



普通高等教育实验实训规划教材

电气信息类

电工与电子技术实验

李晓红 主 编
孙澄宇 吴正玲 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

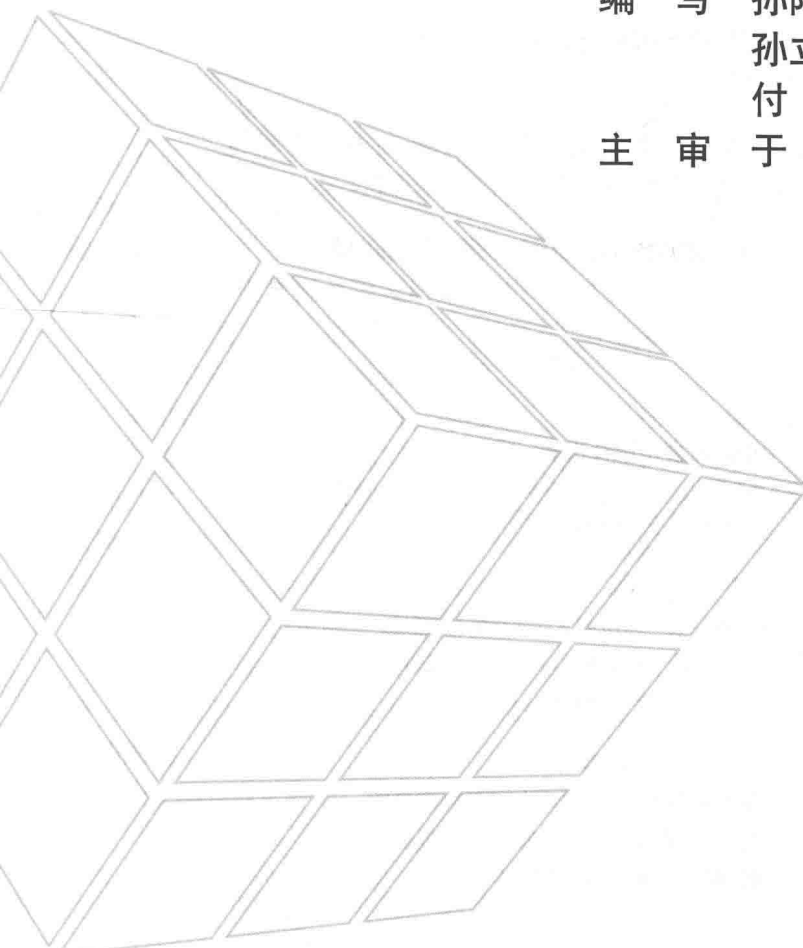
普通高等教育实验实训规划教材



电气信息类

电工与电子技术实验

主 编 李晓红
副主编 孙澄宇 吴正玲
编 写 孙陆梅 吴兴波 赵 岩
孙立辉 刘 峰 张慧颖
付 莉
主 审 于 军



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书从电工与电子技术实验的角度出发,系统地研究了电工技术、电子技术的内容。全书共分七章,分别讲述了直流电路实验、交流电路实验、电动机实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验、Multisim 9.0 仿真软件、Multisim 9.0 仿真软件应用,共五十个实验。每个实验都附有实验目的、实验原理、实验设备、实验内容、预习思考题和实验报告等内容。

本书内容系统,不仅注重基本概念与基本理论介绍,更加注重对学生实践技能的培养。本书不仅可作为学习电工学课程的实验教材,也可作为广大电子行业工作者和电子爱好者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术实验/李晓红主编. —北京:中国电力出版社, 2015. 8

普通高等教育实验实训规划教材·电气信息类

ISBN 978-7-5123-7795-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 173280 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>)

三河市航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

※

2015 年 8 月第一版 2015 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.75 印张 333 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

本书是“电工与电子技术”的实验教材。“电工与电子技术”课程是高等学校本科非电类专业的一门技术基础课程。目前,电工技术、电子技术应用十分广泛,发展迅速,并且日益渗透到其他学科领域,促进其发展,在我国社会主义现代化建设中具有重要的作用。“电工与电子技术”课程的作用与任务是:使学生通过本课程的学习,获得电工技术、电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能,了解电工技术、电子技术应用和我国电工电子事业发展的概况,为今后学习和从事与本专业有关的工作打下一定的基础。

本书是编者根据电工技术、电子技术的发展现状,结合多年的实践教学经验和对实践教学改革的探索,参考相关实验教材编写而成。本书编写的目的是使非电专业学生通过学习,掌握电工技术、电子技术方面的实际基本操作,常用仪器、仪表的使用以及电子电路的调试方法,提高学生的动手能力和综合实践能力,培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书的特色:

(1) 基本内容全面。实验内容包括直流电路、交流电路、电动机、模拟电子技术、数字电子技术和 EDA 技术仿真等实验,其中既有验证性实验,又有设计性实验和仿真实验。每个实验都附有实验目的、实验原理、实验设备、实验内容、预习思考题和实验报告等内容。

