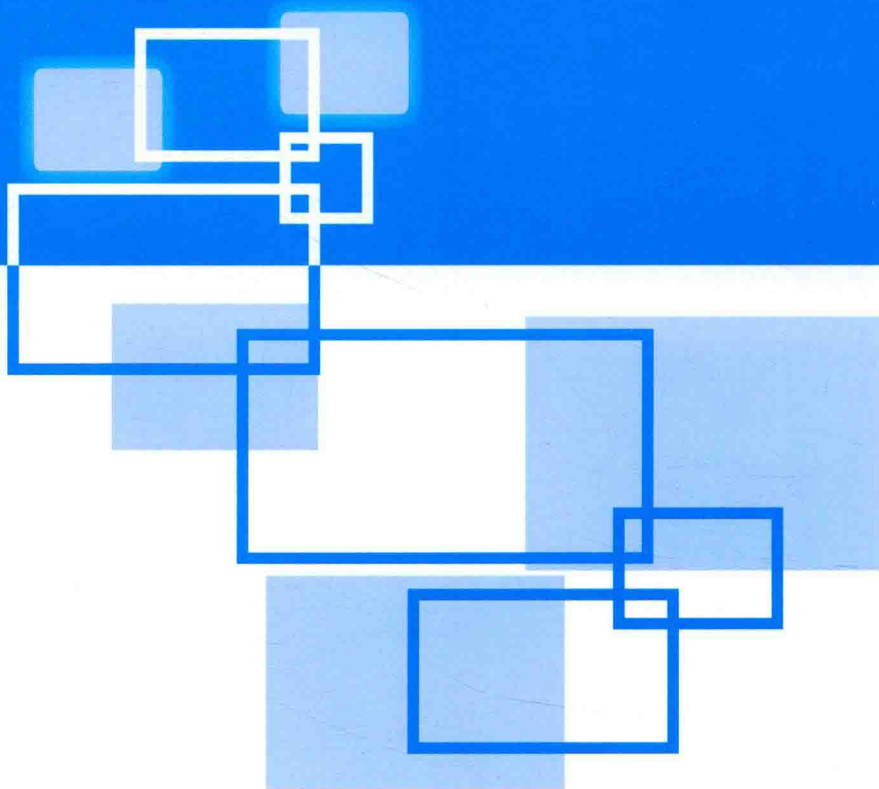


电路实验指导书

洪秋媛 主编



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

课外借

电路实验指导书

主 编：洪秋媛



武汉理工大学出版社

• 武汉 •

内容简介

电路实验是电类专业整个电路教学过程中一个十分重要的环节,其目的是通过实验和实际操作获得必要的感性认识,进一步掌握和巩固所学的理论知识。本书主要包括两部分内容,一部分是基础验证性实验,一部分是设计性实验。通过本课程的学习,了解常用电路元器件以及学会常用的电子仪器设备的使用方法,培养学生的实验技能;提高独立分析和解决问题的能力;学会处理实验数据、分析实验结果、撰写实验报告。

图书在版编目(CIP)数据

电路实验指导书 / 洪秋媛主编. —武汉:武汉理工大学出版社, 2018.1
ISBN 978-7-5629-5720-1

I. ①电… II. ①洪… III. ①电路-实验 IV. ①TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 013760 号

项目负责人:张淑芳

责任编辑:王 体

责任校对:丁 冲

封面设计:付 群

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.wutp.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:6.5

字 数:109 千字

版 次:2018 年 3 月第 1 版

印 次:2018 年 3 月第 1 次印刷

印 数:2000 册

定 价:18.00

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87785758 87391631 87165708(传真)

• 版权所有 盗版必究 •

前 言

电路实验是整个电路教学过程中一个十分重要的环节,其目的是通过实验和实际操作获得必要的感性认识,进一步掌握和巩固所学的理论知识;学习常用仪器、仪表的使用方法;培养学生的实验技能;提高独立分析和解决问题的能力;学会处理实验数据、分析实验结果、撰写实验报告;培养严谨的科学态度和严肃认真的工作作风。所以电路实验是将理论知识转化为应用技术,并用理论知识指导实践的重要手段。

本书主要包括两个方面的内容:基础实验和设计性实验。通过本书的教学内容的学习,学生可以掌握以下技能:

