



普通高等教育“十一五”电子电气基础课程规划教材

电工电子技术 实践教程

袁桂慈 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”电子电气基础课程规划教材

电工电子技术实践教程

袁桂慈 主 编
李 策 丁守成 副主编



机械工业出版社

本书是为高等学校电类和非电类专业学生编写的一本集基础性、综合性、设计性为一体的实践教材。全书分为6章。第1章是电工技术实验,其中包括电工基础实验(电路实验)、PLC应用实验;第2章是电子技术实验,其中包括模拟电子技术实验和数字电子技术实验;第3章是电工技能训练,主要介绍了典型机床的电气控制和电工技能训练的方法、任务及要求;第4章是电子制作与装配技能训练,主要介绍了电子制作、电子装配的方法和实用电子电路,同时介绍了Protel 99 SE软件和CCD—2电路板雕刻机的使用以及表面贴装工艺;第5章是常用计算机电路仿真与设计软件,主要介绍了EWB软件和MAX+plus II软件使用以及EDA设计实训;第6章是电子系统综合设计实践。

本书可作为大专院校学生电工电子基础实验、综合训练、相关应用软件的学习教材,还可作为课程设计、毕业设计的参考书,也可作为电气电子工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

电子电子技术实践教程/袁桂慈主编 —北京:机械工业出版社,2007.6
普通高等教育“十一五”电子电气基础课程规划教材
ISBN 978-7-111-21460-1

I 电 II 袁… III ①电子技术—高等学校—教材
②电子技术—高等学校—教材 IV TM TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第067164号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:王保家 版式设计:张世琴 责任校对:魏俊
封面设计:张静 责任印制:洪汉军
北京京卡印刷厂印刷
2007年6月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·24印张·594千字
标准书号:ISBN 978-7-111-21460-1
定价:35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379711
封面无防伪标均为盗版

前言

为适应 21 世纪高等学校电气、电子信息类和非电类专业电工电子技术基础课程实践教学的需要,我们根据普通高等院校电工(电路)、电子技术实践教学大纲的基本要求,并结合我校电工电子实验教学中心多年的实践教学经验编写了本教材。

21 世纪的电工电子技术基础实验课的教学改革,应该突出综合应用能力、设计创新能力、计算机应用能力的培养,以实现全面提高当代大学生素质的教育目标,我们力图改变单一、分散的实验教学模式,重新构建电工(电路)电子技术课程一体化的实践教学模式,搭建一个集基础性、综合性、设计性实践课程以及电工电子职业技能培训为一体的电工电子实践教学大平台。

本书在编者以往编写的电工电子系列实践讲义的基础上,参考了大量的文献资料,吸取各家之长,不断修改、充实、凝练讲义中的内容,并按照学生实践课程的设置顺序重新加以编排,共分为电工(电路)、电子技术以及现代电子系统设计三大部分。内容既有基本理论的验证,又有设计实践训练的提高;既有科研能力的培养,又有职业技能基础的教育;同时为强化工程应用能力的培养,增加了较多的工程性实例。主要内容包括:电工技术基础实验、电路实验、PLC 应用实验、电工技能培训;常用电子仪器使用、电子元器件识别与性能测试、模拟电子技术实验、数字电子技术实验、电子电路安装与调试、电子电路设计与制作、电子系统计算机辅助设计软件的使用以及现代电子系统(EDA)设计等内容。附录中主要包括典型电子仪器的使用、常用集成元件的引脚图,课程设计报告及格式说明等内容。

本教材力图通过基础实验使学生掌握基本实验技能;通过技能综合训练提高学生的工程实践能力;通过设计性综合训练培养学生的创新能力和计算机应用能力;并希望它成为学生手中较有价值的一本书。本书可作为高等学校本科生电工电子实践教学、实践性课程的教材,还可作为维修电工职业技能的培训教材。本书也可作为高等工程专科学校有关专业的电工(电路)、电子技术基础实践教材。

本书由袁桂慈任主编,李策、丁守成任副主编。第 1 章、第 3 章由丁守成编写,第 2 章、第 4 章(4.1~4.4 节)由袁桂慈编写,第 5 章、第 6 章由李策编写,肖利梅编写了第 4 章(4.5~4.7 节)及附录并绘制了全部电路图,全书由袁桂慈、李策负责统稿,肖利梅负责本书的校阅工作。此外,杨世洲完成了第 2 章、第 4 章电路的测试工作,黄瑞完成了第 1 章、第 3 章电路的测试工作,曲培娟、毛晓辉、吕克强完成了第 5 章、第 6 章电路的测试工作。

本书由党建武教授主审,党老师在百忙中不辞劳苦,对全部书稿进行了审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢!

本书在编写过程中,参考了大量的国内外著作和资料,在此向这些作者表示衷心的感谢!