(2) 引入 EDA 技术,实现了实际实验和虚拟实验相结合。与传统的实验手段相比较,EDA 仿真实验具有速度快、直观化、简单化等特点,使学生在巩固基础的同时,引入新的设计手段,可以培养学生的创新能力;同时 EDA 技术仿真也非常适合于电工与电子技术课程的辅助教学,进一步促进理论与实践的有机结合。

(3) 使学生掌握并能灵活运用传统的实验方法和新型虚拟实验的方法。

(4) 由浅入深,由简到繁,也可以作为电类本科学生的实验课教材。

(5) 自成体系,适合学生自学。

本书由李晓红担任主编,孙澄宇、吴正玲任副主编。第六章、第七章由李晓红编写,第四章、第五章由孙澄宇编写,第一章、第二章、第三章由吴正玲编写。全书由李晓红进行统稿和校稿。参与本书各项编写工作的人员还有:孙陆梅、吴兴波、赵岩、孙立辉、刘峰、张慧颖、付莉等。本书的出版得到了吉林化工学院、浙江天煌科技实业有限公司的大力支持,在这里向所有为本书作过贡献的人们致谢。另外,在本书的编写过程中也参考了一些优秀的教材,在此一并表示衷心的感谢。

吉林化工学院于军教授对书稿进行了详细认真的审阅,提出了很多非常宝贵的意见和建议。这些意见和建议对本书的顺利完成起到了至关重要的作用。在此,谨向于军教授表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,殷切希望使用本书的读者提出宝贵的意见。

目 录

前言

第一篇 电工技术实验

第一章 直流电路实验	1
实验一 电工仪表的使用及测量误差的分析	1
实验二 减小仪表测量误差的方法	5
实验三 仪表量程扩展的测试	8
实验四 电路元件伏安特性的测试	12
实验五 电路中电位与电压的测试	15
实验六 基尔霍夫定律的测试	17
实验七 电压源与电流源等效变换的测试	19
实验八 叠加原理的测试	22
实验九 戴维南定理的测试	24
实验十 最大功率传输条件的测试	27
实验十一 二端口网络的测试	30
第二章 交流电路实验	35
实验一 R 、 L 、 C 元件阻抗特性的测试	35
实验二 三表法等效电路参数的测试	39
实验三 日光灯电路及其功率因数提高的测试	42
实验四 三相交流电路 Y - Y 的测试	45
第三章 电动机实验	48
实验一 三相笼式异步电动机的测试	48
实验二 三相笼式异步电动机点动和自锁控制的测试	52
实验三 三相笼式异步电动机正反转控制的测试	55
实验四 三相笼式异步电动机 Y - Δ 降压启动控制的测试	58
实验五 三相异步电动机顺序控制的测试	61

第二篇 电子技术实验

第四章 模拟电子技术实验	65
实验一 常用电子仪器的使用	65
实验二 晶体管共射极单管放大电路的测试	70

实验三 基本运算电路的设计	75
实验四 RC 正弦波振荡电路的设计	79
实验五 矩形波产生电路的设计	82
实验六 三角波产生电路的设计	85
实验七 直流稳压电源的设计	89
第五章 数字电子技术实验	93
实验一 TTL 与非门的逻辑功能与参数测试	93
实验二 门电路逻辑功能变换与测试	98
实验三 组合逻辑电路的设计	102
实验四 译码器测试及其应用	104
实验五 触发器逻辑功能转换与测试	109
实验六 时序逻辑电路的设计	116
实验七 计数器测试及其应用	120
实验八 集成定时器及其应用	123

第三篇 EDA 技术实验

第六章 Multisim 9.0 仿真软件介绍	129
实验一 Multisim 9.0 的特点及安装	129
实验二 Multisim 9.0 的工作界面	131
实验三 Multisim 9.0 仪表的使用	136
实验四 Multisim 9.0 的主要分析功能	147
实验五 Multisim 9.0 的具体操作	153
第七章 Multisim 9.0 仿真软件应用	160
实验一 电位与电压的仿真测试	160
实验二 基尔霍夫定律的仿真测试	165
实验三 叠加定理的仿真测试	167
实验四 三相交流电路 Y- Δ 的仿真测试	170
实验五 二极管应用的仿真测试	174
实验六 单管共射极放大电路的仿真测试	179
实验七 直流稳压电源的仿真测试与设计	191
实验八 组合逻辑电路的仿真分析	197
实验九 常见组合逻辑电路的仿真测试	200
实验十 触发器逻辑功能仿真测试及其应用	207
附录 A 几种常用 CD 系列数字集成芯片引脚功能排列	212
参考文献	213

第一篇 电工技术实验

第一章 直流电路实验

实验一 电工仪表的使用及测量误差的分析

一、实验目的

- (1) 掌握电压表、电流表内阻的测量方法。
- (2) 理解电工仪表测量误差的计算方法。
- (3) 掌握电压表、电流表、万用表的使用。
- (4) 了解理想电压源与理想电流源的原理与使用。

