



普通高等教育实验实训规划教材

电气信息类

电工学实验

于 军 王庆伟 李晓红 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

电工学实验

主 编	编 写	于 军	王庆伟	李晓红
		孙陆梅	赵 岩	孙立辉
		张慧颖	吴正玲	付 莉
		刘 峰		
主 审		翟玉文		



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书从电工学实验的角度出发,系统地研究了电工学的内容。

全书共分7章,主要内容有直流电路实验、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、EWB仿真软件介绍、EWB仿真实验,共45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。实验内容及其难易程度覆盖了不同层次的实验教学要求,各院校可依据自己的实际情况灵活安排教学内容。

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

电工学实验/于军,王庆伟,李晓红主编. —北京:中国电力出版社,2010.12

普通高等教育实验实训规划教材. 电气信息类

ISBN 978-7-5123-1078-0

I. ①电… II. ①于… ②王… ③李… III. ①电工学-实验-高等学校-教材 IV. ①TM1-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第010703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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010年12月第一版 2010年12月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 13.25印张 322千字

定价22.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

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“电工学”的实验教材。“电工学”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,在我国社会主义现代化建设中起到重要的作用。“电工学”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。

本书是作者根据电工技术、电子技术的发展现状,结合多年的实践教学经验,经过对实践教学改革的探索,参考国内、外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、电子技术方面基本的实际操作,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。

本实验教材的特色:

(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 EWB 技术仿真等实验,其中既有验证性实验,也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 EWB 技术,实现了虚拟实验和实际实验相结合。与传统的实验手段相比较,EWB 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 EWB 仿真也非常适合于电工学课程的辅助教学,更加进一步促进理论与实践的有机结合。

(3) 学生在具有电工基础实验能力的同时,也具有小系统综合设计能力。不仅可以提高学生的实践技能和综合应用能力,同时也是对所学电工学理论进行全面系统的复习,并不断加深对基础理论掌握的过程。

(4) 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。

(5) 由浅入深、由简到繁、由单元电路到小系统,也可以作为电类本科学生的实验课教材。

(6) 自成体系,适合学生自学。

本书由于军、王庆伟、李晓红主编。其中第六、七章由于军编写,第三~五章由王庆伟编写,第一、二章由李晓红编写。全书由于军进行统稿和校稿。参与本书各项编写工作的人员还有孙陆梅、赵岩、刘峰、孙立辉、张慧颖、吴正玲、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做过贡献的人们致谢。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。

吉林化工学院翟玉文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，谨向翟玉文教授表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，殷切希望使用本书的读者提出宝贵的意见。

编 者

2010 年 11 月

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 仪表量程扩展实验	9
实验四 电路元件伏安特性的测试	12
实验五 电压源与电流源的等效变换	15
实验六 戴维南定理的验证	19
实验七 最大功率传输条件测试	22
实验八 受控电源实验	25
实验九 二端口网络实验	29
第二章 交流电路实验	34
实验一 R 、 L 、 C 元件阻抗特性的测量	34
实验二 三表法测量电路等效参数	38
实验三 日光灯电路及其功率因数的提高	42
实验四 三相交流电路 $Y-Y$ 的测量	45
第三章 电动机实验	48
实验一 三相鼠笼式异步电动机	48
实验二 三相鼠笼式异步电动机点动和自锁控制	52
实验三 三相鼠笼式异步电动机正反转控制	56
实验四 三相鼠笼式异步电动机 $Y-\Delta$ 降压启动控制	59
实验五 三相异步电动机顺序控制	63

第二篇 电子技术实验

第四章 模拟电子技术实验	66
实验一 常用电子仪器的使用	66
实验二 晶体管共射极单管放大电路的测试	71
实验三 运算放大器基本运算电路的设计	77
实验四 RC 正弦波振荡电路的设计	81
实验五 方波—三角波发生器电路的设计	84
实验六 直流稳压电源的设计	87

第五章 数字电子技术实验	91
实验一 TTL 与非门的逻辑功能与参数测试	91
实验二 组合逻辑电路的设计	96
实验三 译码器及其应用	98
实验四 触发器逻辑功能的测试	103
实验五 时序逻辑电路的设计	108
实验六 555 集成定时器及其应用	112

第三篇 仿 真 实 验

第六章 EWB 仿真软件介绍	118
实验一 EWB 的特点及安装	118
实验二 EWB 的工作界面	119
实验三 EWB 的主要分析功能	145
实验四 EWB 的具体操作	149
第七章 EWB 仿真实验	155
实验一 电位与电压的仿真测试	155
实验二 基尔霍夫定律的仿真测试	158
实验三 叠加定理的仿真测试	161
实验四 三相交流电路 Y— Δ 的仿真测试	163
实验五 二极管的仿真测试及应用	168
实验六 晶体管共射极单管放大电路的仿真测试	172
实验七 基本运算电路的仿真测试与设计	180
实验八 直流稳压电源的仿真测试与设计	187
实验九 组合逻辑电路的仿真分析	193
实验十 时序逻辑电路的设计	196
实验十一 555 集成定时器的仿真应用	199
附录 A 部分集成电路引脚排列	203
参考文献	204