由于我们水平有限,错误和不足在所难免,敬请各位读者批评指正。

编者

目 录

前言

第1章 电工技术实验	1
1.1 电工测量技术	1
1.1.1 基本电工仪表的使用与测量 误差的计算	1
1.1.2 减小仪表测量误差的方法	4
1.1.3 电工技术实验装置简介	7
1.2 欧姆表的设计	8
1.3 电阻元件伏安特性的测定	10
1.4 未知电阻元件伏安特性的测定	12
1.5 叠加原理	14
1.6 电压源、电流源及其电源等效 变换的研究	16
1.7 有源二端网络等效参数的测定	19
1.8 直流电路的设计	22
1.9 最大功率传输条件的测定	22
1.10 受控源 VCVS、VCCS、CCVS、CCCS 的研究	24
1.11 直流双口网络的研究	30
1.12 三表法测定交流电路等效参数	32
1.13 感性负载电路及其功率因数 提高的研究	34
1.14 RC 一阶电路	37
1.15 二阶动态电路响应的测试	39
1.16 RC 网络的频率特性和选频特性	41
1.17 RLC 串联谐振电路	44
1.18 负阻抗变换器	46
1.19 回转器	49
1.20 单相电能表	52
1.21 互感电路的测试	54
1.22 三相电路电压、电流及其 功率的测量	56
1.23 三相异步电动机的直接起动	59
1.24 常用继电器-接触器控制电路	60
1.25 三相异步电动机的正反转控制	62
1.26 三相异步电动机的星形-三角形	

减压起动控制	63
1.27 三相异步电动机的继电器-接触器 控制电路设计	64
1.28 FX 系列可编程序控制器 (PLC)	65
1.28.1 FX 系列可编程序控制器 (PLC) 简介	65
1.28.2 PLC 基本指令	68
1.28.3 PLC 编程语言	71
1.29 PLC 控制小车自动往返运动	73
1.30 PLC 交通灯控制	74
1.31 PLC 彩灯控制	76
1.32 PLC 数码显示控制	77
1.33 PLC 温度检测和控制	78
1.34 PLC 温度、液位控制	79
1.35 PLC 三相步进电动机控制	81
1.36 PLC 三相异步电动机正反转和 Y- Δ 减 压起动的设计与调试	84
1.37 PLC 抢答器的设计与调试	84
1.38 PLC 自动感应门控制系统的 设计与调试	85
1.39 PLC 控制系统的施工设计	86

第2章 电子技术基础实验	90
I 模拟电子技术基础实验	90
2.1 常用电子仪器的使用	90
2.2 单管共射放大电路	93
2.3 场效应晶体管放大电路	97
2.4 负反馈放大电路	100
2.5 差分放大电路	103
2.6 集成运算放大器的应用 (基本 运算电路)	105
2.7 RC 有源滤波电路的设计	108
2.8 波形产生电路	110
2.9 低频功率放大电路	112
2.10 整流、滤波和稳压电路	114
2.11 简易音频功率放大电路	117
2.12 自动切换电压放大倍数的	

电压放大器	119	4.1.2 电容器的识别与测试	185
2.13 电压-频率转换电路的设计	121	4.1.3 电感器的简单识别与测试	187
II 数字电子技术基础实验	122	4.1.4 常用半导体分立器件的 识别与测试	188
2.14 基本集成门电路的逻辑功能 及参数测试	122	4.1.5 常用半导体集成电路的 分类及型号	193
2.15 基本逻辑门电路的应用	126	4.2 电子制作与电子装配基础	195
2.16 中规模组合逻辑器件的应用	128	4.2.1 印制电路板设计与制作	195
2.17 触发器	132	4.2.2 手工焊接	198
2.18 中小规模时序逻辑电路 (计数器)	134	4.2.3 电子电路组装的方法 和电子装配	200
2.19 移位寄存器的应用	139	4.2.4 电子电路的调试与故障 检测	202
2.20 集成定时器的应用	142	4.3 电子装配与制作实践	204
2.21 集成数-模和模-数转换器	145	4.3.1 数字万用表的装配	204
2.22 简易彩灯控制电路	149	4.3.2 超外差收音机的装配	207
2.23 简易电子秒表	151	4.3.3 电风扇自动温控电路的制作	211
2.24 简易竞赛抢答器控制 电路的设计	153	4.3.4 晶闸管调光电路的安装与 调试	213
第3章 电工技能训练	155	4.4 电子制作实验参考题目	214
3.1 常用机床和电动葫芦的控制	155	4.4.1 红外检测式自动迎宾电子 门铃	214
3.2 典型机床的电气控制	157	4.4.2 串联型可调稳压电源	215
3.2.1 C6150 卧式车床的电气控制	157	4.4.3 风动开关控制的声光电路	216
3.2.2 Z3040 摇臂钻床的电气控制	159	4.4.4 触摸式多用音响电路	217
3.2.3 M7130 卧轴矩台平面磨床 的电气控制	163	4.4.5 车用电子语音喇叭	218
3.2.4 T68 卧式镗床的电气控制	167	4.4.6 遥控调光灯	219
3.2.5 X62W 卧式万能铣床的电气 控制	171	4.5 Protel 99 SE 软件的使用	220
3.3 电工技能训练	175	4.5.1 利用 Protel 99 SE 进行电路 设计的基本步骤	221
3.3.1 机床电气控制原理图和电气接线 图的绘制	175	4.5.2 利用 Protel 99 SE 设计电路 原理图 (SCH)	221
3.3.2 机床电气设备安装配线	176	4.5.3 原理图的打印	230
3.3.3 基本控制电路的安装步骤及 要求	177	4.5.4 利用 Protel 99 SE 设计印制 电路板 (PCB)	230
3.3.4 机床电气设备的调整试车	178	4.5.5 原理图的元件制作	235
3.3.5 机床电气设备故障的排除 方法	179	4.5.6 印制电路板的元件封装 制作	237
3.3.6 电工技能训练任务及要求	180	4.6 CCD—2 电路板雕刻机的使用 介绍	240
第4章 电子制作与电子装配	182	4.6.1 电路板制作方式简介	240
4.1 常用电子元器件的识别与测试	182	4.6.2 CCD—2 电路板雕刻机相关 软件的安装	241
4.1.1 电阻器的识别与型号	182		