二、实验原理

为了准确地测量电路中实际的电压和电流,必须保证仪表接入电路后不会改变被测电路的工作状态。这就要求电压表的内阻为无穷大,电流表的内阻为零。而实际使用的指针式电工仪表都不能满足上述要求。因此,当测量仪表一旦接入电路,就会改变电路原有的工作状态,这就导致仪表的读数值与电路原有的实际值之间出现误差。误差的大小与仪表本身内阻的大小密切相关。只要测出仪表的内阻,即可计算出由其产生的测量误差。下面介绍几种测量指针式仪表内阻的方法。

1. 用“分流法”测量电流表的内阻

电流表内阻测量电路如图 1-1 所示。

其中 R_A 为被测直流电流表 A 的内阻,满量程电流表电流为 I_m 。测量时先断开开关 S,调节电流源的输出电流 I_S 使被测直流电流表 A 指针满偏转,即 $I_A = I_S = I_m$ 。然后合上开关 S,并保持 I_S 值不变,调节电阻箱的阻值 R ,使电流表 A 的指针指在 1/2 满偏转位置,此时有

$$I_A = \frac{I_m}{2} = \frac{I_S}{2} \quad (1-1)$$

由此可得

$$R_A = R // R_1 = \frac{RR_1}{R + R_1} \quad (1-2)$$

式中: R_1 为固定电阻器之值; R 为十进制可变电阻箱的刻度盘上的读数。

2. 用“分压法”测量电压表的内阻

电压表内阻测量电路如图 1-2 所示。

其中 R_V 为被测直流数字电压表 V 的内阻,满量程电压表电压

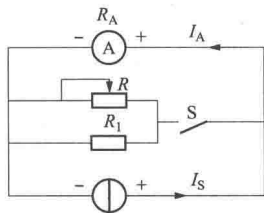


图 1-1 电流表内阻测量电路

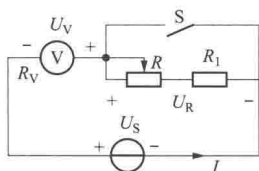


图 1-2 电压表内阻测量电路

为 U_m 。测量时先将开关 S 闭合, 调节直流稳压电源的输出电压, 使被测直流数字电压表 V 的指针满偏转, 即 $U_V = U_m = U_S$ 。然后断开开关 S, 调节 R 使电压表 V 的指示值减半, 此时有

$$U_V = \frac{U_m}{2} = \frac{U_S}{2} \quad (1-3)$$

由此可得

$$R_V = R + R_1 \quad (1-4)$$

电压表的灵敏度为

$$S = R_V / U_m \quad (1-5)$$

式中: U_m 为电压表满偏时的电压值。

3. 测量误差的计算

由于仪表内阻引起的测量误差, 通常称为方法误差; 而由仪表本身结构引起的误差称为仪表基本误差。以图 1-3 所示电路为例, 电阻 R_1 上的计算电压 (理论值) 为

$$U_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_S \quad (1-6)$$

若 $R_1 = R_2$, 则 $U_{R1} = \frac{1}{2} U_S$ 。

现用一内阻为 R_V 的电压表来测量 U_{R1} 值, 当 R_V 与 R_1 并联后, 电阻为

$$R'_1 = \frac{R_V R_1}{R_V + R_1} \quad (1-7)$$

以 R'_1 来替代式 (1-6) 中的 R_1 , 则得电阻 R_1 上的测量电压 (测量值) 为

$$U'_{R1} = \frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} U_S \quad (1-8)$$

(1) 绝对误差的计算。根据绝对误差计算公式

$$\text{绝对误差} = |\text{测量值} - \text{理论值}|$$

可得电阻 R_1 的绝对误差为

$$\Delta U = |U'_{R1} - U_{R1}| = \frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} U_S - \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_S = \left[\frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right] U_S \quad (1-9)$$

化简后得

$$\Delta U = \frac{-R_1^2 R_2 U_S}{R_V (R_1^2 + 2R_1 R_2 + R_2^2) + R_1 R_2 (R_1 + R_2)} \quad (1-10)$$

若 $R_1 = R_2 = R_V$, 则得

$$\Delta U = -\frac{U_S}{6} \quad (1-11)$$

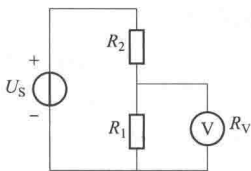


图 1-3 方法误差测量电路

(2) 相对误差的计算。根据相对误差计算公式

$$\text{绝对误差} = \frac{|\text{测量值} - \text{理论值}|}{\text{理论值}}$$

可得电阻 R_1 的测量相对误差为

$$\Delta U\% = \frac{|U'_{R1} - U_{R1}|}{U_{R1}} \times 100\% = \frac{\frac{U_S}{2}}{\frac{U_S}{2}} = 33.3\%$$

