得的数字值,乘上它们之间的换算因子 k 后,将得出用新单位表示的该量的数字值。

(二) 测量单位

测量单位的确定和统一是非常重要的。为了保证对同一量在不同时间、空间进行测量时得到相同的结果,必须采用统一且固定不变的单位。

单位制的建立解决了这个问题。单位制的种类很多,目前普遍采用的是国际单位制,代号为SI。SI制包括七个基本单位、两个辅助单位和其他导出单位。

七个基本单位如下:

(1) 长度单位——m (米);

(2) 质量单位——kg (千克);

- (3) 时间单位——s (秒);
- (4) 电流单位——A (安培);
- (5) 热力学温度单位——K (开尔文);
- (6) 光强度单位——cd (坎德拉);
- (7) 物质的量单位——mol (摩尔)。

两个辅助单位: rad (弧度) 和 sr (球面度)。其他物理量的单位均可用上述七个基本单位导出, 称为导出单位。

在电磁测量技术领域, 只需用上述七个基本单位中的前四个单位 (即 m、kg、s 和 A) 即可导出所有电磁物理量的单位。常用电磁物理量单位有 N (牛顿)、J (焦耳)、W (瓦特)、C (库仑)、V (伏特)、F (法拉)、 Ω (欧姆)、S (西门子)、Wb (韦伯)、H (亨利)、T (特斯拉) 等。

二、测量设备

在测量过程中, 用来实现确定被测量这一过程的各种技术工具统称为测量设备。它包括度量器和测量仪器两种基本类型。

(一) 度量器

测量是一种比较过程, 仅有测量单位并不能完成测量任务, 还需要体现测量单位的实物复制体, 用来复制和保存测量单位。这种实物复制体就称为度量器。根据量值传递作用的不同和准确度的高低, 度量器可分为基准器、标准器和工作度量器三类。

基准器是用现代科学所能达到的最高准确度来复制和保存测量单位的度量器, 并作为国家处理测量事务的法定基础和测量科学基础。

在电工测量中, 主要的基准器有电压基准器、电阻基准器和电容基准器等, 它们共同构成了电工测量的基础。

标准器的准确度低于基准器, 供计量部门对工作度量器进行检定或标定时使用, 按用途可分为一等标准器和二等标准器。

工作度量器是专供日常测量时使用的度量器。在电工测量中常用的标准电池、标准电阻、标准电容和标准电感都属于这一类。

(二) 测量仪器

测量仪器可分为测量指示仪表和较量仪器两类。直接由仪表指示机构的指示值读取测量结果的测量仪器, 称为测量指示仪表, 如电压表、电流表等。在测量过程中必须与度量器进行比较才能获得测量结果的测量仪器, 称为较量仪器, 如电桥、电位差计等。

随着电子科学技术的不断发展, 以各种电子元器件、部件为核心组成的测量仪器大量出现, 如各种多功能的电子示波器、信号发生器、图示仪、频谱仪及数字电压表等, 这些测量仪器称为电子测量仪器。近几年来, 随着微型计算机技术的引入、开发和应用, 测量技术正在向数字化、智能化、系统化方向发展。

三、测量方式与方法

(一) 测量方式

测量方式分为直接测量、间接测量和组合测量。

1. 直接测量

利用测量仪器仪表直接获得测量结果的测量方式称为直接测量。这种方式就是将被测量

与标准量直接比较, 或者是通过事先刻度好的仪表进行测量。例如, 用尺测量长度, 用电流表测量电流, 用直流电桥测量电阻, 用数字频率计测量频率等。

2. 间接测量

若被测量与几个物理量存在某种函数关系, 且无法或不便直接测量, 则可先直接测量得到这几个物理量的值, 然后再由函数关系计算出被测量的数值, 这种测量方式称为间接测量。例如, 测量电阻时, 可用电压表测出该电阻 (R) 两端的电压 (U), 用电流表测出流过该电阻的电流 (I), 然后根据欧姆定律

$$R = \frac{U}{I}$$

求出被测量电阻值。这一测量过程就属于间接测量。间接测量比较麻烦, 但是在被测量不可直接测量, 或直接测量很复杂, 或直接测量误差较大, 或缺少直接测量仪器时, 可采用间接测量。