4.6.3 生成 Gerber File 文件并 载入 Isocam	241
4.6.4 路径计算及格式转换	245
4.6.5 CCD—2 雕刻机硬件安装 介绍	250
4.6.6 RoutePro 2000 基本操作与 范例雕刻	251
4.7 表面贴装工艺 (SMT) 介绍	259
4.7.1 表面贴装工艺的基本概念	259
4.7.2 表面贴装工艺流程介绍	261
4.7.3 常用表面贴装元器件	264

第5章 常用计算机电路仿真

与设计软件	268
5.1 计算机电路仿真与设计软件介绍	268
5.1.1 EDA 技术概述	268
5.1.2 EDA 常用软件	269
5.2 EWB 软件使用简介	271
5.2.1 EWB 的软件界面	271
5.2.2 模拟电路的建立与仿真	279
5.2.3 数字电路的建立与仿真	282
5.3 MAX + plus II 软件使用简介	286
5.3.1 MAX + plus II 的注册与安装	286
5.3.2 MAX + plus II 的操作简介	287
5.4 EDA 设计实训	303
5.4.1 设计实例	303

5.4.2 设计课题	315
------------------	-----

第6章 电子系统综合设计实践

6.1 电子系统设计概述	323
6.2 电子系统综合设计实训	324
6.2.1 电子系统综合设计实例——数字 式测温系统	324
6.2.2 设计课题	327
6.3 电子电路的抗干扰技术	343
6.3.1 电子电路中常见的干扰源	343
6.3.2 常见的抗干扰措施	343

附录

附录 A 典型仪器设备使用简介	349
A.1 晶体管特性图示仪 BJ4814	349
A.2 BT3C 型 UHF 频率特性测 试仪	353
A.3 BT—3C 型扫频仪	357
A.4 SG227B 型超高频毫伏表	359
A.5 数字式存储示波器 TDS1002	361
附录 B 常用集成芯片引脚图	369
附录 C 课程设计报告要求及格式 说明	372

参考文献

参考文献	377
------------	-----

第 1 章 电工技术实验

1.1 电工测量技术

1.1.1 基本电工仪表的使用与测量误差的计算

1. 实验目的

- (1) 熟悉恒压源与恒流源的使用。
- (2) 掌握电压表、电流表内电阻的测量方法。
- (3) 掌握电工仪表测量误差的计算方法。

2. 实验原理

用电压表和电流表测量电路中的电压和电流，而电压表和电流表都具有一定的内阻，分别用 R_V 和 R_A 表示。电压表测量电压原理如图 1.1-1 所示，测量电阻 R_2 两端电压 U_2 时，电压表与 R_2 并联，只有电压表内阻 R_V 无穷大，才不会改变电路原来的状态。如果测量电路的电流 I ，电流表串入电路，要想不改变电路原来的状态，电流表的内阻 R_A 必须等于零。但实际使用的电压表和电流表一般都不能满足上述要求，即它们的内阻不可能为无穷大或者为零，因此，当仪表接入电路时都会使电路原来的状态产生变化，使被测的读数值与电路原来的实际值之间产生误差，这种由于仪表内阻引入的测量误差，称之为方法误差。显然，方法误差值的大小与仪表本身内阻值的大小密切相关，我们总是希望电压表的内阻越接近无穷大越好，而电流表的内阻越接近零越好。

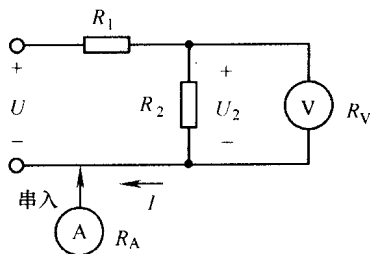


图 1.1-1 电压表测量电压原理图

可见，仪表的内阻是一个十分重要的参数。

通常用下列方法测量仪表的内阻：

(1) “分流法”测量电流表的内阻 设被测电流表的内阻为 R_A ，满量程电流为 I_m ，可调恒流源测试电流表内阻电路如图 1.1-2 所示，首先断开开关 S ，并保持 I 值不变，调节电阻箱 R 的阻值，使电流表的指针指在 $1/2$ 满量程位置，即

$$I_A = I_S = \frac{I_m}{2}$$

则电流表的内阻 $R_A = R$ 。

(2) “分压法”测量电压表的内阻 电压表的内阻为 R_V ，满量程电压为 U_m ，电压表内阻测量原理如图 1.1-3 所示。首先闭合开关 S ，调节恒压源的输出电压 U ，使电压表指针达到满偏转，即 $U = U_V = U_m$ 。然后断开开关 S ，并保持 U 值不变，调节电阻箱 R 的阻值，使电压表的指针指在 $1/2$ 满量程位置，即