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。 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 R 的阻值,使电流表 A 的指针指在 1/2 满偏转位置,此时有

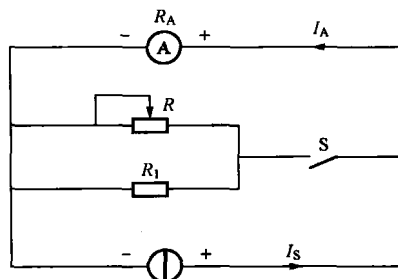


图 1-1 测量电流表内阻电路

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

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 可由十进制可变电阻箱的刻度盘上读得。

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。 R_V 为被测直流数字电压表 V 的内阻,满量程电压表电压为 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, R_1 上的电压为

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

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

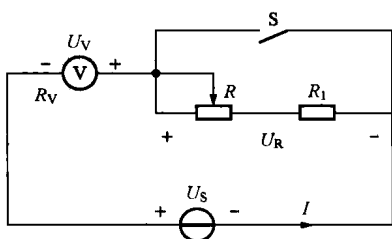


图 1-2 测量电压表内阻电路

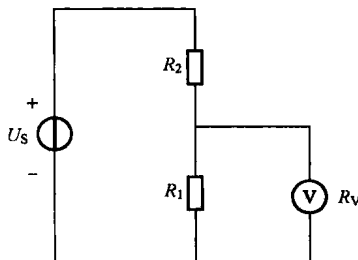


图 1-3 方法误差测量电路

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

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

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

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

相对误差

$$\Delta U\% = \frac{U'_{R1} - U_{R1}}{U_{R1}} \times 100\% = \frac{-\frac{U_S}{6}}{\frac{U_S}{2}} \times 100\% = -33.3\%$$

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

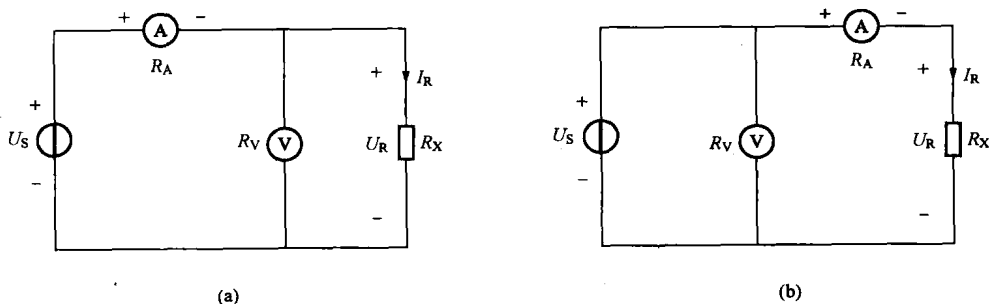


图 1-4 伏安法测量电阻电路

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。

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

$$R_X = 19.73 \div 2.96 = 6.667\text{k}\Omega$$

相对误差为

$$(6.667 - 10) \div 10 \times 100 = -33.3\%$$

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

$$R_x = 20 \div 1.98 = 10.1\text{k}\Omega$$

相对误差为

$$(10.1 - 10) \div 10 \times 100 = 1\%$$

三、实验设备

实验设备见表 1-1。

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	0~9999.9 Ω	1
6	电阻器	根据需要选择	若干

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 5k Ω /2W 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	S 断开时的表读数 $I_A = I_S = I_m$ (mA)	S 闭合时的表读数 $I_A = I_m/2 = I_S/2$ (mA)	R (Ω)	R_1 (Ω)	计算电流表内阻 R_A (Ω)
0.5mA					
5mA					

(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 5k Ω /4W 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	S 闭合时表读数 $U_V = U_m = U_S$ (V)	S 断开时表读数 $U_V = U_m/2 = U_S/2$ (V)	R (k Ω)	R_1 (k Ω)	计算内阻 R_V (k Ω)	S (Ω/V)
2.5V						
10V						

(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'_{R1} 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} (k Ω)	计算值 U_{R1} (V)	实测值 U'_{R1} (V)	绝对误差 ΔU	相对误差 $(\Delta U/U) \times 100\%$
12V	10k Ω	50k Ω					

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档位切换时, 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联, 电流表应与被测电路串联, 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, R_1 的取值应与 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 R 、 R_1 等均会不同。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, 可否直接计算得出 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。

(2) 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 所示的测量电压电路, 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

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

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

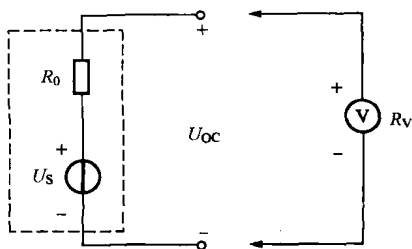


图 1-5 测量电压电路

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。

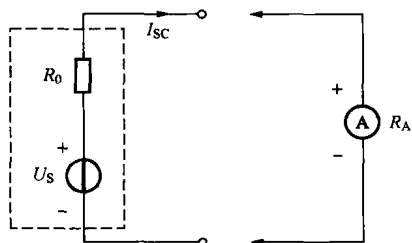


图 1-6 测量电流电路

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 所示电路，不接入电流表时的电流为 $I_{SC} = U_S / R_0$ 。接入内阻为 R_A 的电流表 A 时，电路中的电流变为 $I'_{SC} = U_S / (R_0 + R_A)$

