



普通高等院校“十三五”创新型规划教材
理论+实践+数字资源一体化规划教材

电工电子技术 实验教程



主编 牟俊



电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press

电工电子技术实验教程

主 编 牟 俊

副主编 崔远慧

编委会 李仁庆 初 冉 刘 俐 祁建广

 电子科技大学出版社

· 成都 ·

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术实验教程 / 牟俊主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2019. 6
ISBN 978 - 7 - 5647 - 7007 - 5

I. ①电… II. ①牟… III. ①电工技术 - 实验 - 教材
②电子技术 - 实验 - 教材 IV. ①TM - 33②TN - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 105405 号

电工电子技术实验教程

DIANGONG DIANZI JISHU SHIYAN JIAOCHENG

牟 俊 主 编

策划编辑 高小红
责任编辑 高小红

出版发行 电子科技大学出版社
成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 www.uestp.com.cn
服务电话 028 - 83203399
邮购电话 028 - 83201495

印 刷 湖北鄂南新华印刷包装股份有限公司
成品尺寸 170mm × 240mm
印 张 15
字 数 270 千字
版 次 2019 年 6 第 1 版
印 次 2019 年 6 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978 - 7 - 5647 - 7007 - 5
定 价 35.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

本书是由教学经验丰富的教师根据教育部高等工程學院电工學課程指導小組審定的“電工與電子技術課程基本要求”，結合多年來在理論課教學及實驗環節中的授課經驗，認真總結大連工業大學電工電子實驗教學改革經驗與成果，在實驗儀器和設備全面更新的基礎上，經過集體討論編寫而成的。

本書注重學生基本技能的培養。在實驗目的、實驗內容安排和儀器的使用上，對能力培養方面提出了較為明確的要求。以秦曾煌主編的《電工學》（上、下冊）為理論基礎，每一章節都配備了相應的驗證性實驗，在此基礎上增加了綜合性、設計性的實驗內容。

本書共分為四篇。第一篇為電工技術，共有20個實驗；第二篇為電子技術，共有14個實驗；第三篇為設計性實驗，共有2個實驗；第四篇為附錄。本書實驗內容豐富，可以滿足不同學時的非電專業的教學要求。

本書由大連工業大學牟俊老師擔任主編，崔遠慧老師擔任副主編。其中實驗一至實驗二十九由牟俊編寫，實驗三十至附錄由崔遠慧編寫，李仁慶、初冉、劉俐和祁建廣老師參與了內容的編寫與補充，全書由牟俊統稿。

本書由大連工業大學電類基礎教研室各位老師經過多年實踐不斷完善而成，在此感謝康鐵英教授、劉劍教授、李維教授的鼎力支持。由於編者水平有限，書中難免存在缺點和不足，希望廣大讀者能夠提出寶貴意見。

編 者
2019年4月

CONTENTS 目录

电工技术部分

实验设备使用注意事项	2
实验一 常用电工仪表的测量与误差分析	3
实验二 仪表的误差减小方法和量程扩展	8
实验三 电路元件伏安特性的测绘	14
实验四 基尔霍夫定律验证和电位的测定	23
实验五 叠加原理	28
实验六 戴维南定理验证和有源二端网络的研究	32
实验七 电压源与电流源的等效变换	38
实验八 受控源 VCCS、VCVS、CCVS、CCCS 的特性曲线	42
实验九 RC 一阶电路响应与研究	51
实验十 二阶电路的响应	59
实验十一 R-L-C 元件的阻抗特性和谐振电路	63
实验十二 正弦交流电路及功率因数提高的设计	71
实验十三 三相电路	74
实验十四 三相电路功率的测量	77
实验十五 变压器的应用	82
实验十六 三相鼠笼式异步电动机	86
实验十七 三相鼠笼式异步电动机点动和自锁控制	93
实验十八 三相鼠笼式异步电动机正反转控制	97
实验十九 三相鼠笼式异步电动机——Y 和 Δ 换接启动控制	101
实验二十 三相异步电动机顺序控制	106