$$U_V = U_R = \frac{U_m}{2}$$

则电压表的内阻 $R_V = R$ 。

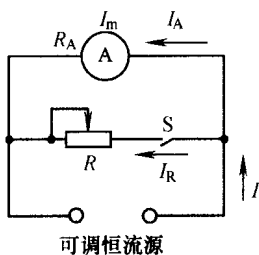


图 1.1-2 电流表内阻测量原理图

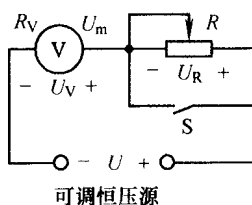


图 1.1-3 电压表内阻测量原理图

在图 1.1-1 电路中，由于电压表的内阻 R_V 不为无穷大，在测量电压时引入的方法误差计算如下： R_2 上的电压为

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

若 $R_1 = R_2$ ，则 $U_2 = U/2$ 。

现用一内阻 R_V 的电压表来测 U_2 值，当 R_V 与 R_2 并联后，得

$$R'_2 = \frac{R_V R_2}{R_V + R_2}$$

以此来代替上式的 R_2 ，则得

$$U'_2 = \frac{\frac{R_V R_2}{R_V + R_2}}{R_1 + \frac{R_V R_2}{R_V + R_2}} U$$

绝对误差为

$$\Delta U = U_2 - U'_2 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{\frac{R_V R_2}{R_V + R_2}}{R_1 + \frac{R_V R_2}{R_V + R_2}} \right) U = \frac{R_1 R_2^2}{(R_1 + R_2)(R_1 R_2 + R_2 R_V + R_V R_1)} U$$

若 $R_1 = R_2 = R_V$ ，则得 $\Delta U = \frac{U}{6}$

相对误差为

$$\Delta U\% = \frac{U_2 - U'_2}{U_2} \times 100\% = \frac{\frac{U}{6}}{\frac{U}{2}} \times 100\% = 33.3\%$$

3. 实验设备

- (1) 直流数字电压表、直流数字电流表。
- (2) 恒压源（双路 0 ~ 30V 可调）。

- (3) 恒流源 (0 ~ 500mA 可调)。
- (4) 磁电式表头 1mA、160Ω。

4. 实验内容

(1) 根据“分流法”原理测定直流电流表 1mA 和 10mA 量程的内阻 实验电路如图 1.1-2 所示, 其中 R 为电阻箱, 用 $\times 100\Omega$ 、 $\times 10\Omega$ 、 $\times 1\Omega$ 三组串联, 1mA 电流表用表头和电位器 R_{p2} 串联组成, 10mA 电流表由 1mA 电流表与分流电阻并联而成, 两个电流表都需要与直流数字电流表串联 (采用 20mA 量程挡), 由可调恒流源供电, 调节电位器 R_{p2} 校准满量程。实验电路中的电源用可调恒流源, 并将实验数据记入表 1.1-1 中。

表 1.1-1 电流表内阻测量数据

被测表量程/mA	S 断开调节恒源,使 $I = I_A = I_m$ (单位为 mA)	S 闭合调节电阻 R ,使 $I_R = I_A = I_m/2$ (单位为 mA)	R/Ω	计算内阻 R_A/Ω
1				
10				

(2) 根据“分压法”原理测定直流电压表 1V 和 10V 量程的内阻 实验电路如图 1.1-3 所示, 其中 R 为电阻箱, 用 $\times 1k\Omega$ 、 $\times 100\Omega$ 、 $\times 10\Omega$ 、 $\times 1\Omega$ 四组串联, 1V、10V 电压表分别用表头、电位器 R_{p1} 和倍压电阻串联组成, 两个电压表都需要与直流数字电压表并联, 由可调恒压源供电, 调节电位器 R_{p1} 校准满量程。实验电路中的电源用可调恒压源, 并将实验数据记入表 1.1-2 中。

表 1.1-2 电压表内阻测量数据

被测表量程 /V	S 闭合调节恒压源,使 $U = U_V = U_m$ (单位为 V)	S 断开调节电阻 R ,使 $U_R = U_V = U_m/2$ (单位为 V)	R/Ω	计算内阻 R_V/Ω
1				
10				

(3) 方法误差的测量与计算 如图 1.1-1 电路所示, 计算测量的绝对误差和相对误差, 实验和计算数据记入表 1.1-3 中。

表 1.1-3 方法误差的测量与计算

R_V	计算值 U_2	实测值 U'_2	绝对误差 $\Delta U = U_2 - U'_2$	相对误差 $\Delta U/U_2 \times 100\%$

5. 实验注意事项

- (1) 在使用这两个电源时, 先应使其输出电压调节或电流调节旋钮置零位, 待实验时慢慢增大。
- (2) 恒压源输出不允许短路, 恒流源输出不允许开路。
- (3) 电压表并联测量, 电流表串入测量, 并且要注意极性与量程的合理选择。

6. 思考题

- (1) 根据已知表头的参数 (1mA、160Ω), 计算出组成 1V、10V 电压表的倍压电阻和

1mA、10mA 的分流电阻。

(2) 若根据图 1.1-2 和图 1.1-3 已测量出电流表 1mA 挡和电压表 1V 挡的内阻, 可否直接计算出 10mA 挡和 10V 挡的内阻?