1. 认识常用电子元器件,并能通过测量工具或直接读出元器件的参数;
2. 学会使用常用的电子仪器,如:直流稳压电源、交直流电压表、交直流电流表、万用表、功率因数表等;
3. 通过实验对所学理论知识进行验证,根据某种要求自行设计电路和参数,自己连接线路并合理安排实验步骤;
4. 在实验过程中如果出现故障,能够根据自己掌握的理论和实践经验排除故障,从而具备分析问题和解决问题的能力;
5. 能够处理工作和生活中常见的有关电气方面的故障;
6. 提高实验数据的分析和处理能力。

本书由洛阳理工学院洪秋媛老师担任主编。书中第一部分由洪秋媛老师编写,第二部分由洛阳理工学院李婧老师编写。在编写本书的过程中得到了有关老师的帮助,提出了许多宝贵的建议,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,时间仓促,书中存在的不足和疏漏,敬请读者批评指正。

编 者

2017年12月

目 录

第一部分 基础实验	(1)
1.1 电路元件伏安特性的测定	(3)
1.2 基本电工仪表的使用与测量误差计算	(8)
1.3 基尔霍夫定律的验证	(15)
1.4 叠加原理的验证	(19)
1.5 电压源与电流源及其等效转换以及最大功率传输的条件	(23)
1.6 戴维南定理的验证——有源二端网络等效参数的测定	(30)
1.7 受控源特性测试	(35)
1.8 RC 一阶电路时域响应分析	(42)
1.9 双口网络实验测试	(48)
1.10 RLC 串联谐振电路测试	(55)
1.11 日光灯电路的测量及功率因数提高	(60)
1.12 三相交流电路的测量	(65)
1.13 三相电路功率的测量	(70)
1.14 互感电路的测量	(74)
第二部分 设计性实验	(80)
2.1 电路电位的研究	(80)
2.2 用谐振法测量互感线圈参数	(82)
2.3 RC 选频网络特性研究	(84)
2.4 三相电路功率因数及相序的测量	(86)
2.5 移相电路的设计与测试	(88)
2.6 延迟开关设计	(92)
2.7 提高电感性负载的功率因数	(95)

第一部分 基础实验

本部分实验的主要目的是使学生了解电路实验台的结构,学习基本的电路连接方法以及常用的电工仪器、仪表的使用方法,并对所学的一些电路基本原理和定理进行验证。

为了保证顺利、无误地完成实验,保证人身和设备的安全以及良好的实验教学秩序,请遵守以下守则:

1. 必须在实验前对学生进行安全教育和爱护仪器设备的教育。
 2. 学生连接好线路或改接好线路后,必须经过教师检查无误后方可接通电源,开始实验。
 3. 严禁带电接线、拆线或接触带电线路的裸露部分以及机器的转动部分。
 4. 实验室内严禁吸烟、打闹、大声喧哗、随地吐痰和吃东西。禁止蹬、坐仪器设备、实验桌等。
 5. 正确使用仪器设备。仪器设备正在运转时,实验人员不得离开现场。
 6. 学生在做实验时,一定要爱护所用的各种仪器设备。首先检查一下所用仪器是否齐全、完好,熟悉它们的性能和使用方法。注意所选用的仪表量程是否合适,不清楚的地方向老师请教,切不可盲目行动。若由于学生不按老师要求行事而造成设备损坏,由肇事者照价赔偿。
 7. 若发生安全事故,必须立即切断电源,保护现场,及时向老师报告,以便查明原因酌情处理。
 8. 实验工作结束后先切断电源,暂时不拆线路,认真检查实验内容和实验结果,确认没有遗漏和错误后请老师检查签字,再拆除实验线路,将实验设备恢复原位,整理导线,清理实验桌面并填写记录本。
- 为了达到更好的实验教学效果,实验之前要认真做好预习,实验之后写出实验报告。

实验预习要求

1. 进行实验前阅读实验指导书及与本实验有关的参考资料,明确实验要求,做好实验准备。

2. 预习时应搞清楚实验中所用的仪器、仪表的技术数据及使用方法。

3. 针对实验内容和实验方法进行充分的讨论,写出书面预习报告。

4. 预习报告应该简明扼要。通常包括以下几个部分:

(1) 实验内容和顺序;