电子技术部分

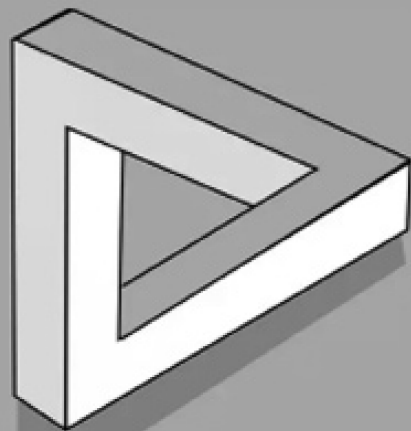
实验二十一	常用电子仪器的使用	111
实验二十二	晶体管共射极单管放大器	117
实验二十三	负反馈放大器	127
实验二十四	差动放大电路	132
实验二十五	射极跟随器	137
实验二十六	两级交流放大电路	142
实验二十七	集成运算放大器基本应用(Ⅰ)——(模拟运算电路)	145
实验二十八	集成运算放大器基本应用(Ⅱ)——(有源滤波器)	151
实验二十九	集成运算放大器基本应用(Ⅲ)——(电压比较器)	158
实验三十	直流稳压电源(Ⅰ)——(串联型晶体管稳压电源)	163
实验三十一	直流稳压电源(Ⅱ)——(集成稳压器)	169
实验三十二	TTL 集成逻辑门的参数测试	173
实验三十三	触发器及其应用	179
实验三十四	组合逻辑电路的设计与测试	189

设计性实验

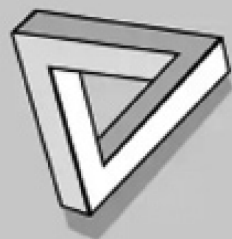
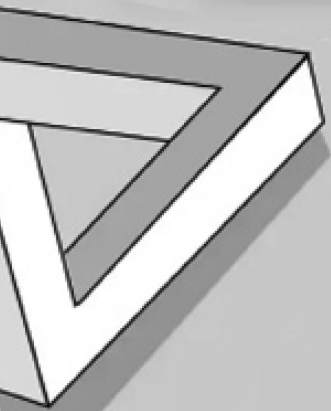
实验三十五	模拟运算电路的设计	195
实验三十六	继电器控制电路的设计	197

附录部分

附录Ⅰ	安全用电基础知识	201
附录Ⅱ	74 系列芯片及部分引脚图	205
附录Ⅲ	基于虚拟仪器技术的电类基础实验简介	218



电工技术部分



实验设备使用注意事项

1. 必须在断电情况下完成实验电路的连接，经检查确认无误后方可通电。切勿将 380V 和 220V 接错。
2. 强电实验与弱电实验使用的导线不同，不可将弱电导线用于强电实验中。
3. 若发现设备打开无显示，请检查设备电源是否插好或保险丝是否良好。
4. 恒流源、单相调压器、直流可调电源在使用前应调至最小值(逆时针旋转到终端)；使用完毕后也须调至最小值。
5. 可调电阻(电位器)在使用时，须先调至最大值，然后再通电，最后调至需要的阻值。
6. 使用电流表时请注意将电流表串联于电路中，切勿并联于电路，以免造成电源短路。
7. 双路可调电源禁止串联使用。
8. 若需更换保险丝，请按设备要求的规格型号更换，切勿随意更换不同型号的保险丝。

常用电工仪表的测量与误差分析

一、实验目的

1. 掌握系统误差和随机误差的概念。
2. 学会分析系统误差和随机误差的方法。

二、实验原理与说明

(一) 测量方法

根据获得测量结果的方法不同，测量可以分为两大类：直接测量和间接测量。

1. 直接测量法

直接测量法是指被测量与其单位量做比较，被测量的大小可以直接从测量的结果得出。例如：用电压表测量电压，读数即为被测电压值，这就是直接测量法。

直接测量法又分直接读数法和比较法两种。

上述用电压表测量电压，就是直接读数法，被测量可直接从指针指示的表面刻度读出。这种测量方法的设备简单，操作方便，但其准确度较低，测量误差主要来源于仪表本身的误差，误差最小约可达 $\pm 0.05\%$ 。