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

(4) 图 1.1-4a、b 为伏安法测量电阻的两种电路, 被测电阻的实际值为 R , 电压表的内阻为 R_V , 电流表的内阻为 R_A , 求两种电路测电阻 R 的相对误差。

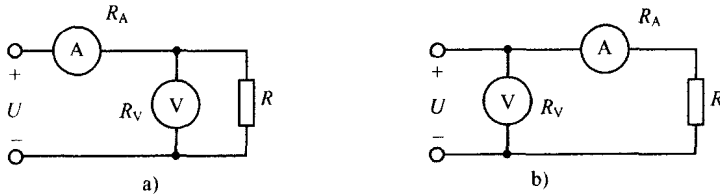


图 1.1-4 伏安法测量电阻

a) 外接法 b) 内接法

7. 实验报告要求

(1) 根据表 1.1-1 和表 1.1-2 数据, 计算各被测仪表的内阻值, 并与实际的内阻值相比较。

(2) 根据表 1.1-3 数据, 计算测量的绝对误差与相对误差。

1.1.2 减小仪表测量误差的方法

1. 实验目的

- (1) 进一步了解电压表、电流表的内阻在测量过程中产生的误差及其分析方法。
- (2) 掌握减小仪表内阻引起的测量误差的方法。

2. 实验原理

减小因仪表内阻而引起的测量误差有“不同量程两次测量算法”和“同一量程两次测量算法”两种方法。

(1) 不同量程两次测量算法 当电压表的内阻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, 所得读数经计算后可得到准确的结果。

1) 电压表不同量程两次测量算法。电压表不同量程测量电路如图 1.1-5 所示, 欲测量具有较大内阻 R_0 的电源 U_s 的开路电压 U_0 时, 如果所用电压表的内阻 R_V 与 R_0 相差不大, 将会产生很大的测量误差。

设电压表有两挡量程, U_1 、 U_2 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 1.1-5 可得出

$$U_1 = \frac{R_{V1}}{R_0 + R_{V1}} U_s$$

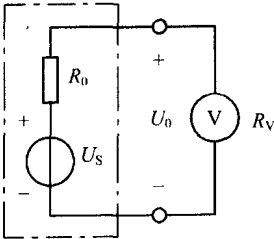


图 1.1-5 电压表不同量程测量电路

$$U_2 = \frac{R_{V2}}{R_0 + R_{V2}} U_S$$

对上述两式进行整理, 消去电源内阻 R_0 , 化简得

$$U_S = \frac{U_1 U_2 (R_{V2} - R_{V1})}{U_1 R_{V2} - U_2 R_{V1}} = U_0$$

由该式可知: 通过上述的两次测量结果 U_1 、 U_2 , 可准确地计算出开路电压 U_0 的大小 (已知电压表两个量程的内阻 R_{V1} 和 R_{V2}), 而与电源内阻 R_0 的大小无关。

2) 电流表不同量程两次测量算法。对于电流表, 当其内阻较大时, 也可用类似的方法测得准确的结果。如图 1.1-6 所示电路, 设电流表有两挡量程, I_1 、 I_2 分别为在这两个不同量程下测得的电流值, 令 R_{A1} 和 R_{A2} 分别为这两个相应量程的内阻, 则由电流表不同量程测量电路图 1.1-6 可得出

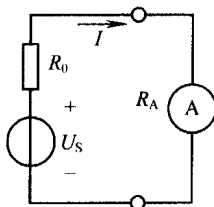


图 1.1-6 电流表不同量程测量电路

$$I_1 = \frac{U_S}{R_0 + R_{A1}}$$

$$I_2 = \frac{U_S}{R_0 + R_{A2}}$$

解得

$$I = \frac{U_S}{R} = \frac{I_1 I_2 (R_{A1} - R_{A2})}{I_2 R_{A1} - I_1 R_{A2}}$$

由该式可知: 通过上述的两次测量结果 I_1 、 I_2 , 可准确地计算出被测电流 I 的大小 (已知电流表两个量程的内阻 R_{A1} 和 R_{A2})。

(2) 同一量程两次测量算法 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“同一量程进行两次测量法”减小测量误差。其中, 第一次测量与一般的测量并无两样, 只是在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。同一量程电压测量电路如图 1.1-7 所示。第一次测量, 电压表的读数为 U_1 (设电压表的内阻为 R_V), 第二次测量时应与电压表串接一个已知阻值的电阻 R , 电压表读数为 U_2 , 由图可知