由此可见, 当电压表的内阻与被测电路的电阻相近时, 测量的误差是非常大的。

4. 伏安法测量电阻

伏安法测量电阻的原理是: 测出流过被测电阻 R_X 的电流 I_R 及其两端的电压降 U_R , 则根据欧姆定律可得其阻值为

$$R_X = \frac{U_R}{I_R} \quad (1-12)$$

实际测量时, 有两种测量电路: ①电流表 A (内阻为 R_A) 接在电压表 V (内阻为 R_V) 的内侧相对于电源而言; ②电流表 A 接在电压表 V 的外测相对于电源而言。其测量电路分别如图 1-4 (a)、(b) 所示。

由电路 1-4 (a) 可知, 只有当 $R_X \ll R_V$ 时, R_V 的分流作用才可忽略不计, 电流表 A 的读数接近于实际流过 R_X 的电流值。图 1-4 (a) 的接法称为电流表的内接法。

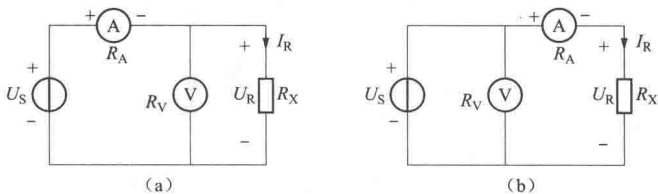


图 1-4 伏安法测量电阻电路

由电路 1-4 (b) 可知, 只有当 $R_X \gg R_A$ 时, R_A 的分压作用才可忽略不计, 电压表 V 的读数接近于实际加在 R_X 两端的电压值。图 1-4 (b) 的接法称为电流表的外接法。

在实际应用时, 应根据不同情况选用合适的测量电路, 才能获得较准确的测量结果。

【例 1-1】 在图 1-4 中, 若 $U_S = 20\text{V}$, $R_A = 100\Omega$, $R_V = 20\text{k}\Omega$ 。假定 R_X 的实际值为 $10\text{k}\Omega$ 。

如果采用图 1-4 (a) 的电路测量, 经计算, 电流表 A、电压表 V 的读数分别为 2.96mA 和 19.73V , 故

$$R_X = \frac{19.73}{2.96} = 6.667(\text{k}\Omega)$$

相对误差为

$$\frac{|6.667 - 10|}{10} \times 100\% = 33.3\%$$

如果采用图 1-4 (b) 的电路测量, 经计算, 电流表 A、电压表 V 的读数分别为 1.98mA 和 20V , 故

$$R_X = \frac{20}{1.98} = 10.1(\text{k}\Omega)$$

相对误差为

$$\frac{|10.1 - 10|}{10} \times 100\% = 1\%$$

表 1-1 实 验 设 备

序号	名 称	型号与规格	数量
1	直流稳压电源	0~30V	2
2	直流恒流源	0~200mA	1
3	直流数字电压表	0~200V	1
4	直流数字毫安表	0~200mA	1
5	十进制可变电阻箱	0~9999.9Ω	1
6	电阻器	根据需要选择	若干

三、实验设备

实验设备如表 1-1 所示。

四、实验内容

(1) 根据“分流法”原理测定直流电流表 0.5mA 和 5mA 挡量程的内阻，电路如图 1-1 所示，其中 R 可选用十进制可变电阻箱， R_1 为 $5\text{k}\Omega/2\text{W}$ 电阻。将实验数据填入表 1-2 中。

表 1-2 电流表内阻测量实验数据

被测电流表量程 (mA)	S 断开时的表读数 $I_A = I_S = I_m$ (mA)	S 闭合时的表读数 $I_A = \frac{I_m}{2} = \frac{I_S}{2}$ (mA)	R (Ω)	R_1 (Ω)	计算电流表内阻 R_A (Ω)
0.5					
5					

(2) 根据“分压法”原理按图 1-2 接线。测量万用表直流电压 2.5V 和 10V 挡量程的内阻 R_V ，其中 R 可选用十进制可变电阻箱， R_1 为 $5\text{k}\Omega/4\text{W}$ 电阻。将实验数据填入表 1-3 中。

表 1-3 电压表内阻测量实验数据

被测电压 表量程 (V)	S 闭合时表读数 $U_V = U_m = U_S$ (V)	S 断开时表读数 $U_V = \frac{U_m}{2} = \frac{U_S}{2}$ (V)	R (kΩ)	R_1 (kΩ)	计算内阻 R_V (kΩ)	S (Ω/V)
2.5						
10						

(3) 用万用表直流电压 10V 挡量程测量图 1-3 电路中 R_1 上的电压 U'_{R_1} 值，并计算测量的绝对误差与相对误差，其中 $R_1 = 10\text{k}\Omega$ ， $R_2 = 50\text{k}\Omega$ 。将实验数据填入表 1-4 中。

表 1-4 电表内阻产生的测量误差实验数据

U	R_1	R_2	R_{10V} (kΩ)	计算值 U_{R_1} (V)	实测值 U'_{R_1} (V)	绝对误差 ΔU	相对误差 $(\Delta U/U) \times 100\%$
12V	10kΩ	50kΩ					

五、实验注意事项

(1) 在开启电源开关前，应将两路电压源的输出调节旋钮调至最小（逆时针旋到底），并将恒流源的输出粗调旋钮拨到 2mA 挡，输出细调旋钮应调至最小。接通电源后，再根据需要缓慢调节。