比较法是指测量时将被测量与标准量进行比较，通过比较确定被测量的值。例如用电位差计测量电压源的电压，就是将被测电压源的电压与已知标准电压源的电压相比较，并从指零仪表确定其作用互相抵消后，即可以刻度盘读得被测电压源的电压值。比较法的优点是准确度和灵敏度都比较高，测量误差主要决定于标准量的精度和指零仪表的灵敏度，误差最小约可达 $\pm 0.001\%$ 。比较法的缺点是设备复杂，价格昂贵，操作麻烦，仅适用于较精密的测量。

2. 间接测量法

间接测量法是指测量时测出与被测量有关的量, 然后通过被测量与这些量的关系式, 计算得出被测量。例如用伏安法测量电阻, 首先测得被测电阻上的电压和电流, 再利用欧姆定律求得被测电阻值。间接测量法的测量误差较大, 它是各个测量仪表和各次测量中误差的综合。

(二) 测量误差

测量中, 无论采用什么样的仪表、仪器和测量方法, 都会使测量结果与被测量的真实值(即实际值或简称“真值”)之间存在差异, 这就是测量误差。测量误差可分为三类, 即系统误差、偶然误差和疏忽误差。

1. 系统误差

系统误差的特点是测量结果总是向某一方向偏离, 相对于真实值总是偏大或偏小, 具有一定的规律性, 根据其产生的原因可分为: 仪表误差、理论或方法误差、个人误差。

(1) 仪表误差

仪表在规定的正常工作条件下使用(在规定的温度、湿度, 规定的安置方式, 没有外界电磁场的干扰等), 由于仪表本身结构和制造工艺上的不完善所引起的误差, 叫作仪表的基本误差。例如仪表偏转轴的磨损、标尺刻度的不准等引起的误差, 都属于基本误差, 是仪表本身所固有的。

由于仪表在非正常工作条件下使用而引起的误差, 叫仪表的附加误差。例如外界电磁场的干扰所引起的误差, 就属于附加误差。

仪表误差有两种表示方法。

① 绝对误差

用仪表测量一个电量时, 仪表的指示值 A_x 与被测量的实际值 A_0 之差, 叫绝对误差, 用 Δ 表示:

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

绝对误差的单位与被测量的单位相同。绝对误差在数值上有正负之分。

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 100mA 的电流时, 绝对误差为 +1mA, 又若测量 10mA 电流时, 绝对误差为 +0.25mA, 虽然绝对误差是前者大于后者, 但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。

通常把仪表的绝对误差 Δ 与被测量的实际值的比值的百分比, 叫相对误差,

用 γ 表示。

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

因为测量值 A_x 与实际值 A_0 相差不大，故相对误差也可近似表示为

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-3)$$

用相对误差分析上述两次测量结果：第一次测量中，被测电流的相对误差为

$$\gamma_1 = \frac{\Delta_1}{A_{01}} \times 100\% = \frac{+1}{100} \times 100\% = +1\% \quad (1-4)$$

第二次测量中被测电流的相对误差为

$$\gamma_2 = \frac{\Delta_2}{A_{02}} \times 100\% = \frac{+0.25}{10} \times 100\% = +2.5\% \quad (1-5)$$

从计算结果看出，第一次测量的绝对误差虽大，但相对误差较小，所以第一次测量比第二次测量的结果准确。

(2) 理论误差或方法误差

这是指实验本身所依据的理论和公式的近似性，或者对实验条件及测量方法考虑得不周到带来的系统误差。例如，未考虑仪表内阻对被接入电路的影响而造成的系统误差就属于这一类。