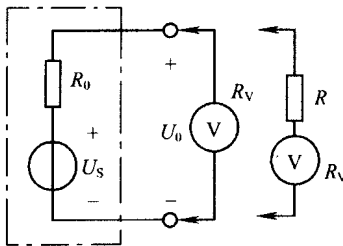


图 1.1-7 同一量程电压测量电路

$$U_1 = \frac{R_V}{R_0 + R_V} U_S$$

$$U_2 = \frac{R_V}{R_0 + R_V + R} U_S$$

解上两式可得

$$U_S = U_0 = \frac{R U_1 U_2}{R_V (U_1 - U_2)}$$

2) 电流测量。同一量程电流测量电路如图 1.1-8 所示。第一次测量, 电流表的读数为

I_1 ，(设电压表的内阻为 R_A)，第二次测量时应与电流表串接一个已知阻值的电阻 R ，电流表读数为 I_2 ，由图可知

$$I_1 = \frac{U_s}{R_0 + R_A}$$
$$I_2 = \frac{U_s}{R_0 + R_A + R}$$

解得

$$I = \frac{U_s}{R_0} = \frac{I_1 I_2 R}{I_2 (R_A + R) - I_2 R_A}$$

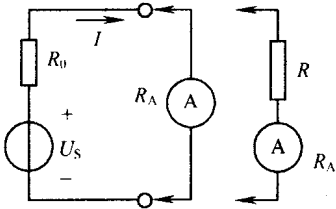


图 1.1-8 同一量程
电流测量电路

由上面分析可知：采用多量程仪表测量法或单量程仪表两次测量法，不管电表内阻如何总可以通过两次测量和计算得到比单次测量准确得多的结果。

3. 实验设备

- (1) 磁电式表头 1mA、160Ω，倍压电阻和分流电阻，电位器。
- (2) 恒压源（双路 0~30V 可调）。

4. 实验内容

(1) 双量程电压表两次测量法 在如图 1.1-5 电路所示中，使用的 1V、10V 电压表分别用表头、电位器 R_{p1} 和倍压电阻串联组成，两个电压表都需要与直流数字电压表并联，由可调恒压源供电，调节电位器 R_{p1} 校准满量程。电路中的电源 U_s 是将实验台上恒压源的其中一路输出调至 +6V， R_0 选用 6kΩ（十进制电阻箱），用直流电压表的 1V 和 10V 两挡量程进行两次测量，将数据记入表 1.1-4 中，并根据表中的要求计算各项内容。

表 1.1-4 双量程电压表两次测量实验数据

电压表量程 /V	内阻 /kΩ	$U_0 = U_s$ /V	测量值 /V	两次测量计算 值/V	绝对误差 $\Delta U/V$	相对误差 $\Delta U/U_0 \times 100\%$
1	$R_{V1} =$		$U_1 =$			
10	$R_{V2} =$		$U_2 =$			
两次测量				$U_0 =$		

(2) 单量程电压表两次测量法 实验电路同图 1.1-7，电路中的电源 U_s 是将实验台上恒压源的其中一路输出调至 +6V， R_0 选用 6kΩ，用上述电压表的 10V 量程挡进行测量，第一次直接测量，第二次串接 $R = 10k\Omega$ 的附加电阻进行测量，将数据记入表 1.1-5 中，并根据表中要求计算各项内容。

表 1.1-5 单量程电压表两次测量实验数据

实际计算值/V	两次测量值/V		测量计算值/V	绝对误差/V	相对误差
U_0	U_1	U_2	U_0	ΔU	$\Delta U/U_0 \times 100\%$

(3) 双量程电流表两次测量法 实验电路如图 1.1-6 所示，使用的 1mA 电流表用表头和电位器 R_{p2} 串联组成，10mA 电流表由 1mA 电流表与分流电阻并联而成，两个电流表都需

要与直流数字电流表串联，由可调恒流源供电，调节电位器 R_{p2} 校准满量程。电路中的电源 U_s 是将实验台上恒压源的其中一路输出调至 +12V， R_0 选用 12k Ω ，用直流电流表的 1mA 和 10mA 两挡量程进行两次测量，将数据记入表 1.1-6 中，并根据表中的要求计算出各项内容。

表 1.1-6 双量程电流表两次测量实验数据

电流表量程 /mA	内阻 /k Ω	测量值 /mA	两次测量 计算值/mA	电路 计算值	绝对误差 ΔI /mA	相对误差 $\Delta I/I \times 100\%$
1	$R_{A1} =$	$I_1 =$				
10	$R_{A2} =$	$I_2 =$				
两次测量			$I =$			

(4) 单量程电流表两次测量法 实验电路如图 1.1-8 所示。其中，电源 U_s 是将实验台上恒压源的其中一路输出调至 +12V， R_0 选用 12k Ω ，用上述电流表的 1mA 量程挡进行测量，第一次直接测量，第二次串接 $R = 10k\Omega$ 的附加电阻进行测量，将数据记入表 1.1-7 中，并根据表中的要求计算出各项内容。

表 1.1-7 单量程电流表两次测量实验数据

实际计算值/mA	两次测量值/mA		测量计算值/mA	绝对误差/mA	相对误差
I	I_1	I_2	I_0	ΔI	$\Delta I/I \times 100\%$

5. 实验注意事项

- (1) 使用恒压源时，先应使其输出旋钮置零位，待实验时慢慢增大，其输出量的大小由数字电压表显示。
- (2) 恒压源输出不允许短路。
- (3) 电压表并联测量，电流表串入测量，并且要注意极性选择。

6. 实验报告要求

- (1) 根据已知表头的参数 (1mA、160 Ω)，计算出组成 1V、10V 电压表的倍压电阻和 1mA、10mA 电流表的分流电阻，并计算出它们的内电阻值。
- (2) 由图 1.1-6 计算用内阻为 R_A 的电流表测量电路电流的绝对误差和相对误差，当 $R_A = R$ 时绝对误差和相对误差是多少？
- (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？
- (4) 完成各数据表格中各项实验内容的计算。

1.1.3 电工技术实验装置简介

1. 电工实验教学装置

- (1) 能提供完善的安全保护体系。
- (2) 能完成电路原理、电工基础、电机拖动等 30 个以上实验项目。
- (3) 数字交流电压表、交流电流表、直流电压表、直流电流表各 1 只，数字功率表和功率因数表各 2 只，0.5 级。

