

(第二版)

电工实验

主 编 谭述芝
副主编 皮秀军 吕 洸

DIANGONG SHIYAN

电 工 实 验

(第二版)

主 编 谭述芝

副主编 皮秀军 吕 洸

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

电工实验 / 谭述芝主编. —2 版. —成都: 西南

交通大学出版社, 2017.4

ISBN 978-7-5643-5338-4

I. ①电… II. ①谭… 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 (2017) 第 056211 号

电工实验

(第二版)

主 编 / 谭述芝

责任编辑 / 李芳芳

特邀编辑 / 秦志慧

封面设计 / 原谋书装

西南交通大学出版社出版发行

(成都市金牛区二环路北一段 111 号创新大厦 21 楼 610031)

发行部电话: 028-87600564

网址: <http://www.xnjdcbs.com>

印刷: 成都蜀通印务有限责任公司

开本 185 mm × 260 mm

印张 7.5 字数 186 千

版次 2017 年 4 月第 2 版 印次 2017 年 4 月第 3 次

书号 ISBN 978-7-5643-5338-4

定价 19.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

实验教学是工科院校教学中的重要环节之一，通过实验，学生可以巩固并加深对基础理论知识的理解，培养独立分析问题、解决问题的能力 and 严谨的工作作风，尤其能提高学生的动手能力，以适应未来工作的需要。

该实验指导书淡化了电类和非电类的传统界限，将电路分析、电工技术、电气测量、电气控制课程的实验融为一体，并与相关课程密切配合，力求理论知识与工程实际紧密联系。在保留了传统基本实验的基础上，增加了综合性、设计性实验。通过实验，要求学生了解实验仪器仪表的基本工作原理，掌握其使用方法，初步具备自行拟定实验步骤、检查与排除一般故障、分析和综合实验结果，以及撰写实验报告的能力。

实验包括实验目的、实验原理、实验设备、实验内容、预习要求、实验注意事项和思考题等。实验原理主要结合实验内容概括介绍基本工作原理及实验方法。为了达到预期的实验目的，要求学生在实验前，按每个实验的具体要求认真预习，在实验过程中严格按照科学的操作方法进行实验，做好原始数据记录，实验结束后认真撰写实验报告。撰写实验报告是培养科学实验基本技能的重要环节，报告内容应包括实验目的、实验任务、实验所用的仪器仪表、实验电路、实验数据与波形、实验结果的分析与讨论，以及每个实验对实验报告的具体要求等。报告还必须附有实验数据与波形原始记录。

为满足教学需要，对本书内容做了改编和适当增补，书中实验 1、2、6、7、9、10、11、15、16、17、18、19、20、25、26、27、28 由重庆公共运输职业学院谭述芝改编并负责全书统稿，实验 13、14、21、22、23、24 由重庆公共运输职业学院皮秀军改编，实验 3、4、5、8、12 由重庆公共运输职业学院吕泷改编。

本书所有的图由重庆公共运输职业学院寇亚南绘制。

由于编者水平有限，疏漏之处在所难免，恳请读者予以指正。

编 者

2017 年 2 月

第一版前言

实验教学是工科院校教学中的重要环节之一，通过实验，学生可以巩固并加深对基础理论知识的理解，培养独立分析问题、解决问题的能力和严谨的工作作风，尤其能提高学生的动手能力，以适应未来工作的需要。

该实验指导书淡化了电类和非电类的传统界限，将电路分析、电工技术、电气测量、电气控制课程的实验融为一体，并与相关课程密切配合，力求理论知识与工程实际紧密联系。在保留了传统基本实验的基础上，增加了综合性、设计性实验。通过实验，要求学生了解实验仪器仪表的基本工作原理，掌握其使用方法，初步具备自行拟定实验步骤、检查与排除一般故障、分析和综合实验结果，以及撰写实验报告的能力。