(2) 当恒流源输出端接有负载时，如果需要将其粗调旋钮由低挡位向高挡位切换时，必须先将其细调旋钮调至最小。否则输出电流会突增，可能会损坏外接器件。

(3) 电压表应与被测电路并接，电流表应与被测电路串接，并且都要注意正、负极性与量程的合理选择。

(4) 实验内容 (1)、(2) 中，电阻 R_1 的取值应与电阻 R 相近。

(5) 本实验仅测试指针式仪表的内阻。由于所选指针表的型号不同，本实验中所列的电流、电压量程及选用的电阻 R 、 R_1 等都会不同。实验时应按选定的表型自行确定。

六、预习思考题

(1) 根据实验内容 (1) 和 (2), 若已求出 0.5mA 挡和 2.5V 挡的内阻, 可否直接计算出 5mA 挡和 10V 挡的内阻?

(2) 用量程为 10A 的电流表测实际值为 8A 的电流时, 实际读数为 8.1A , 求测量的绝对误差和相对误差。

七、实验报告

(1) 列表记录实验数据, 并计算各被测仪表的内阻值。

(2) 分析实验结果, 总结应用场合。

(3) 对预习思考题的计算。

实验二 减小仪表测量误差的方法

一、实验目的

(1) 进一步掌握电压表内阻在测量过程中产生的误差及其分析方法。

(2) 进一步掌握电流表内阻在测量过程中产生的误差及其分析方法。

(3) 掌握减小由于仪表内阻所引起的测量误差的方法。

二、实验原理

减小由于仪表内阻而产生的测量误差的方法有以下两种:

1. 不同量程两次测量计算法

当电压表的灵敏度不够高或电流表的内阻太大时, 可利用多量程仪表对同一被测量用不同量程进行两次测量, 用所得读数经计算后可得到较准确的结果。

如图 1-5 所示电路, 欲测量具有较大内阻 R_0 的电动势 U_S 的开路电压 U_{OC} 时, 如果所用电压表的内阻 R_V 与 R_0 相差不大时, 将会产生很大的测量误差。

设电压表有两挡量程, U_{OC1} 、 U_{OC2} 分别为在这两个不同量程下测得的电压值, 令 R_{V1} 和 R_{V2} 分别为这两个相应量程的内阻, 则由图 1-5 可得出

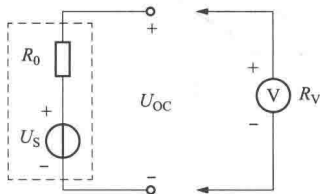


图 1-5 测量电压电路

$$U_{OC1} = \frac{R_{V1}}{R_0 + R_{V1}} U_S$$

$$U_{OC2} = \frac{R_{V2}}{R_0 + R_{V2}} U_S$$

由以上两式可解得 U_S 和 R_0 , 其中 U_S (即 U_{OC}) 为

$$U_S = U_{OC} = \frac{U_{OC1} U_{OC2} (R_{V1} - R_{V2})}{U_{OC1} R_{V2} - U_{OC2} R_{V1}}$$

由此式可知, 当电源内阻 R_0 与电压表的内阻 R_V 相差不大时, 通过上述的两次测量结果, 即可计算出开路电压 U_{OC} 的大小, 且其准确度要比单次测量好得多。

对于电流表, 当其内阻较大时, 也可用类似的方法测得较准确的结果。如图 1-6 所示电

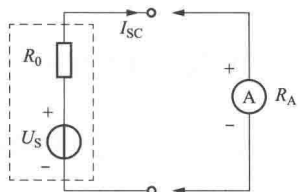


图 1-6 测量电流电路

路，不接入电流表时的电流为 $I_{sc} = \frac{U_s}{R_0}$ 。接入内阻为 R_A 的电流表 A 时，电路中的电流变为 $I'_{sc} = \frac{U_s}{R_0 + R_A}$ 。

如果 $R_A = R_0$ ，则 $I'_{sc} = \frac{I_{sc}}{2}$ ，会出现很大的误差。

如果用有不同内阻 R_{A1} 、 R_{A2} 的两挡量程的电流表做两次测量并经简单的计算就可得到较准确的电流值。

按图 1-6 电路，两次测量得

$$I_{sc1} = \frac{U_s}{R_0 + R_{A1}}$$

$$I_{sc2} = \frac{U_s}{R_0 + R_{A2}}$$

由以上两式可解得 U_s 和 R_0 ，进而可得

$$I_{sc} = \frac{U_s}{R_0} = \frac{I_{sc1} I_{sc2} (R_{A1} - R_{A2})}{I_{sc1} R_{A1} - I_{sc2} R_{A2}}$$

2. 同一量限两次测量计算法

如果电压表（或电流表）只有一挡量程，且电压表的内阻较小（或电流表的内阻较大）时，可用同一量限两次测量法减小测量误差。其中，第一次测量与一般的测量并无两样。第二次测量时必须要在电路中串入一个已知阻值的附加电阻。