(4) 提供单、三相交流可调电源 (含三相隔离变压器)、0 ~ 30V 双路稳压电源、0 ~ 200mA 电流源、1MHz 信号源和频率计等。

(5) 设计性实验箱 2 只, 可完成 10 个以上设计性、综合性实验内容。

(6) 配置两种不同的实验连接线, 强电部分采用高可靠护套结构手枪插连接线。弱电部分采用铜裸露结构连接线, 两种导线不能互插。

(7) 仪器仪表都能计算机采集, 既可每个实验室用一台计算机联网, 也可每台设备配置 1 台计算机组成局域网。

2. PLC 实验教学装置

(1) 提供 15 个发光管模拟实验。

(2) 每套配置 12 种实物模型对象、配置四层电梯、门禁系统、小车运动系统、立体停车库等实物对象。

(3) PLC 主机采用三菱 60 个点的 CPU, 配有相应的 A/D、D/A 转换模块、输入输出单元、手持编程器、编程电缆、24V 直流稳压电源、交流电源、电流型漏电保护、电源插座等。

1.2 欧姆表的设计

1. 实验目的

(1) 掌握欧姆表的基本原理和设计方法。

(2) 学会欧姆表的校验方法。

2. 实验原理

最简单的欧姆表原理图如图 1.2-1 所示, 表头、电源 U_s 和限流电阻 R_l 组成测量电路, A、B 两端与被测电阻 R_x 相接, 电路中的电流

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R_l + R_x}$$

显然被测电阻 R_x 越大, 电流 I 越小。用表头测出电流 I 即可间接反映电阻 R_x 的值, 即

$$R_x = U_s / I - R_0 - R_l$$

当 $R_x = 0$ 时, 流过表头的电流正好是满偏电流, 即

$$I = I_m = \frac{U_s}{R_0 + R_l}$$

则限流电阻 $R_l = U_s / I_m - R_0$, 在这种线路中, 欧姆表的刻度盘具有反

向和不均匀刻度的特性: 当被测电阻 $R_x = 0$ 时, 刻度是指针满偏位置; 当 $R_x \rightarrow \infty$ 时, 刻度是指针零的位置; 在电流接近零时, R_x 的变化对 I 的影响较小, 度盘上刻线比较密, 在电流接近满偏时, R_x 的变化对 I 的影响较大, 度盘上刻线比较稀, 当被测电阻 R_x 等于 $R_0 + R_l$ 时, $I_x = I_m / 2$, 表头指针恰好指在刻度盘中心, 因而将此阻值称为中值电阻 R_m 。显然中值电阻 R_m 越小, 欧姆表右半部分的分度值就越小, 因此使用欧姆表测量电阻时主要用分度盘的右半部和中心附近。

欧姆表一般具有多个中值电阻, 如 $R_m \times 1$ 、 $R_m \times 10$ 、 $R_m \times 100$ 等, 为保证在各种中值电

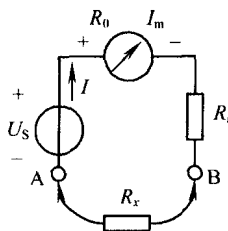


图 1.2-1 欧姆表原理图

阻情况下, 当 $R_x = 0$ 时流过表头的电流均为表头的满偏电流 I_m , 必须与表头并联分流电阻 R_{S1} 、 R_{S2} 、 R_{S3} 。图 1.2-2 示出一个具有三个中值电阻 $R_m \times 1$ 、 $R_m \times 10$ 、 $R_m \times 100$ 的欧姆表电路, 图中, R_{S1} 、 R_{S2} 、 R_{S3} 为分流电阻, R_{I1} 、 R_{I2} 、 R_{I3} 为限流电阻, U_s 通常使用 1.5V 的干电池, 但该电池用久了电压 U_s 会逐渐下降, 在测量相同数值的 R_x 时, 流过表头的电流就会不一样, 从而产生测量误差。为此, 用一个可调电阻 R 与表头串联, 在 U_s 降低时减小 R 值, 以减小测量误差。所以使用欧姆表测量电阻前, 要先将 R 调到合适的数值。调节方法是: 将欧姆表的外接两端钮短路, 调节可调电阻 R , 使指针指向零刻度。这一操作称为“欧姆挡调零”。在使用欧姆表测量电阻时, 必须首先进行“欧姆挡调零”。

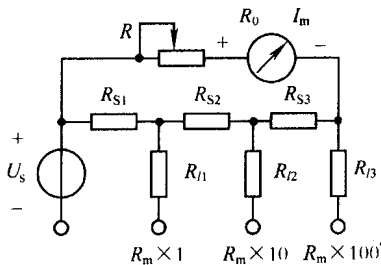


图 1.2-2 欧姆表电路

设计如图 1.2-2 所示欧姆表电路的方法是:

- 1) 根据给定的 R_m 、 U_s 、 R 和 R_0 、 I_m 的值, 计算出分流电阻 R_{S1} 、 R_{S2} 和 R_{S3}

$$\left(\frac{U_s}{R_m} - I_m \right) R_{S1} = I_m (R + R_0 + R_{S3} + R_{S2})$$

$$\left(\frac{U_s}{10 \times R_m} - I_m \right) (R_{S1} + R_{S2}) = I_m (R + R_0 + R_{S3})$$

$$\left(\frac{U_s}{100 \times R_m} - I_m \right) (R_{S1} + R_{S2} + R_{S3}) = I_m (R + R_0)$$