实验包括实验目的、实验原理、实验设备、实验内容、预习要求、实验注意事项和思考题等。实验原理主要结合实验内容概括介绍基本工作原理及实验方法。为了达到预期的实验目的，要求学生在实验前，按每个实验的具体要求认真预习，在实验过程中严格按照科学的操作方法进行实验，做好原始数据记录，实验结束后认真撰写实验报告。撰写实验报告是培养科学实验基本技能的重要环节，报告内容应包括实验目的、实验任务、实验所用的仪器仪表、实验电路、实验数据与波形、实验结果的分析与讨论，以及每个实验对实验报告的具体要求等。报告还必须附有实验数据与波形原始记录。

本书所有的图由重庆公共运输职业学院寇亚南绘制。

由于编者水平有限，疏漏之处在所难免，恳请读者予以指正。

编者

2012年10月

目 录

实验 1	基本电工仪表的使用与测量误差的计算	1
实验 2	常用仪器仪表的使用	5
实验 3	电路元件伏安特性的测量	8
实验 4	基尔霍夫定律、叠加原理	12
实验 5	戴维南定理和诺顿定理的验证	15
实验 6	受控源的实验研究	19
实验 7	R, L, C 元件伏安特性的测量	25
实验 8	提高功率因数的研究	28
实验 9	R, L, C 串联谐振电路的研究	31
实验 10	R, L, C 并联谐振电路的研究	34
实验 11	互感电路的研究	37
实验 12	RC 选频网络特性的研究	41
实验 13	三相交流电路中电压、电流的测量	45
实验 14	三相电路功率的测量	49
实验 15	单相铁芯变压器特性的测试	54
实验 16	一阶 RC 电路过渡过程的研究	58
实验 17	二阶电路过渡过程的研究	63
实验 18	二端口网络参数的测定	67
实验 19	负阻抗变换器的研究	71
实验 20	回转器特性测试	76
实验 21	三相异步电动机点动和自锁控制	80

实验 22 三相异步电动机正、反转控制 84

实验 23 三相异步电动机 Y-Δ 降压启动控制 88

实验 24 三相异步电动机的能耗制动控制 92

实验 25 单相电度表的使用与校验 95

实验 26 三相电源相序的判断及负载功率因数的测定 99

实验 27 减小仪表测量误差的方法 102

实验 28 多量程电压表、电流表的设计 108

参考文献 112

实验 1 基本电工仪表的使用与 测量误差的计算

一、实验目的

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

二、实验原理

通常，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有一定的内阻，分别用 R_V 和 R_A 表示。如图 1.1 所示，测量电阻 R_2 两端的电压 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。如果要测量电路的电流 I ，电流表必须串入电路，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发生变化，使被测的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，称为方法误差。而方法误差的大小决定于仪表本身内阻的大小。

通常用下列方法测量仪表的内阻。

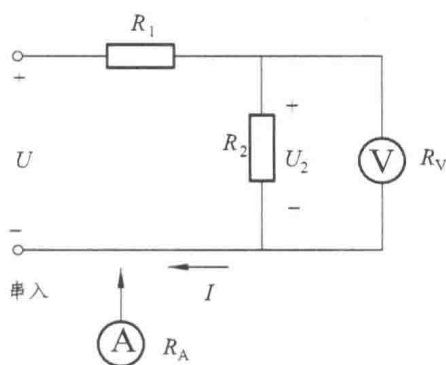


图 1.1

1. 用“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 ，测试电路如图 1.2 所示。首先断开开关 S，调节恒流源的输出电流 I ，使电流表的指针达到满偏转，即 $I = I_A = I_m$ 。然后合上开关 S，并保持 I 值不变，调节电阻箱的阻值，使电流表的指针指在 1/2 满量程的位置，即 $I_A = I_R = I_m / 2$ ，则电流表的内阻 $R_A = R$ 。