（1）电压测量。电路如图 1-7 所示，测量电路的开路电压 U_{oc} 。设电压表的内阻为 R_v 。第一次测量，电压表的读数为 U_{oc1} 。第二次测量时应与电压表串接一个已知阻值的电阻器 R ，电压表读数为 U_{oc2} 。

由图 1-7 可知

$$U_{oc1} = \frac{R_v U_s}{R_0 + R_v}$$

$$U_{oc2} = \frac{R_v U_s}{R_0 + R + R_v}$$

由以上两式可解得 U_s 和 R_0 ，其中 U_s （即 U_{oc} ）为

$$U_s = U_{oc} = \frac{R U_{oc1} U_{oc2}}{R_v (U_{oc1} - U_{oc2})}$$

由上式可知，通过电压同一量限两次测量可消除内阻 R_0 对开路电压 U_{oc} 的影响。

（2）电流测量。电路如图 1-8 所示，测量电路的电流 I_{sc} 。设电流表的内阻为 R_A ，第一次测量电流表的读数为 I_{sc1} ；第二次测量时应与电流表串接一个已知阻值的电阻器 R ，电流表读数为 I_{sc2} 。

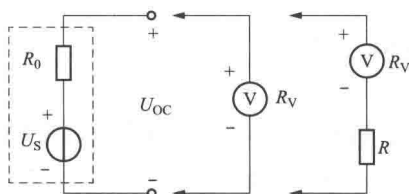


图 1-7 同一量限测量电压电路

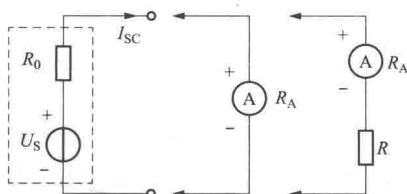


图 1-8 同一量限测量电流电路

由图 1-8 可知

$$I_{SC1} = \frac{U_S}{R_0 + R_A}$$
$$I_{SC2} = \frac{U_S}{R_0 + R + R_A}$$

由以上两式可解得 U_S 和 R_0 ，从而可得

$$I_{SC} = \frac{U_S}{R_0} = \frac{I_{SC1} I_{SC2} R}{I_{SC2} (R_A + R) - I_{SC1} R_A}$$

由上式可知，通过电流同一量限两次测量可消除内阻 R_0 对电流 I_{SC} 的影响。

由以上分析可知，采用不同量限仪表测量法或同一量限仪表两次测量法，不论所用仪表的内阻与被测电路的电阻如何，总可以通过两次测量和计算单次测量得到较准确的结果。

三、实验设备

实验设备如表 1-5 所示。

四、实验内容

1. 不同量限电压表两次测量法

按图 1-5 所示的电路连线，实验中利用直流稳压电源，取 $U_S = 2.5\text{V}$ ，电阻 R_0 选用十进制可变电阻箱，阻值 $R_0 = 50\text{k}\Omega$ 。用直流数字电压表 2.5V 和 10V 两挡量限进行两次测量，最后算出开路电压 U_{OC} 之值，将实验数据填入表 1-6 中。

表 1-5 实 验 设 备

序号	名 称	型号与规格	数量
1	直流稳压电源	0~30V	1
2	直流恒流源	0~200mA	1
3	十进制可变电阻箱	0~9999.9 Ω	1
4	电阻器	按需选择	1
5	直流数字电压表	0~200V	1
6	直流数字毫安表	0~200mA	1

表 1-6 不同量限电压表测量数据误差实验数据

电压表量限 (V)	内阻 R_V (k Ω)	两个量限的测量值 U_{OC} (V)	电路计算值 U_{OC} (V)	两次测量计算值 U_{OC} (V)	绝对误差	相对误差 (%)
2.5	$R_{V1} =$	$U_{OC1} =$		—		
10	$R_{V2} =$	$U_{OC2} =$		—		
两次测量	—	—	—			

2. 同一量限电压表两次测量法

按图 1-7 所示的电路连线。先用直流数字电压表 2.5V 量限挡直接测量，可得 U_{OC1} 。然后串接一个 $R = 10\text{k}\Omega$ 的附加电阻再一次测量，可得 U_{OC2} 。计算开路电压 U_{OC} ，将实验数据填入表 1-7 中。

表 1-7 同一量限电压表测量数据误差实验数据

实际计算值	两次测量值		测量计算值	绝对误差	相对误差 (%)
U_{OC} (V)	U_{OC1} (V)	U_{OC2} (V)	U'_{OC} (V)	ΔU	$\frac{\Delta U}{U_{OC}} \times 100\%$

3. 不同量限电流表两次测量法

按图 1-6 所示的电路连线，实验中利用直流稳压电源，取 $U_S = 2.5\text{V}$ ，电阻 R_0 选用十进制可变电阻箱，阻值 $R_0 = 50\text{k}\Omega$ 。用直流电流表 0.5mA 和 5mA 两挡量限进行两次测量，最后算出短路电流 I_{SC} 之值，将实验数据填入表 1-8 中。