(3) 测量者个人因素带来的个人误差

例如测量者反应速度的快慢、分辨能力的高低、个人的固有习惯等，致使读数总是偏大或偏小。

2. 偶然误差

偶然误差是由于某种偶然因素所造成的，其特点是在相同的测量条件下，有时偏大，有时偏小，无规律性。例如，温度、外界电磁场、电源频率的偶然变化，即使采用同一仪表去多次测量同一个量，也会得到不同的结果。

3. 疏忽误差

疏忽误差是指测量结果出现明显的错误，是由于实验者的疏忽造成读错或记错等所引起的误差。



三、实验设备(如表 1-1 所示)

表 1-1 实验设备

名称	数量	型号
三相空气开关	1 块	30121242
双路可调直流电源	1 块	30121046
电阻	2 只	1kΩ * 1, 15kΩ * 1
直流电压电流表	1 块	指针式
短接桥和连接导线	若干	P8-1 和 50148
实验用 9 孔插件方板	1 块	300mm × 298mm

四、实验步骤

1. 按图 1-1 接线, U_s 用直流稳压电源, 取 $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $R_2 = 15\text{k}\Omega$, 测量电路中的电流 I_1 与 U_1 , 将数据填入表 1-2 内。

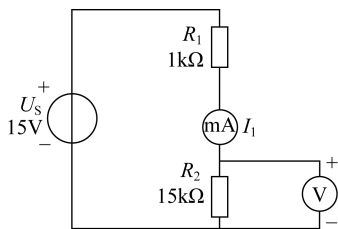


图 1-1 电流源外测实验电路

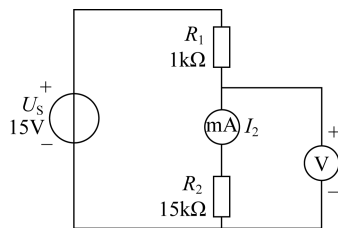


图 1-2 电流源内测实验电路

2. 然后改动电压表正表棒按图 1-2 接线, 测量电路中电流 I_2 与 U_2 , 且将数据填入表 1-2 中。

3. 然后再改变电压表正极表棒按图 1-1 接线, 进行步骤 1 的测量, 重复步骤 1, 步骤 2 三次, 共测得六组数据, 分别填入表 1-2 中。

4. 通过计算, 分别得出两个接线图中四个电量 I_1 、 U_1 、 I_2 、 U_2 的平均值, 填入表 1-3 中。

5. 根据式(1-1)、式(1-2)计算实验结果的绝对误差、相对误差, 并填入表 1-3。

表 1-2 测量误差实验数据

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
图 1-1	I_1										
	U_1										
图 1-2	I_2										
	U_2										

表 1-3 实验数据计算值

		平均值		绝对误差	相对误差
图 1-1	I_1		U_1	Δ_1	γ_1
图 1-2	I_2		U_2	Δ_2	γ_2

五、分析与讨论

1. 按接线图所示，计算电阻 R_2 上两端电压和流过电流的大小。

2. 根据表 1-2 中的数据，比较前一小题算得的数据，分析哪一种接法测得的数据更为准确，并分析解释原因，说明属于哪类误差？

3. 若要求测量电阻 R_1 两端的电压，则将接线图中 R_1 、 R_2 两个电阻位置互换，仍分别采用实验步骤 1、2、3 中的两种接法，对实验结果进行分析，此时哪一种接法测得的数据更准确，从而最终可以得出什么结论？