(2) 实验线路图;

(3) 主要操作步骤和注意事项;

(4) 实验时应具备什么条件,测量哪些数据。

5. 预习时设计出实验记录表格,以备实验记录数据时使用。原始记录中应包括实验内容,实验条件,测量内容,读数单位等。

编写实验报告是将实验结果进行归纳、总结、分析和提高的阶段。实验报告应按实验指导书的要求,根据实验原始记录编写,在规定日期内交给老师。

实验报告应由个人独立完成,并附上老师签字后的原始记录。实验报告应做到字迹工整,数据、曲线符合要求。

实验报告内容

1. 实验名称;

2. 实验目的;

3. 实验器材;

4. 实验内容和相应的实验电路图;

5. 整理数据及绘制曲线。

将理论分析与实验结果进行比较,对实验结果和实验中的现象进行分析,并作出结论或评论。实验中如有故障发生,应在报告中写明故障现象,分析故障产生的原因。阐明排除故障的措施和方法,吸取教训,提高实验技能。

1.1 电路元件伏安特性的测定

1.1.1 实验目的

- (1) 学会识别常用电路元件的方法；
- (2) 掌握几种元件的伏安特性的测试方法；
- (3) 测定理想电压源和实际电压源伏安特性；
- (4) 学习常用电工仪表和设备的使用方法；
- (5) 掌握绘制曲线的方法。

1.1.2 实验基本知识

(1) 在电路中,电路元件的特性一般用该元件的电压 U 与通过该元件的电流 I 之间的函数关系 $U = f(I)$ 来表示,这种函数关系称为该元件的伏安特性,有时也称为外部特性。对于电源的外部特性则是指它的输出端电压和输出电流之间的关系,通常这些伏安特性电压 U 和电流 I 分别作为纵坐标和横坐标绘成曲线,这种曲线称作伏安特性曲线或外特性曲线。

(2) 电阻元件伏安特性

线性电阻的伏安特性为一条通过原点的直线,如图 1.1(a) 所示。说明通过元件的电流与元件两端的电压成正比。

(3) 非线性电阻元件(半导体二极管)伏安特性

非线性电阻元件(半导体二极管)的伏安特性为一条曲线,其特性曲线如图 1.1(b) 所示。当给半导体二极管加正向偏置电压时,则有正向电流流过二极管,且随正向偏置电压的增大而增大。开始时电流随电压变化较慢,当正向偏置电压增加到接近二极管的导通电压(一般锗管的导通电压为 $0.2 \sim 0.3\text{V}$,硅管的导通电压为 $0.5 \sim 0.7\text{V}$) 时电流明显变化。在导通后电压的微小变化,就会引起电流急剧变化。而反向电压从零一直增加到十几至几十伏时,其反向电流增加很小,粗略地可视为零。可见,二极管具有单向导电性,但反向电压加得过高,超过二极管的极限值,则会导致二极管被击穿损坏。

(4) 一个直流稳压电源在一定的电流范围内,具有很小的内阻。故在实际应

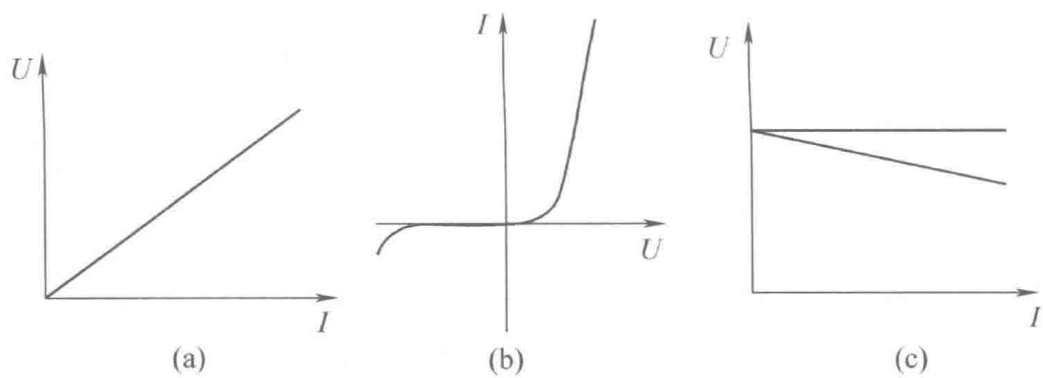


图 1.1

用中,常将它视为一个理想的电压源,即其输出电压不随负载电流而变化。其外特性曲线,即其伏安特性曲线 $U = f(I)$ 是一条平行于 I 轴的直线,如图 1.1(c) 所示。