表 1-8 双量限电流表测量数据误差实验数据

万用电表 流量限 (mA)	内阻值 R_A (Ω)	两个量限的测量 值 I_{SC} (mA)	电路计算值 I_{SC} (mA)	两次测量计 算值 I'_{SC} (mA)	绝对误差	相对误差 (%)
0.5	$R_{A1} =$	$I_{SC1} =$				
5	$R_{A2} =$	$I_{SC2} =$				

4. 同一量限电流表两次测量法

按图 1-8 所示的电路连线。先用直流电流表 0.5mA 量限挡直接测量, 可得 I_{SC1} 。然后串接一个 $R=10k\Omega$ 的附加电阻再一次测量, 可得 I_{SC2} 。计算出短路电流 I_{SC} 之值, 将实验数据填入表 1-9 中。

表 1-9 同一量限电流表测量数据误差实验数据

实际计算值	两次测量值		测量计算值	绝对误差	相对误差
I_{SC} (mA)	I_{SC1} (mA)	I_{SC2} (mA)	I'_{SC} (mA)	ΔI_{SC}	$\frac{\Delta I_{SC}}{I_{SC}} \times 100\%$

五、实验注意事项

- (1) 在实验过程中, 直流稳压电源输出端不允许短路。
- (2) 在实验过程中, 直流恒流源输出端不允许开路。
- (3) 在实验过程中, 电压表与所测量的元件并联, 电流表与所测量的元件串联, 并且要注意极性与量限的选择。

六、预习思考题

- (1) 完成各项实验内容的计算。
- (2) 比较双量限两次测量法和单量限两次测量法产生误差的大小。
- (3) 用“两次测量法”测量电压或电流, 绝对误差和相对误差是否等于零? 为什么?

七、实验报告

- (1) 列表记录实验数据, 并完成实验内容的计算值。
- (2) 分析实验测量数据, 总结误差产生的原因。

实验三 仪表量程扩展的测试

一、实验目的

- (1) 了解指针式毫安表的量程和内阻在测量中的作用。
- (2) 掌握毫安表改装成电流表和电压表的方法。
- (3) 掌握改装后电压表和电流表的读数方法。
- (4) 学会电流表和电压表量程切换开关的应用方法。

二、实验原理

1. 基本表的概念

一只毫安表允许通过的最大电流称为该表的量程, 用 I_g 表示, 该表有一定的内阻, 用 R_g 表示。这就是一个“基本表”, 其等效电路如图 1-9 所示。 I_g 和 R_g 是基本表的两个重要参数。

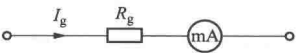


图 1-9 基本表

2. 扩大基本表的量程

满量程为 1mA 的基本表，最大只允许通过 1mA 的电流，过大的电流会造成“打针”，甚至烧断电流线圈。要用它测量超过 1mA 的电流，必须扩大基本表的量程，即选择一个合适的分流电阻 R_A 与基本表并联，如图 1-10 所示。

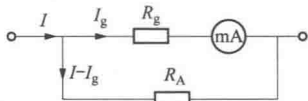


图 1-10 扩大电流量程

设：基本表满量程为 $I_g=1\text{mA}$ ，基本表内阻 $R_g=100\Omega$ 。现要将其量程扩大 10 倍（即可用来测量 10mA 电流），则应并联的分流电阻 R_A 应满足下式

$$I_g R_g = (I - I_g) R_A$$
$$R_A = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{1 \times 100}{10 - 1} = \frac{100}{9} = 11.1(\Omega)$$

同理，要使其量程扩展为 100mA，则应并联 1.01Ω 的分流电阻。

当用改装后的电流表来测量 10（或 100）mA 以下的电流时，只要将基本表的读数乘以 10（或 100）或者直接将电表面板的满刻度刻成 10（或 100）mA 即可。

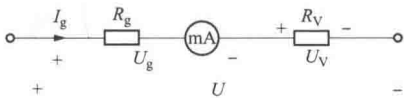


图 1-11 电压表

3. 改装为电压表

一只基本表也可以改装为一只电压表，只要选择一只合适的分压电阻 R_V 与基本表相串接即可，如图 1-11 所示。

设被测电压值为 U ，则

$$U = U_g + U_V = I_g (R_g + R_V)$$
$$R_V = \frac{U - I_g R_g}{I_g} = \frac{U}{I_g} - R_g$$

要将量程为 1mA、内阻为 100Ω 的基本表改装为量程为 1V 的电压表，则应串联的分压电阻的阻值应为

$$R_V = \frac{1\text{V}}{1\text{mA}} - 100 = 1000 - 100 = 900(\Omega)$$

若要将量程扩大到 10V，应串多大的分压电阻呢？

三、实验设备

实验设备如表 1-10 所示。

表 1-10

实 验 设 备

序号	名 称	型 号 规 格	数 量
1	直流数字电压表	0~200V	1
2	直流数字毫安表	0~200mA	1
3	直流稳压电源	0~30V	1
4	直流恒流源	0~500mA	1
5	基本表	1mA, 100Ω	1
6	电阻	1.01Ω, 11.1Ω, 900Ω, 9.9kΩ, 1kΩ, 2kΩ	各 1