3. 组合测量

当有多个被测量, 且它们与几个可直接或间接测量的物理量之间满足某种函数关系时, 可通过联立求解函数关系式 (方程组) 获得被测量的数值, 这种测量方式称为组合测量。测量某标准电阻的一次项温度系数 α 和二次项温度系数 β 的值, 便是组合测量的一个例子。标准电阻的电阻值与温度之间满足

$$R_t = R_{20}[1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2]$$

式中: t 为摄氏温度, $^{\circ}\text{C}$; R_t 为温度为 t 时的电阻值; R_{20} 为温度为 20°C 时的电阻值; α 、 β 为标准电阻的温度系数。

因此, 在测得该标准电阻在 20°C 、 t_1 、 t_2 时对应的电阻值 R_{20} 、 R_{t1} 、 R_{t2} 后就可列出下列方程组

$$\begin{cases} R_{t1} = R_{20}[1 + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2] \\ R_{t2} = R_{20}[1 + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2] \end{cases}$$

解出上述方程组便可确定该标准电阻的一次项温度系数 α 和二次项温度系数 β 。

(二) 测量方法

测量过程可以是直接的, 也可以是间接的。根据是否有度量器直接参与测量过程, 可以将测量方法分为直读法和比较法两大类。

1. 直读法

直接从仪表上读取读数的测量方法称为直读法。在直读法的测量过程中, 度量器不直接参与作用。例如, 用欧姆表测量电阻时, 没有直接使用标准电阻与被测量的电阻进行比较, 而是直接根据欧姆表指针在欧姆标尺上的位置读取被测电阻数值。在这种测量过程中, 标准电阻间接参与作用, 因为欧姆表的标尺是事先经过“标准”的。此外, 用电流表测量电流、用电压表测量电压、用功率表测量功率等都是用直读法测量的例子。

直读法的优点是设备简单、操作简便, 缺点是测量的准确度不高。

2. 比较法

将被测量与度量器通过较量仪器进行比较, 从而测量被测量的方法称为比较法。在比较法中, 度量器是直接参与作用的。例如, 用天平测量物体质量的方法就是一种比较法, 在测量过程中, 做质量度量器的砝码始终参与测量。

根据被测量与标准量进行比较时的特点不同,又可将比较法分为平衡法、微差法、替代法。

(1) 平衡法(零值法)。在测量过程中,连续改变标准量,使它产生的效应与被测量产生的效应相互抵消或平衡,这种方法称为平衡法。由于在平衡时指示器指零,所以平衡法又称为零值法。电桥和电位差计就是应用平衡法原理进行测量的。

(2) 微差法(差值法)。如果在平衡法过程中,被测量与标准量不能平衡或标准量不便调节,则用测量仪器测量两者的差值或正比于差值的量,进而根据标准量的数值确定被测量的大小,这种方法称为微差法。

(3) 替代法。将被测量与标准量分别接入同一测量装置,在标准量替代被测量的情况下调节标准量使测量装置的工作状态保持不变,从而可以用标准量的数值来确定被测量的大小,这种方法称为替代法。

比较法的优点是测量准确度、灵敏度高,适合精密测量;缺点是测量过程较为麻烦,所用仪器设备的价格较高。

应注意测量方式和测量方法概念上的区别。例如,用功率表测量功率既是直接测量方式又属于直读法;用电桥测量电阻则是直接测量方式,不属于直读法而属于比较测量法。

第二节 误差理论

一、误差的来源与分类

测量过程中,由于各种因素的影响,测量结果和待测量的客观真值之间存在一定差别,即测量误差。在实验中进行测量和数据处理时,都应着眼于减少误差,尽可能使实验结果接近真值。因此,分析误差产生原因,采取相应措施减少误差,使测量结果更加准确,这对实验者来说是必须了解和掌握的。