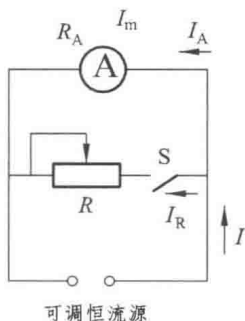


图 1.2

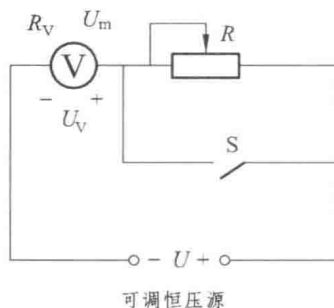


图 1.3

2. 用“分压法”测量电压表的内阻

设被测电压表的内阻为 R_V ，满量程电压为 U_m ，测试电路如图 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 $U_V = U_R = U_m / 2$ ，则电压表的内阻 $R_V = R$ 。

在图 1.1 电路中，由于电压表的内阻 R_V 不是无穷大，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 $U_2 = \frac{U}{2}$ 。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，有

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

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

则得

绝对误差为

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

若 $R_1 = R_2 = R_V$ ，则得 $\Delta U = -\frac{U}{6}$ 。相对误差 $\Delta U\%$ 为

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

所以当电压表的内阻与被测电路的电阻相近时，测量误差是很大的。

三、实验设备

实验设备见表 1.1。

表 1.1 实验设备表

序 号	名 称	型号与规格	数 量	备 注
1	可调直流稳压电源	0 ~ 30 V	2	
2	可调恒流源	0 ~ 200 mA	1	
3	指针式万用表		1	
4	可调电阻箱	0 ~ 9 999.9 Ω	1	DGJ-05
5	电阻器		若干	DGJ-05

四、实验内容

1. 根据“分流法”原理测定直流表的内阻

实验电路如图 1.2 所示，其中 R 为电阻箱，直流电流表量程为 0.5 mA，5 mA，电源用可调恒流源，将实验数据记入表 1.2 中。

表 1.2 电流表内阻测量数据

被测表量程 (mA)	S 断开，调节恒流源，使 $I = I_A = I_m$ (mA)	S 闭合，调节电阻 R ，使 $I_R = I_A = I_m / 2$ (mA)	R (Ω)	计算内阻 R_A (Ω)
0.5				
5				

2. 根据“分压法”原理测定电压表 1 V 和 10 V 量程的内阻

实验电路如图 1.3 所示，其中 R 为电阻箱，电压表量程为 1 V，10 V，电源用可调恒压源，将实验数据记入表 1.3 中。

表 1.3 电压表内阻测量数据

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

3. 方法误差的测量与计算

实验电路如图 1.1 所示，其中 $R_1=510\ \Omega$ ， $R_2=330\ \Omega$ ，电源电压 $U=10\ \text{V}$ 。用直流电压表 $10\ \text{V}$ 挡量程测量 R_2 上的电压 U_2 之值，并计算测量的绝对误差和相对误差，将实验数据记入表 1.4 中。

表 1.4 方法误差的测量与计算

$R_V\ (\Omega)$	计算值 $U_2\ (\text{V})$	实验值 $U'_2\ (\text{V})$	绝对误差 $\Delta U=U_2-U'_2\ (\text{V})$	相对误差 $(\Delta U/U_2)\times 100\%$

五、实验注意事项

- (1) 实验台上的恒压源、恒流源可通过粗调（分段调）波段开关和细调（连续调）旋钮调节其输出量，在启动这两个电源时，先应使输出电压调节或电流调节旋钮置零位（逆时针旋到底），实验时再慢慢增大。
- (2) 恒压输出不能短路，恒流输出不能开路。
- (3) 电压表并联测量，电流表串联测量，同时应注意极性与量程。