四、实验内容

1. 1mA 基本表的检验

(1) 调节恒流源的输出，最大不超过 1mA。

(2) 先对 1mA 表的表头进行机械调零，再将恒流源的输出接至 1mA 表表头的信号输入端。

(3) 调节恒流源的输出，令其从 0mA 调至 1mA，分别读取并记录基本表的读数，填入表 1-11 中。

(4) 再用直流数字毫安表重复测量 (3) 的数据，填入表 1-11 中，与基本表的读数进行比较。

表 1-11 1mA 基本表测量数据

恒流源输出 (mA)	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
表头读数 (mA)						
直流数字毫安表读数 (mA)						

2. 将基本表改装为量程为 10mA 的毫安表

(1) 将分流电阻 11.1Ω 并接在基本表的两端，这样就将基本表改装成了满量程为 10mA 的毫安表。

(2) 调节恒流源的输出，使其从 0 依次增加 2mA，用改装好的基本表依次测量恒流源的输出电流，并将数据填入表 1-12 中。

(3) 再用直流数字毫安表重复测量 (2) 的数据，填入表 1-12 中，与基本表的读数进行比较。

表 1-12 改装后 10mA 毫安表测量数据

恒流源输出 (mA)	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0
毫安表读数 (mA)						
直流数字毫安表读数 (mA)						

3. 将基本表改装为量程为 100mA 的毫安表

(1) 将分流电阻更换为 1.01Ω，并接在基本表的两端，这样就将基本表改装成了满量程为 100mA 的毫安表。

(2) 调节恒流源的输出，使其从 0 依次增加 20mA，用改装好的基本表依次测量恒流源的输出电流，并将数据填入表 1-13 中。

(3) 再用直流数字毫安表重复测量 (2) 的数据，填入表 1-13 中，与基本表的读数进行比较。

表 1-13 改装后 100mA 毫安表测量数据

恒流源输出 (mA)	0.0	20.0	40.0	60.0	80.0	100.0
毫安表读数 (mA)						
直流数字毫安表读数 (mA)						

4. 将基本表改装为量程为 1V 的电压表

(1) 将分压电阻 900Ω 与基本表相串接，这样基本表就被改装成为满量程为 1V 的电压表。

(2) 调节直流稳压电源的输出，使其从 0V 依次增加 0.2V，用改装成的电压表进行测量，并将数据填入表 1-14 中。

(3) 再用直流数字电压表重复测量 (2) 的数据, 填入表 1-14 中, 与改装后的 1V 电压表的读数进行比较。

改装后 1V 电压表的测量数据						
电压源输出 (V)	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
改装表读数 (V)						
直流数字电压表读数 (V)						

5. 将基本表改装为量程为 10V 的电压表
- (1) 将分压电阻 $9.9\text{k}\Omega$ 与基本表相串接, 这样基本表就被改装成为满量程为 10V 的电压表。
- (2) 调节直流稳压电源的输出, 使其从 0V 依次增加 2V, 用改装成的电压表进行测量, 并将数据填入表 1-15 中。
- (3) 再用直流数字电压表重复测量 (2) 的数据, 填入表 1-15 中, 与改装后的 10V 电压表的读数进行比较。

改装后 10V 电压表的测量数据						
电压源输出 (V)	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0
改装表读数 (V)						
直流数字电压表读数 (V)						

6. 改装后电压表和电流表的应用
- 用改装的电压表和电流表分别测量图 1-12 所示电路中的电阻 R_2 两端的电压和流过 R_2 的电流, 将数据填入表 1-16 中。

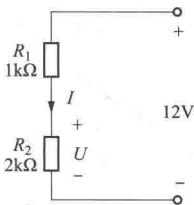


图 1-12 测试电路

- 五、实验注意事项
- (1) 输入仪表的电压和电流要注意到仪表的量程, 不可过大, 以免损坏仪表。
- (2) 可外接标准表 (如直流数字毫安表和直流数字电压表作为标准表) 进行校验。

电阻 R_2 的测量数据			
改装表电压表读数	改装表电流表读数	直流数字电压表读数	直流数字毫安表读数
$U = \rule{1.5cm}{0.4pt}$ V	$I = \rule{1.5cm}{0.4pt}$ mA	$U = \rule{1.5cm}{0.4pt}$ V	$I = \rule{1.5cm}{0.4pt}$ mA

- (3) 注意接入仪表的信号的、正、负极性, 以免指针反偏而损坏仪表。
- 六、预习思考题
- (1) 复习两个电阻串联的分压公式及两个电阻并联的分流公式。
- (2) 掌握直流数字电压表和直流数字毫安表的使用。
- (3) 将基本表改装成不同量程电压表和电流表串联电阻和并联电阻的计算。
- 七、实验报告
- (1) 总结电路理论中串联电阻分压、并联电阻分流的、具体应用。
- (2) 总结基本表的改装方法。
- (3) 测量误差的分析。