(5) 一个实际的电压源,其端电压(或输出电流)不可能不随负载变化,因它具有一定的内阻值。故在实验中,用一个小阻值的电阻(或大电阻)与稳压源串联来模拟一个实际的电压源。其输出电压随负载电流增加而变小。其外特性曲线,即其伏安特性曲线 $U = f(I)$ 是一条随电流增加而电压减小的斜线。

1.1.3 仪表设备及器材(表 1.1)

表 1.1 仪表设备及器材

名 称	数 量
晶体管直流稳压电源	1
直流电流表	1
直流电压表	1
可调电阻	1
电阻、二极管	若干

1.1.4 实验内容及步骤

(1) 测定线性电阻的伏安特性

按图 1.2 连接线路,依次调节稳压电源的输出电压,原始数据为表 1.2 中数值,测量相应的电流值并记入表中。

(2) 测定半导体二极管的伏安特性曲线

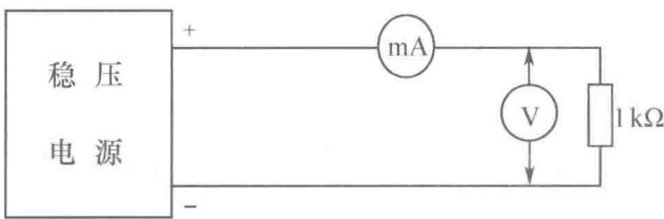


图 1.2

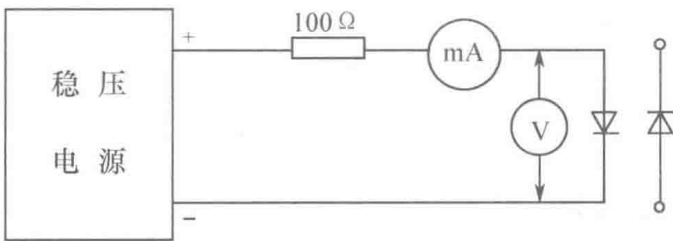


图 1.3

正向特性。按图 1.3 连接线路，测量二极管的正向特性时其正向电流不得超过 25mA，二极管的正向压降在 0 ~ 0.75V 之间取值。记下相应的电流值并填入表 1.3 中。

反向特性。作反向特性实验时，只需将图 1.3 中的二极管反接，其反向电压可增加至 30V。记下相应的电流值并填入表 1.4 中。

(3) 测定理想电压源的伏安特性

直流稳压电源，其内阻很小，可作为理想的电压源。按图 1.4 线路连接好后，接通晶体管稳压电源，调节输出电压 $U_s = 10V$ ，再调节可变电阻 R_L ，使直流电流表读数分别为表 1.5 中数据，将相应的电压数据填入表 1.5 中。

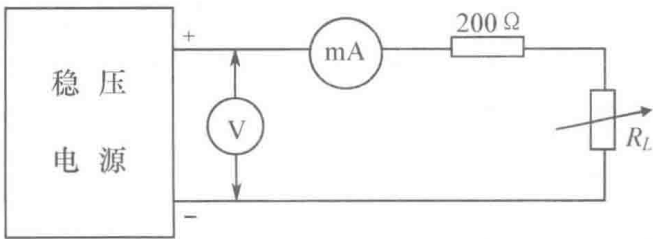


图 1.4

(4) 测定实际电源内阻及伏安特性

晶体管直流稳压电源和一个 51Ω 的电阻串联，作为一个实际电压源。按图 1.5 连接线路，当负载 R_L 开路时调节稳压电源的输出电压 $U = 10V$ ，再调节负载，当电流表的数值分别为表 1.6 中的数值时，将相应的电压、电流数值写入表