如果 $R_A = R_0$ ，则 $I'_{SC} = I_{SC} / 2$ ，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作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. 同一量程两次测量计算法

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，可用同一量程两次测量法减小测量误差。其中，第一次测量与一般的测量一样，第二次测量时必须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，通过电压同一量程两次测量可消除内阻 R_0 对开路电压 U_{OC} 的影响。

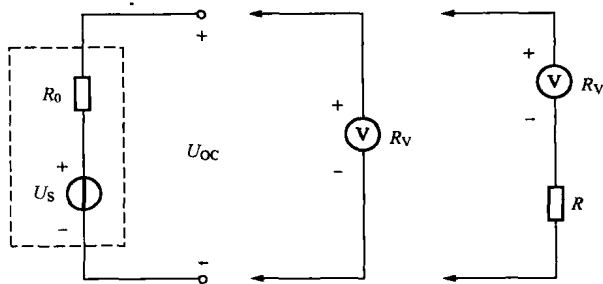


图 1-7 同一量程测量电压电路

(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联一个已知阻值的电阻器 R , 电流表读数为 I_{sc2} 。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, 采用多量限仪表测量法或单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

实验设备见表 1-5。

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	0~9999.9Ω	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

四、实验内容

1. 双量限电压表两次测量法

按图 1-5 所示的电路接线, 实验中利用直流稳压电源, 取 $U_s = 2.5V$, R_0 选用十进制可变电阻箱, 阻值 $R_0 = 50k\Omega$ 。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 1-6

双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 (kΩ)	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)	U_{oc} 的绝对误差值 (%)	U'_{oc} 的相对误差 (%)
2.5	$R_{V1} =$	$U_{oc1} =$		—		
10	$R_{V2} =$	$U_{oc2} =$		—		
两次测量	—	—	—			

2. 单量限电压表两次测量法

按图 1-7 所示的电路接线。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 $R=10k\Omega$ 的附加电阻再一次测量, 可得 U_{OC2} 。计算开路电压 U_{OC} 之值, 将实验数据填入表 1-7 中。

表 1-7 单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	U_{OC} 的相对误差
U_{OC} (V)	U_{OC1} (V)	U_{OC2} (V)	U'_{OC} (V)	ΔU	$\Delta U/U_{OC} \times 100\%$

3. 双量限电流表两次测量法

按图 1-6 所示的电路接线, 实验中利用直流稳压电源, 取 $U_S=2.5V$, R_0 选用十进制可变电阻箱, 阻值 $R_0=50k\Omega$ 。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

万用表电流量限	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)	I_{SC} 的相对误差 (%)	I'_{SC} 的相对误差 (%)
0.5mA	$R_{A1} =$	$I_{SC1} =$				
5mA	$R_{A2} =$	$I_{SC2} =$				

4. 单量限电流表两次测量法

按图 1-8 所示的电路接线。先用直流电流表 0.5mA 量限挡直接测量, 可得 I_{SC1} 。然后串接 $R=10k\Omega$ 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 单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}	$\Delta I_{SC}/I_{SC} \times 100\%$

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 仪表量程扩展实验

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。

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。

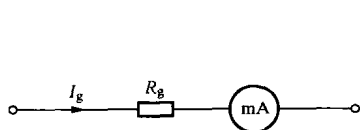


图 1-9 基本表

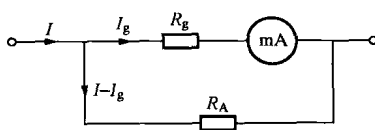


图 1-10 扩大电流量程

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:

$$I_g R_g = (I - I_g) R_A$$

$$1 \times 100 = (10 - 1) R_A$$

$$R_A = 100/9 = 11.1 (\Omega)$$

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。

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 与基本表相串联即可, 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

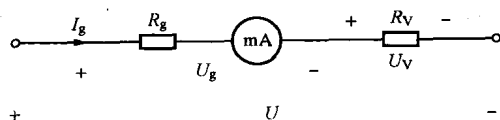


图 1-11 电压表

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

$$R_V = 1/1 - 100 = 1000 - 100 = 900 (\Omega)$$

请读者思考, 若要将量程扩大到 10V, 应串多大的分压电阻呢?

三、实验设备

实验设备见表 1-10。

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, 100 Ω	1
6	电阻	1.01 Ω , 11.1 Ω , 900 Ω , 9.9k Ω , 1k Ω , 2k Ω	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, 分别读取基本表的读数, 并记录之, 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

mA

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

2. 将基本表改装为量程为 10mA 的毫安表

(1) 将分流电阻 11.1 Ω 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, 并记录之, 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

mA

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