误差产生的原因是多方面的,从误差的性质和来源上可分为系统误差和偶然误差两大类。

(一) 系统误差

在相同条件下,多次测量同一个量值时误差的绝对值和符号保持不变,或在条件改变时按一定规律变化的误差,称为系统误差。由于系统误差具有规律性,就有可能通过试验和研究来发现它,找出其产生原因,从而设法防止和消除。有的系统误差可以计算出来加以改正。

系统误差主要来自仪器误差、方法误差和操作误差三个方面。

(1) 仪器误差。任何一个测量系统在测量时都存在误差,其指示值均为被测量的近似值。仪器误差是由于测量仪器不完善而造成的误差,为仪器所固有的。

(2) 方法误差。方法误差是由于实验理论、实验方法或实验条件不合要求而引起的误差。例如用伏安法测电阻,采用不同的连接方法,电表的内阻会给测量带来误差。

(3) 操作误差。操作误差是使用仪器、仪表过程中,由于安装、调试、布局和使用不当所产生的误差。操作误差是因使用不规范所引起,故也称为使用误差。

(二) 偶然误差(随机误差)

在同一条件下,对某一量进行多次测量时,每次测量的结果有差异,其差异的大小和符

号正负不可预测,这种误差称为偶然误差或随机误差。

偶然误差是由于一些偶然的、不确定的因素引起的。例如,仪器校对不准;调节平衡时,平衡点未调准;读数不准确;实验仪器由于环境温度、湿度、振动、杂散电磁场的干扰,电源电压的波动等因素引起测量值的变化。这些因素的影响一般是微小的、混杂的,并且是随机出现的,这就难以确定某个因素产生的具体影响的大小。

每项测量的偶然误差是无规则的,但若测量次数充分多时,就会发现在一定条件下,它具有一定的规律性。这种规律性表现为偶然误差服从一定的统计规律,具体表现为:

- (1) 绝对值小的误差出现的概率比绝对值大的误差出现的概率要大得多;
- (2) 比真值大的测量值与比真值小的测量值出现的概率相等;
- (3) 绝对值相等的正误差与负误差出现的概率相等。

根据以上特点,可以通过对多次测量值取算术平均值的方法来削弱随机误差对测量结果的影响。因此,对于偶然误差可以用数理统计的方法来处理。

二、误差表示方法

误差表示方法可分为绝对误差和相对误差两种。

(一) 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。故常用准确度高一级的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,测量仪器应由准确度高一级的标准仪器进行校正,校正量常用修正值 C 表示。对于被测量,准确度高一级的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,即

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

利用修正值便可求得该仪器所测量的实际值,即

$$A = X + C$$

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

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

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。

(二) 相对误差

绝对误差的大小往往不能确切地反映被测量的准确程度。例如,测量 100V 电压时, $\Delta X_1 = +2\text{V}$; 测量 10V 电压时, $\Delta X_2 = +0.5\text{V}$ 。虽然 $\Delta X_1 > \Delta X_2$, 但实际 ΔX_1 只占被测量的 2% , 而在 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。

1. 实际相对误差

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, 即

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

2. 示值相对误差

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, 即

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

3. 引用相对误差

引用相对误差又称为满度相对误差 (简称满度误差), 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, 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。例如, 1.5 级的电工仪表, 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、2.0 级。若某仪表的等级是 S 级, 满刻度值为 X_m , 则其测量的绝对误差为

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

其示值相对误差为

$$\gamma_X \leq \frac{X_m S\%}{X} \quad (1-3)$$

式 (1-3) 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, γ_X 的上限值越小, 测量越准确。因此, 当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。

【例 1-1】 测量一个 10V、50Hz 的电压, 现用 1.5 级电工仪表, 可选用 15V 或 150V 的量程。问该如何选择量程?