六、思考题

(1) 图 1.4 (a)、(b) 所示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。

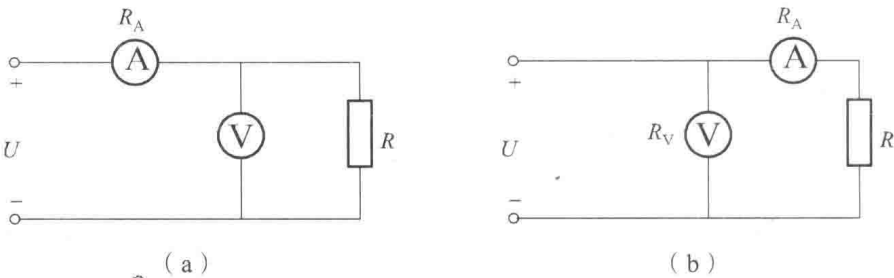


图 1.4

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

七、实验报告

- (1) 整理实验数据。
- (2) 分析实验结果，总结应用场合。
- (3) 回答思考题。

实验 2 常用仪器仪表的使用

一、实验目的

- (1) 通过本实验,大致了解示波器的工作原理,熟悉示波面板上的开关和旋钮的作用。初步学会示波器的一般使用方法。
- (2) 学习晶体管毫伏表的使用方法。
- (3) 学习信号发生器的使用方法。
- (4) 了解实验台上其他仪器仪表的功能与使用方法。

二、实验原理

- (1) 示波器是一种综合性的电信号特性测试仪。通过它可以直接显示出电信号的波形、幅值、频率以及两种同频率信号的相位差等。
- (2) 晶体管毫伏表是一种测量交流信号的专用交流电压表。其测量值为有效值,其特点是精确度高、量程范围广($0 \sim 300 \text{ V}$)。
- (3) 信号发生器是产生各种波形的信号电源,可输出正弦波、方波、脉冲波等。信号频率和输出幅度可通过旋钮和按键调节。

三、实验设备

- (1) 示波器, 1 台。
- (2) 晶体管毫伏表, 1 台。
- (3) 信号发生器, 1 台。

四、实验内容

- (1) 熟悉示波器、晶体管毫伏表和信号发生器的各主要开关和旋钮的作用。
 - ① 示波器置于扫描(连续)工作方式,接通电源并经预热以后,在示波器的荧光屏上调

出一条水平扫描亮线来。分别旋动【聚焦】、【辅助聚焦】、【亮度】、【标尺】、【垂直位移】、【水平位移】等旋钮，体会这些旋钮的作用和对水平扫描线的影响。

② 双踪示波器的自检。将示波器面板部分的“标准信号”接口，通过测量电缆接至示波器的 Y 轴输入接口 CH₁ 和 CH₂，调节各旋钮，使荧光屏上显示出线条细而清晰、亮度适中的方波波形，将时间扫描旋钮及幅值扫描旋钮调到“校准”位置，从荧光屏上读出信号的频率和幅值，并与标称值作比较。

③ 把信号发生器输出调到零值位置并接至示波器的输入端，然后打开信号发生器的电源开关，预热后再给定输出电压，在示波器的荧光屏上，调出被测信号的波形来。分别调节（或转换）示波器的水平扫描系统（X 通道）和垂直系统（Y 通道）的各个旋钮（或开关），体会这些旋钮（或开关）的作用以及对输入信号波形的形状和稳定性的影响。分别改变信号的幅值和频率，重复调节加以体会。

（2）用示波器测量给定信号电源的幅值和频率，把测出的频率与信号发生器的标称频率相比较。使信号发生器输出一正弦波信号，用示波器与晶体毫伏表测量其幅值，并进行换算比较。记下测量步骤和方法。

（3）测量同频率两信号的相位差。按图 2.1 接线，由信号发生器输出一给定正弦波电压，用示波器观察电容器的端电压 u_C 和流过电容器的电流 i_C 的波形。图中 r 为电流取样电阻， i_r 的波形即表示 i_C 的波形。然后用示波器测量 u_C 和 i_C 的相位差。改变信号源频率重复测量。