仪表的误差减小方法和量程扩展

一、实验目的

1. 了解减小测量误差的方法。
2. 掌握测量电压表、电流表内阻的方法。
3. 掌握量程扩展的方法。

二、实验原理与说明

(一) 减少测量误差的方法

在实际测量中，测量结果与实际值总是存在差异，这种差异称为测量误差。

1. 测量误差的分类

(1) 系统误差：在多次测量中，遵循一定变化规律或保持不变的误差，称为系统误差。其产生原因主要有以下几方面。

① 测量仪器本身的误差

由测量仪器、仪表引起的误差有基本误差和附加误差两种。前者是受仪器制造工艺的限制造成的，后者是由于工作条件不符合仪器而造成的。

② 测量方法引起的误差

由于测量方法的不完善，或运用了近似公式，或未计进接触电阻、仪表内阻、漏电、热电势等因素造成的误差，还有由于仪器位置放得不恰当所引起的误差，都是方法误差。

(2) 偶然误差：其大小、符号都没有确定的规律误差，也称为随机误差。

由于周围环境的变化，温度、湿度、磁场、电场、电源等因素造成在相同的条件下进行多次相同的测量，会有完全不同的结果，这种误差称为随机误差。

(3) 疏失误差：由于测量过程中测量人员的粗心大意引起测量结果的不正确

或读数不正确等造成的误差，也称为粗大误差。

2. 减小测量误差的方法

(1) 系统误差的消除方法有以下三个方面。

① 测量前检查所有可能产生系统误差的来源，并设法消除或确定大小后进行修正，以减小误差。

② 选择合理的测量方法，选择适当的仪表及量程配上合适的附加装置，改善仪表的安装质量和配线方式：采用合适的屏蔽措施，除去外电场、磁场的影响。

③ 采用特殊的测量方法以减小测量误差，常用的方法有以下几种。

i. 替代法：在保持仪表读数不变的情况下，用等值的已知量去代替被测量，这样的测量结果与测量仪表和外界的因素无关。例如用电桥测量电阻，用标准电阻代替被测电阻，并调整标准电阻的数值使电桥达到平衡，被测电阻就等于这个标准电阻，于是排斥了电桥和外界的条件的影响引起的误差。

ii. 误差补偿法：为消除系统误差，对同一被测量反复进行两次测量，其一次的误差为正的，一次误差为负的，则可以取两次的平均值，便可以消除或减少系统误差。例如为了消除外磁场对电流表读数的影响，可将电流表的位置倒置后测量一次。取两次结果的平均值，则可以消除系统误差。

iii. 校正法：若系统误差已经知道，则在测量结果中引入校正值，以消除系统误差。例如有些仪器在说明书中，引入了校正值。它可以用曲线或数据表示，根据不同测量结果来进行修正。

(2) 偶然误差的消除：偶然误差是随机的，不可以在一次测量中加以消除，必须重复测量后取测量的算术平均值。测量次数越多，则算术平均值越接近于实际值，误差越小，即越正确。

(3) 疏失误差的消除：疏失误差完全是由测量人员的不注意所造成，因此应不断提高操作人员的素质，包括业务素质和工作责任心。通过多次反复测量，不断更换测量人员或用数据统计分析测量等反复方法也可以消除疏失误差。

(二) 量程扩展

1. 电压表扩大量程的方法——串联附加电阻

如图 2-1 所示的测量电路，电压表内电阻为 R_V ，附加电阻为 R_S ，流过电压表的电流为 I ， R_S 的阻值大于 R_V ，使被测量的大部分电压都降落在 R_S 上，起到了分压作用。

因为

$$I = U_V / R_V = U / (R_V + R_S) \quad (2-1)$$

设

$$K = (R_V + R_S) / R_V \quad (2-2)$$

则

$$U = K \cdot U_V \quad R_S = (K - 1) R_V \quad (2-3)$$

由此可见, 要将电压表的量程扩大 K 倍, 只需串入一只 $(K - 1) R_V$ 的电阻就可以了。 K 称为电压扩程倍数。

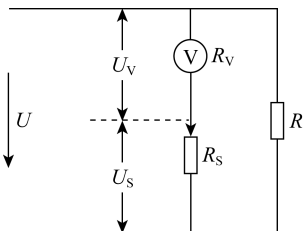


图 2-1 扩大电压表量程

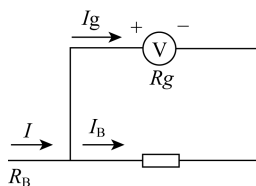


图 2-2 扩大电流表量程

2. 电流表扩大量程的方法——附加分流器

磁电系电流表测量电流的范围很小, 只能从几千微安到几千毫安之间, 故要扩大量程。一般采用附加分流器的方法来实现。如图 2-2 所示, 原来只能通过电流 I_g , 现在要通过电流 I , 故在流过分流器的电流为 $I_B = I - I_g$ 。