解: 用量程 150V 时, 测量产生的绝对误差为

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

而用量程为 15V 时, 测量产生的绝对误差为

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

显然, 用 15V 量程测量 10V 电压, 绝对误差小得多。

三、测量结果的处理

(一) 有效数字概念

由于在测量过程中不可避免地存在着一定的误差, 并且仪表的分辨能力有一定的限制, 因此测量数据就不可能完全准确。在一般情况下, 测量结果的最后 1 位数字通常是估测出来的。

由于存在误差, 所以测量数据是近似值, 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, 其中 12 是可靠数字, 而末位 6 为欠准数字, 即 12.6 为 3 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 0.0246MHz, 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 24.6kHz, 这时有效数字仍为 3

位, 6 是欠准数字, 未变。但不能将 0.0246MHz 写成 24 600Hz, 因为后者的有效数字变为 5 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, 则有效数字的末位读数应与仪器误差的准确度相一致。例如, 设仪表误差为 $\pm 0.01\text{V}$, 测得电压为 11.3735V, 结果应写 11.37V。

(3) 当给出的误差有单位时, 测量数据的写法应与其一致。

(二) 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。

(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, 在后面的数值恰为第 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, 能被除尽的机会比尾数奇数的多, 有利于准确计算。

(三) 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。一般应遵循以下运算规则:

(1) 当几个近似值进行加减运算时, 在各数中 (采用同一计算单位), 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 1 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 1 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 1 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。

四、实验曲线的绘制

实验技术中经常要绘制一些实验曲线, 实验数据处理后在平面坐标中是一些离散的点, 将这些离散点光滑地连接起来, 即可得到实验曲线。绘制实验曲线的一般方法是: 第一步, 将测量数据点标在合适的坐标系中, 为了保证所绘制的实验曲线的准确度, 在曲线变化较大处应多取一些实验点, 在曲线变化较小处可以少取一些实验点; 第二步, 做出拟合曲线。如图 1-1 所示, 测试绘制 PN 结正向伏安特性曲线时, 在曲线折点处应多取些测试点。

由于测量数据不可避免地存在误差, 所以在一般情况下不应把各个数据点直接逐点连成曲线, 应用绘图曲线板或借用计算机做出一条尽可能靠近多个数据点, 且曲线两侧的数据点数目相差不多的平滑的拟合曲线, 如图 1-2 所示。

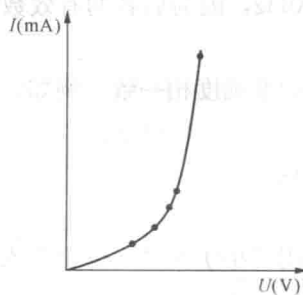


图 1-1 PN 结正向伏安特性曲线

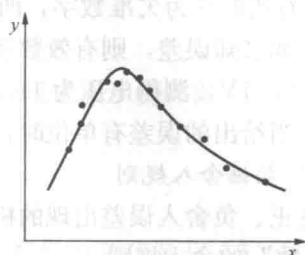


图 1-2 实验数据拟合曲线

第二章 常用仪器设备的使用

在电子电路实验中,经常使用的电子仪器有示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表及频率计等。它们与万用表一起,可以完成对电子电路工作情况的测试。

实验中要综合使用各种电子仪器,可按照信号流向,以连线简捷、调节顺手、观察与读数方便等原则进行合理布局。电子仪器与被测实验电路之间的布局与连接如图 2-1 所示。接线时应注意,为防止外界干扰,各仪器的公共接地端应连接在一起,称为共地。信号源和交流毫伏表的接线通常采用屏蔽线或专用电缆线,示波器接线采用专用电缆线,直流电源的接线采用普通导线。

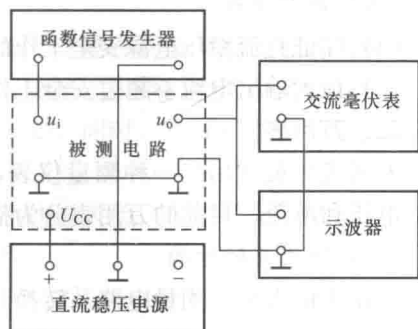


图 2-1 电子电路实验中电子仪器与被测实验电路之间的布局与连接

一、直流稳压电源

直流稳压电源是电子电路实验中常用的仪器,现以 EM1715 型三路直流稳压电源为例,介绍直流稳压电源的使用方法。

(一) 基本特性

两路独立输出 0~30V 连续可调,最大电流为 3A;两路串联输出时,最大电压为 60V,最大电流为 3A;两路并联输出时,最大电压为 30V,最大电流为 6A。另一路为固定输出电压 5V,最大电流为 3A 的直流电源。