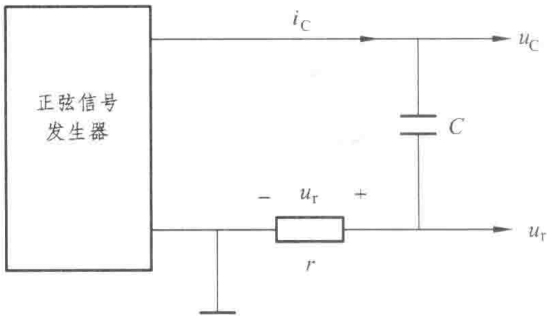


图 2.1

五、实验注意事项

（1）在大致了解示波器、晶体管毫伏表、信号发生器的使用方法以及各旋钮和开关的作用之后，再动手操作。使用这些仪器时，旋动各旋钮和开关不要用力过猛。

（2）用示波器观察信号发生器波形和用晶体管毫伏表测量信号发生器波形时，仪器仪表的公共地线要接在一起，以免引进干扰信号。

六、预习要求

示波器的结构较为复杂，面板上的开关和旋钮较多，而信号发生器、晶体管毫伏表又是

初次接触，因此，应在仔细听取教师针对具体仪器进行的讲解和演示后，再动手操作。

七、实验报告

- (1) 记录用示波器测得的各个波形，标明被测信号的幅值和频率。
- (2) 总结用示波器测量信号电压的幅值、频率和两个同频率的信号相位差的步骤和方法。
- (3) 总结用示波器与晶体管毫伏表测幅值的区别。

实验 3 电路元件伏安特性的测量

一、实验目的

- (1) 学会识别常用电路元件的方法。
- (2) 掌握线性电阻、非线性电阻元件伏安特性的测量。

二、实验原理

任何一个二端元件的特性可用元件上的端电压 U 与通过该元件的电流 I 之间的函数关系 $I = f(U)$ 来表示，即用 I - U 平面上的一条曲线来表征，这条曲线称为该元件的伏安特性曲线。

(1) 线性电阻器的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线，如图 3.1 中直线 a 所示，该直线的斜率等于该电阻器的电阻值。

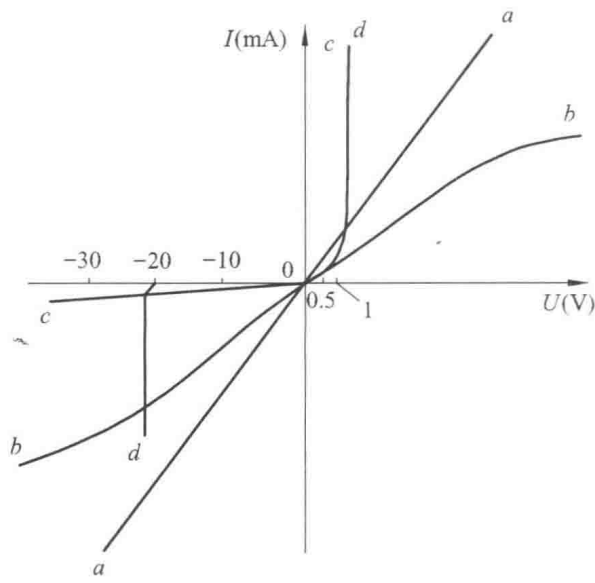


图 3.1

(2) 一般的白炽灯在工作时灯丝处于高温状态，其灯丝电阻随温度的升高而增大，通过白炽灯的电流越大，其温度越高，阻值也越大，一般灯泡的“冷电阻”和“热电阻”的阻值可相差几倍至十几倍，所以它的伏安特性如图 3.1 中 b 曲线所示。

(3) 一般半导体二极管是一个非线性电阻元件，其伏安特性如图 3.1 中 c 曲线所示。正向压降很小（一般锗管为 $0.2 \sim 0.3 \text{ V}$ ，硅管为 $0.5 \sim 0.7 \text{ V}$ ），正向电流随正向压降的升高而急剧上升，而反向电压从零一直增加到十多至几十伏时，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，则会导致管子击穿损坏。