1.6 中,并计算相应的功率值。

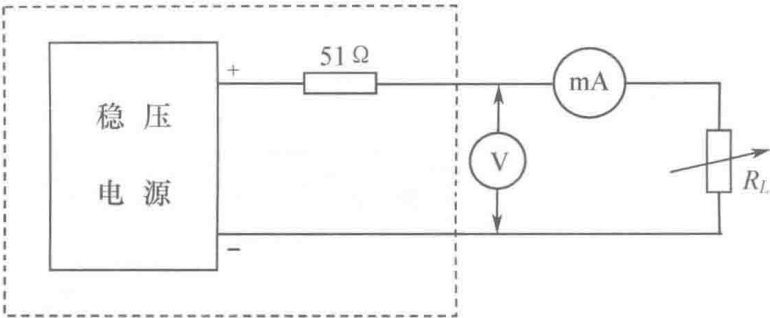


图 1.5

1.1.5 实验数据(表 1.2 ~ 表 1.6)

表 1.2 线性电阻的伏安特性

$U(V)$	0	2	4	6	8	10
$I(mA)$						

表 1.3 二极管的伏安特性(正向特性)

$U(V)$	0	0.25	0.5	0.6	0.7	0.75
$I(mA)$						

表 1.4 二极管的伏安特性(反向特性)

$U(V)$	0	-5	-10	-15	-20	-30
$I(mA)$						

表 1.5 理想电压源的伏安特性

$I(mA)$	0	10	20	30	40	50
$U(V)$	10					

表 1.6 实际电压源的伏安特性

$I(mA)$	0	40	80	120	150	170
$U(V)$	10					
$R_L(\Omega)$	开路					
$P_L(W)$						

1.1.6 注意事项

- (1) 实验时,电流表应串联在电路中,电压表应并联在被测元件上,正负极切勿接错。
- (2) 合理选择量程,切勿使测量仪表量程小于被测电路中电压和电流的值。
- (3) 稳压电源输出应由小至大调节。
- (4) 测二极管正向特性时,稳压电源输出应由小至大逐渐增加,应时刻注意电流表读数不得超过 35mA。稳压源输出端切勿碰线短路。

1.1.7 实验报告

- (1) 根据各次实验测得的数据,在坐标纸上分别绘出各元件的伏安特性。
- (2) 分析测量结果。根据实验结果,总结、归纳被测各元件的特性。
- (3) 分析半导体二极管的伏安特性,观察其现象并说明原因。
- (4) 完成表格中数据的计算,对误差作必要的分析。
- (5) 实验的心得体会。

思考题

- (1) 用电压表和电流表测量元件的伏安特性时,电压表可接在电流表之前或之后,两种线路接法对测量误差有何影响?
- (2) 计算负载电阻 R_L 各值消耗的功率 P_L ,并画出功率随 R_L 变化的曲线。
- (3) 线性电阻与非线性电阻的概念是什么?电阻器与二极管的伏安特性有何区别?
- (4) 如何减小测量误差?

1.2 基本电工仪表的使用与测量误差计算

1.2.1 实验目的

- (1) 熟悉常用的基本电工仪表的使用方法与注意事项；
- (2) 熟悉电压源与电流源的使用与注意事项；
- (3) 掌握电压表、电流表内电阻的测量方法；
- (4) 熟悉减小电工仪表测量误差的方法。

1.2.2 实验基本知识

(1) 实验中经常要测量电路各部分的电压、电流或功率。通常用各种型号的直读式指示仪表与被测电路作适当连接就可读出被测的值。

电压表在测量电路中某两节点之间的电压时应与两节点并联；电流表在测量电路中某一支路电流时应与该支路串联；同样，功率表在测量某一负载功率时，它的电压回路应与负载两端并联，它的电流回路应与负载串联。

为了较准确地测量出电路中实际的电压、电流或功率值，首先要保证仪表接入电路后不会改变被测电路原来的状态。这就要求电压表的内阻无限大，电流表的内阻为零，功率表的电压回路内阻为无限大，电流回路内阻为零。

实际使用的电工仪表一般不可能满足上述要求，它们都有一定值的内阻，因此当仪表接入电路时都会对电路原来的状态产生影响，使被测量的读数值与电路原来实际值之间产生测量误差。