所以

$$I_g \cdot R_g = I R_B \cdot R_B / (R_g + R_B) \quad (2-4)$$

$$I = (R_g + R_B) I_g / R_B \quad (2-5)$$

设:

$$(R_g + R_B) / R_B = K \quad I = K \cdot I_g \quad (2-6)$$

分流电阻 $R_B = R_g / (K - 1)$, K 称为扩程倍数。

(三) 电压表, 电流表内电阻对测量结果的影响

1. 电压表内电阻对测量结果的影响

为了减小电压表对被测电路的影响, 要求电压表的内阻越大越好, 如图 2-3 所示的被测电路中, 电压表的内阻为 R_V , 测量电阻 R_2 两端的电压, 被测电压的实际值是 $U_2 = R_2 / (R_1 + R_2) U$, 而测量值 $U'_2 = R'_2 / (R_1 + R'_2) U$, 其中, $R'_2 = R_2 R_V / (R_2 + R_V)$, 因此, 测量值和实际值有差异, 这个差异是电压表的内阻 R_V 引起的。若上式中的 R_V 为 ∞ , 则 $U_2 = U'_2$ 。一般应选择电压表内阻比被测电阻大得多的电压表。

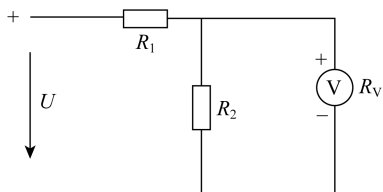


图 2-3 电压表内阻对测量结果的影响

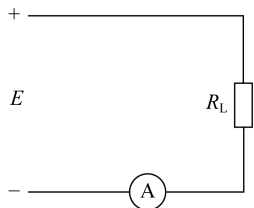


图 2-4 电流表内阻对测量结果的影响

2. 电流表内阻对测量结果的影响

为了减小测量仪表对被测电路的影响，要求电流表的内阻越小越好，因为内阻小，测量结果就越接近于真实值，误差就小。如图 2-4 所示电路，电流表内阻为 R_g ，负载电阻为 R_L ，流过的电流为 I ，电源的电动势为 E ，则电路中的电流 I ： $I = E / (R_g + R_L)$ ，如果 $R_g = 0$ ，则 $I = E / R_L$ 。内阻越小， I 值越准确。

三、实验设备(如表 2-1 所示)

表 2-1 实验设备

名称	数量	型号
三相空气开关	1 块	30121242
双路可调直流电源	1 块	30121046
电阻	7 只	$1\Omega * 2$, $1k\Omega * 1$, $100k\Omega * 2$, $150k\Omega * 1$
直流电压表、电流表	各 1 台	指针式可调节档位
万用表(学校自备)	1 台	500 型
短接桥和连接导线	若干	P8-1 和 50148
实验用 9 孔插件方板	1 块	300mm × 298mm

四、实验步骤

1. 测量电压表内阻

在电压表的面板上都标有了“电压灵敏度”，以每伏的内阻表示，如“ $2000\Omega/V$ ”，若选用 10V 档量程，即电压表的内阻为 $20k\Omega$ 。灵敏度越高，则内阻越大，测量越精确。磁电系仪表的内阻较大，约每伏几千欧姆，甚至可达 $100k\Omega$ ，电动系电压表的内阻较低，约几千欧姆左右，即灵敏度较低。

依次取用电压表的各档，用万用表的电阻挡去测量每档的内阻阻值，并将所测得的数据填入表 2-2 内。