(4) 稳压二极管是一种特殊的半导体二极管，其正向特性与普通二极管类似，但其反向特性较特别，如图 3.1 中 d 曲线所示。在反向电压开始增加时，其反向电流几乎为零，但当电压增加到某一数值时（称为管子的稳压值，有各种不同稳压值的稳压管）电流将突然增加，以后它的端电压将基本维持恒定，当外加的反向电压继续升高时其端电压仅有少量增加。

三、实验设备

实验设备见表 3.1。

表 3.1 实验设备表

序 号	名 称	型号与规格	数 量	备 注
1	可调直流稳压电源	$0 \sim 30 \text{ V}$	1	
2	万用表		1	
3	直流数字毫安表	$0 \sim 200 \text{ mA}$	1	
4	直流数字电压表	$0 \sim 200 \text{ V}$	1	
5	二极管	IN4007	1	DGJ-05
6	稳压管	2CW51	1	DGJ-05
7	白炽灯	$12 \text{ V}, 0.1 \text{ A}$	1	DGJ-05
8	线性电阻器	$200 \Omega, 1 \text{ k}\Omega/8 \text{ W}$	1	DGJ-05

四、实验内容

1. 测定线性电阻器的伏安特性

按图 3.2 接线，调节稳压电源的输出电压 U ，从 $0 \sim 10 \text{ V}$ 依次变化，将相应的电压和电流值记入表 3.2 中。

表 3.2 线性电阻测试数据

$U_{\text{R}} (\text{V})$	0	2	4	6	8	10
$I_{\text{R}} (\text{mA})$						

2. 测定非线性电阻白炽灯的伏安特性

将图 3.2 中的 R 换成一只 12 V, 0.1 A 的白炽灯, 测量 $U_{\text{灯}}$ 、 $I_{\text{灯}}$ 的值记入表 3.3 中。

表 3.3 非线性电阻白炽灯测试数据

$U_{\text{灯}} \text{ (V)}$	0.1	0.5	1	2	3	4	5
$I_{\text{灯}} \text{ (mA)}$							

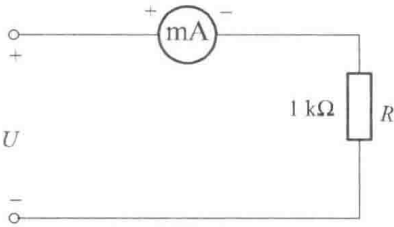


图 3.2

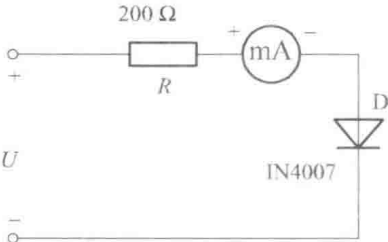


图 3.3

3. 测定半导体二极管的伏安特性

按图 3.3 接线, R 为限流电阻。测二极管的正向特性时, 其正向电流不得超过 35 mA, 二极管 D 的正向电压 U_{D+} 可在 0 ~ 0.75 V 取值。在 0.5 ~ 0.75 V 应多取几个测量点。测反向特性时, 只需将图 3.3 中的二极管 D 反接, 反向电压 U_{D-} 可达 30 V。将正向特性测试的数据记入表 3.4 中, 反向的数据记入表 3.5 中。

表 3.4 二极管正向特性测试数据

$U_{D+} \text{ (V)}$	0.10	0.30	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
$I_D \text{ (mA)}$								

表 3.5 二极管反向特性测试数据

$U_{D-} \text{ (V)}$	0 ~	-5	-10	-15	-20	-25	-30
$I_D \text{ (mA)}$							

4. 测定稳压二极管的伏安特性

反向特性: 将图 3.3 中的二极管换成稳压二极管 2CW51, 将测试数据记入表 3.6 中。

表 3.6 稳压二极管反向特性测试数据

$U_Z \text{ (V)}$	0.5	1.5	2.0	2.5	3.0	3.2	3.5	3.8	4.0
$I_Z \text{ (mA)}$									