解上述三个联立方程, 可求得 R_{S1} 、 R_{S2} 和 R_{S3} 。

- 2) 计算三个限流电阻 R_{I1} 、 R_{I2} 和 R_{I3} 。

由 $1 \times R_m = R_{S1} // (R + R_0 + R_{S3} + R_{S2}) + R_{I1}$, 得出

$$R_{I1} = 1 \times R_m - R_{S1} // (R + R_0 + R_{S3} + R_{S2})$$

同理

$$R_{I2} = 10 \times R_m - (R_{S1} + R_{S2}) // (R + R_0 + R_{S3})$$

$$R_{I3} = 100 \times R_m - (R_{S1} + R_{S2} + R_{S3}) // (R + R_0)$$

如设定: $U_s = 1.5V$, $R_m = 12\Omega$, $R = 100\Omega$, $R_0 = 160\Omega$, $I_m = 1mA$, 上述分流电阻和限流电阻均可计算出来。

3. 实验设备

- (1) 恒压源 (双路 0~30V 可调)。
- (2) 磁电式表头 1mA、160 Ω , 倍压电阻和分流电阻, 电位器。

4. 实验内容

(1) 设计、制作欧姆表 在图 1.2-2 电路中, 设定: $U_s = 1.5V$, $R_m = 12\Omega$, $R = 100\Omega$, $R_0 = 160\Omega$, $I_m = 1mA$, 设计、制作具有三个中值电阻 $R_m \times 1$ 、 $R_m \times 10$ 、 $R_m \times 100$ 的欧姆表电路, 其中, U_s 用恒压源的可调电压输出端, R 用 100 Ω 的电位器, 分流电阻和限流电阻均用电阻箱中的电阻。

(2) 绘制刻度盘并校验欧姆表 用制作的欧姆表测量电阻箱中的 12 Ω 、120 Ω 和 1200 Ω 的电阻, 检查指针是否在表头刻度盘的中心。并用电阻箱的不同电阻值, 绘制欧姆表的刻度盘。

5. 实验注意事项

(1) 磁电式表头有正、负两个连接端，电路中一定要保证电流从正端流入，否则，指针将反转。

(2) 欧姆表的表头和分流电阻要可靠连接，不允许分流电阻断开。

6. 思考题

(1) 欧姆表的刻度盘为什么具有反向和不均匀刻度的特性？

(2) 什么是中值电阻？当被测电阻等于中值电阻时，表头指针在什么位置？

(3) 根据实验要求，设计欧姆表的测量电路，计算出分流电阻和限流电阻。

7. 实验报告要求

(1) 画出具有三个中值电阻 $R_m \times 1$ 、 $R_m \times 10$ 、 $R_m \times 100$ 的欧姆表电路，标明限流电阻和分流电阻的阻值。

(2) 绘制欧姆表的刻度盘。

(3) 写出欧姆表的校验报告。

1.3 电阻元件伏安特性的测定

1. 实验目的

(1) 掌握线性电阻、非线性电阻元件伏安特性的逐点测试法。

(2) 学习恒电源、直流电压表、电流表的使用方法。

2. 实验原理

任一二端电阻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 $U=f(I)$ 来表示，即用 $U-I$ 平面上的一条曲线来表征，这条曲线称为该电阻元件的伏安特性曲线。根据伏安特性的不同，电阻元件分两大类：线性电阻和非线性电阻。线性电阻元件的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线，如图 1.3-1a 所示，该直线的斜率只由电阻元件的电阻值 R 决定，其阻值为常数，与元件两端的电压 U 和通过该元件的电流 I 无关；非线性电阻元件的伏安特性是一条经过坐标原点的曲线，其阻值 R 不是常数，即在不同的电压作用下，电阻值是不同的。如非线性电阻元件、普通二极管、稳压二极管等，它们的伏安特性如图 1.3-1b、c、d 所示。在图 1.3-1 中， $U>0$ 的部分为正向特性， $U<0$ 的部分为反向特性。

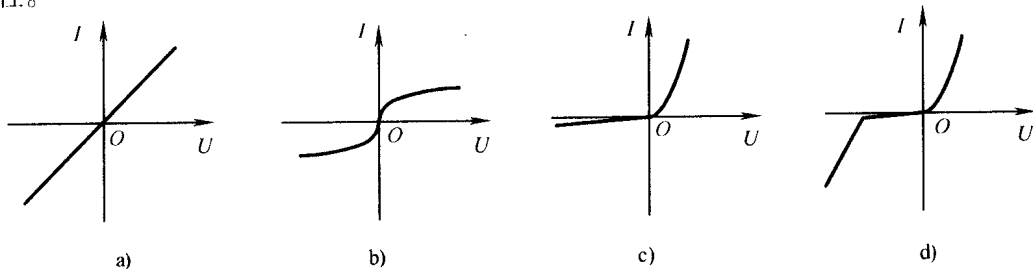


图 1.3-1 电阻伏安特性曲线

a) 线性电阻元件 b) 非线性电阻元件
c) 普通二极管 d) 稳压二极管