(二) 使用方法

1. 双路可调电源独立使用

按钮开关 (MEASURE) 处于 INDEP 状态 (即  位置),将稳流调节旋钮 (CURRENT) 顺时针调节到最大,然后打开电源开关,调节电压调节旋钮 (VOLTAGE),使从路和主路输出直流电压至所需要的电压值。此时稳压状态指示灯 (CV) 发光。

2. 可调电源作稳流源使用

在打开电源开关后,先将稳压调节旋钮顺时针调节到最大,按钮开关 (MEASURE) 处于 PARALLEL 状态 (即  位置),同时将稳流调节旋钮逆时针调节到最小,然后接上所需负载,再顺时针调节稳流调节旋钮,使输出电流至所需要的稳定电流值。此时稳压状态指示灯 (CV) 熄灭,稳流状态指示灯 (CC) 发光。

3. 双路可调电源串联使用

将按钮开关 (MEASURE) 置于 SERIES 状态 (即左  位置,右  位置)。调节主路电源电压调节旋钮,从路的输出电压严格跟踪主路输出电压,使输出电压最高可达两路额定电压之和。

注意:在串联连接时,主路和从路的连接片不能与地短路;从路的电流调节旋钮顺时针

旋到最大, 否则由于从路输出电流超过限流保护点, 从路输出电压将不再跟踪主路的输出电压。

4. 双路可调电源并联使用

将按钮开关置于 PARALLEL 状态 (即左  位置, 右  位置)。调节主路电源电压调节旋钮, 两路输出电压一样, 同时从路稳流指示灯 (CC) 发光, 而从路稳流调节旋钮不起作用。

当电源做稳流源使用时, 只要调节主路的稳流调节旋钮, 此时主路和从路的输出电流均受其控制并相同, 其输出电流最大可达两路输出电流之和。

(三) 注意事项

(1) 保证直流稳压电源安全工作的最大输入电压不超过规定值。

(2) 最大输出电流不超过安全工作所允许的最大输出电流。

二、万用表

万用表是最常用的一种测量仪表, 也称繁用表或三用表。它有三个基本功能: 测量电阻、电压和电流。目前的万用表分为指针式和数字式。

(一) 万用表的结构

万用表由表头、测量电路及转换开关三个主要部分组成。

1. 表头

表头是一只高灵敏度的磁电式直流电流表, 万用表的主要性能指标基本上取决于表头的性能。表头的灵敏度是指表头指针满刻度偏转时流过表头的直流电流值, 这个值越小, 表明表头的灵敏度越高。测电压时表头的内阻越大, 其性能就越好。

2. 测量线路

测量线路是用来把各种被测量转换到适合表头测量的微小直流电流的电路。它由电阻、半导体元件及电池组成, 能将各种不同的被测量 (如电流、电压、电阻等)、不同的量程, 经过一系列的处理 (如整流、分流、分压等) 统一变成一定量限的微小直流电流送入表头进行测量。万用表的测量功能越多, 范围越广, 测量线路就越复杂。

3. 转换开关

转换开关是用来选择各种不同测量线路的, 以满足不同种类和不同量程的测量要求。万用表的转换开关采用多掷波段开关或专用转换开关。

(二) 使用方法

万用表面板中, “A—” 表示直流电流测量挡, 一般毫安挡和安培挡各又分几挡。“V—” 表示直流电压挡, 高级一点的万用表还设有毫伏挡, 电压挡也分若干挡。同理 “V~” 表示交流电压挡, “A~” 表示交流电流挡。“ Ω ” 表示欧姆挡是用来测电阻的, 对于指针式万用表, 每换一次电阻挡还要做一次调零。调零就是把万用表的红表笔和黑表笔搭在一起, 然后转动调零钮, 使指针指向零的位置。“ h_{FE} ” 是由于测量三极管的电流放大系数的, 只要把三极管的三个引脚插入万用表面板上对应的孔中, 就能测出 h_{FE} 值。注意: PNP、NPN 管的管脚位置是不同的。