(2) 上述测量误差的大小与仪表内阻的大小密切相关，因此在测量前熟悉所使用的仪表的内阻对提高测量结果的准确度有重要意义。

电工仪表内阻的表示形式有如下几种：

对于电流表：

① 直接标明每个量程的内电阻值。

② 间接标明每个量程即满刻度时的电压降，然后根据标度电流值由欧姆定律计算出该量程时的内电阻值。

对于电压表：

① 直接标明每个量程的内电阻值；

② 间接标明每个量程单位电压时的内电阻值，该量程的总内电阻值可根据灵敏度计算得出。单位电压的内电阻也称电压表的灵敏度。

测量电工仪表内阻的方法较多。本实验中测量电流表内阻用“分流法”，如图 1.6 所示。图中 A 为被测内阻的电流表， R_A 为其内阻值， R 为可调电阻。

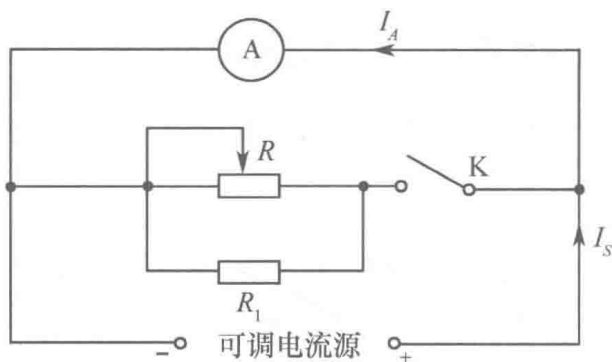


图 1.6

测量时先打开开关 K，调节电流源输出电流，使万用表电流 20mA 的挡满标值，然后保持电流源输出电流 I_S 不变，并合上开关 K。调节电阻的阻值使电流表的读数为半标值。

这是由于 $I_S = I_{Am}$ ， I_{Am} 为电流表是某一量程时的满标电流值。

$$I_A = \frac{1}{2} I_S = \frac{1}{2} I_{Am}$$

由于图 1.6 中两支路并联，所以流过电流相同时两支路的电阻值一定相同，即可得电流表的内阻值 R_A

$$R_A = \frac{RR_1}{R + R_1}$$

R_1 与 R 并联，且 R_1 选用小电阻值，以接近万用表 20mA 挡的内阻为宜， R 选用较大电阻，则阻值调节可比单只电阻箱本身更细微平滑。

测量万用表电压挡的内电阻也可用“分压法”，如图 1.7 所示。 R_V 为其内电阻， R 为可调电阻箱。 R_1 为固定电阻，以接近万用表 20V 挡的内阻为宜。测量时先将开关 K 闭合，调节电压源输出电压使被测电压表指针显示某一量程挡的满标值 U_1 ，然后打开 K。

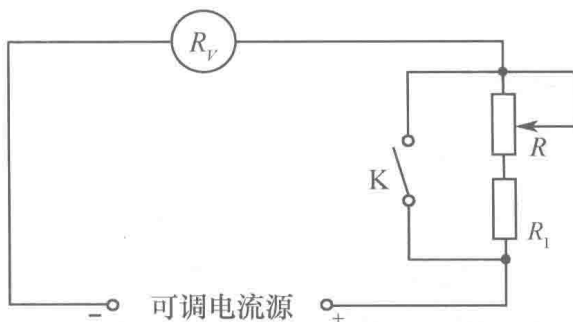


图 1.7

R 、 R_1 串联后再与电压表串联,电压源输出电压保持不变,调节 R 使电压表指示值为 $\frac{1}{2}U_1$,根据串联电阻回路中电压降与电阻成正比的原理可知 $R_V = R + R_1$,电压表的灵敏度 $S = R_V/U_1$ 。

(3) 由于测量仪表存在内阻,所以仪表的测量误差除了仪表本身构造引起的误差(通常称为仪表基本误差)外,还必须注意由于仪表内阻不理想而引入的误差(一般称为方法误差)。如果暂不考虑仪表的基本误差,以下面的电路来说明方法误差的计算:

在图 1.8 所示电路中,两个电阻 R_1 及 R_2 串联后接至稳压电源,如调节稳压电源的输出为 U ,则 R_1 上的电压应为:

$$U_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad (1.1)$$

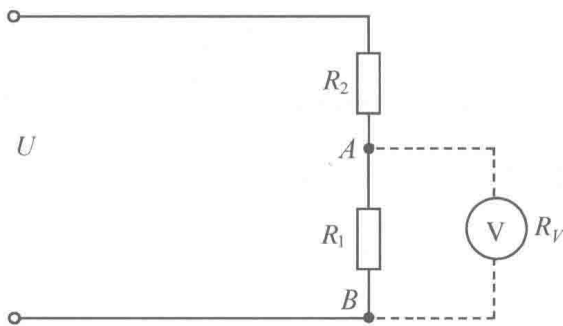


图 1.8

现用一内阻为 R_V 的电压表来测量 U_{R_1} ,当电压表与 R_1 并联后,A、B 两点间电阻变为:

$$R_{AB} = \frac{R_1 R_V}{R_1 + R_V}$$

用电压表测到的 R_1 上的电压变为:

$$U'_{R_1} = \frac{R_{AB}}{R_2 + R_{AB}} U = \frac{\frac{R_1 R_V}{R_1 + R_V}}{R_2 + \frac{R_1 R_V}{R_1 + R_V}} U \quad (1.2)$$

仪表的读数 U_{R_1} 显然偏离了实际值 U'_{R_1} , 偏离的程度一般与被测电路元件参数和仪表内阻相对大小有关。若 R_V 与 R_1 相差不大, 会给测量结果带来极大的误差。

绝对误差 $\Delta U = U_{R_1} - U'_{R_1}$ 将式(1.1)、式(1.2)代入, 化简后得:

$$\Delta U = \frac{R_1^2 R_2}{R_V (R_1^2 + 2R_1 R_2 + R_2^2) + R_1 R_2 (R_1 + R_2)} \times U$$

相对误差:
$$e\% = \frac{U'_{R_1} - U_{R_1}}{U_{R_1}} \times 100\%$$

为了准确测量出实际电压、电流和功率, 必须研究下列两个方面的内容:

- ① 必须测量出仪表本身的内阻。
- ② 必须研究各种减小仪表内阻引入误差的测量法。

1.2.3 仪表设备及器材(表 1.7)

表 1.7 仪表设备及器材

名 称	数 量
稳压源	1
稳流源	1
直流电压表	1
指针式万用表	1
直流电流表	1
定值电阻、可变电阻	若干

1.2.4 实验内容及步骤

(1) 电流表内阻测量

根据分流法实验原理测量出万用表 20mA 电流挡的内电阻。

- ① 按图 1.6 接好实验电路, 将万用表置直流电流表 20mA 挡。
- ② 断开单刀开关 K, 将可调直流电流源的电流微调旋钮(预先必须置零)由

零缓慢调节至输出电流显示 20mA,直流电流表显示 20mA。

③ 保持电流源输出电流 $I_s = 20\text{mA}$,合上开关 K,调节可变电阻 R 的阻值,使万用表显示 10mA,将数据记入表 1.8 中,并计算出电流表内阻 R_A 。

(2) 电压表内阻测量

根据分压法实验原理测量出万用表直流电压 20V 挡,测 20V 挡内阻。

① 按图 1.7 接好实验电路,将万用表置直流电压表 20V 挡。

② 合上单刀开关 K,调节直流稳压电压源输出电压:先调电压粗调旋钮,再调电压微调旋钮(预先必须置零)由零缓慢调节至输出电压显示 20V,且万用表上直流电压表显示 20V,即 $U_1 = 20\text{V}$ 。

③ 保持电压源输出电压 U_1 不变,断开开关 K,调节可变电阻 R 的阻值,使万用表显示 10V,即 $\frac{U}{2} = 10\text{V}$ 。将数据记入表 1.9 中,并计算出电压表 20V 挡内阻。

(3) 电表内阻的测量误差

① 按图 1.8 接好实验电路,电路中 $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $R_2 = 500\Omega$, R_1 、 R_2 均用可变电阻调出。

② 外加电压 $U = 10\text{V}$,由稳压电压源调节输出,调节方法同(2)中 ② 的方法。

③ 用万用表直流电压 20V 挡测量 R_1 两端电压,读数记入表1.10 中,并计算出绝对误差和相对误差。

1.2.5 实验数据(表 1.8 ~ 表 1.0)

表 1.8 电流表内阻测量

被测电流表量程	K 打开时 电流 I_A	K 闭合时 电流 I_A	R	R_1	R/R_1	R_A
万用表 20mA 挡						
直流电流表 20mA 挡						