以测量电阻值为例, 第一条刻度线是电阻值指示, 刻度线最左端是无穷大, 右端为零, 其间刻度不均匀。电阻挡有 $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1k$ 、 $R \times 10k$ 挡, 读取刻度的指示要再乘上各挡的倍数, 才得到实际的电阻值 (Ω)。例如用 $R \times 100$ 挡测一电阻, 指针指示为

“10”，那么它的电阻值为 $10 \times 100 = 1000 (\Omega)$ ，即 $1k\Omega$ 。第二条刻度线为电压挡和电流挡共用，需要注意的是电压挡、电流挡的指示原理不同于电阻挡。例如 500V 挡表示该挡只能测量 500V 以下的电压，500mA 挡只能测量 500mA 以下的电流，若是超过量程，就有可能损坏万用表。

(三) 注意事项

(1) 在使用万用表之前，应先进行“机械调零”，即在没有被测电量时，使万用表指针指在零电压或零电流的位置上。

(2) 在使用万用表过程中，不能用手去接触表笔的金属部分，这样一方面可以保证测量的准确，另一方面也可以保证人身安全。

(3) 在测量某一电量时，不能在测量的同时换挡，尤其是在测量高电压或大电流时，更应注意；否则，会将万用表毁坏。如需换挡，应先断开表笔，换挡后再去测量。

(4) 万用表在使用时，必须水平放置，以免造成误差；同时，还要注意避免外界磁场对万用表的影响。

(5) 万用表使用完毕，应将转换开关置于交流电压的最大挡。如果长期不使用，还应将万用表内部的电池取出来，以免电池腐蚀表内其他器件。

三、交流毫伏表

(一) 基本特性

交流毫伏表的功能是在其工作频率范围之内，测量正弦交流电压的有效值。其结构包括高稳定度放大电路及表头指示电路。双通道交流毫伏表分别由两组性能相同的电路组成。

双通道交流毫伏表可测量电压的频率范围宽 ($5\text{Hz} \sim 1\text{MHz}$)，测量电压灵敏度高 ($30\mu\text{V} \sim 100\text{V}$ 或 $100\mu\text{V} \sim 300\text{V}$)；共分 1、3、10、30、100、300mV 和 1、3、10、30、100、300V 十二挡；电平 (单位：dB) 刻度范围是 $-60 \sim +50\text{dB}$ 。该种表噪声低，测量误差小，具有相当好的线性度。

(二) 操作步骤

(1) 接通 220V 电源，按下电源开关，电源指示灯亮，仪器开始工作。为了保证仪器稳定性，需预热 10s 后使用，开机后 10s 内指针无规则摆动属正常。

(2) 将输入测试探头与被测电路并联，观察表头指针在刻度盘上所指的位置。若指针在起始点位置基本没动，说明被测电路中的电压甚小且毫伏表量程选得过高，此时用递减法由高量程向低量程变换，直到表头指针指到满刻度的 $2/3$ 左右即可。

(3) 准确读数。表头刻度盘上共刻有四条刻度，第一条刻度和第二条刻度为测量交流电压有效值的专用刻度，第三条和第四条为测量电平值的刻度。当量程开关分别选 1mV、10mV、100mV、1V、10V、100V 挡时，就从第一条刻度读数 (逢 1 就从第一条刻度读数)；当量程开关分别选 3mV、30mV、300mV、3V、30V、300V 挡时，应从第二条刻度读数 (逢 3 从第二刻度读数)。例如，将量程开关置 1V 挡，就从第一条刻度读数。若指针指的数字是在第一条刻度的“0.7”处，其实际测量值为 0.7V；若量程开关置 3V 挡，就从第二条刻度读数。若指针指在第二条刻度的“2”处，其实际测量值为 2V。以上举例说明，当量程开关选在某个挡位，比如 1V 挡位，此时毫伏表可以测量外电路中电压的范围是 $0 \sim 1\text{V}$ ，满刻度的最大值也就是 1V。