

电路开放性实验指导书

焦作工学院电气系编写

专业_____

班级_____

姓名_____

前 言

电路实验指导书或实验讲义常见的很多，它们大多都以验证性实验为主，显然不能满足当前教学改革的需要。为强化工程实践训练，培养学生创新思维能力和实践能力我们在参考现有的电路实验讲义的基础上编写了这套《电路开放性实验指导书》。所谓“开放性实验”就是放开学生的手脚，让学生根据自己的特长和爱好选择实验内容、实验时间，给学生留有较大的自由发挥个人专长的空间。

这套《电路开放性实验指导书》将实验内容分为三个层次，即：基础性实验、提高性实验和综合设计性实验。通过基础性实验一方面使学生进一步巩固和掌握所学的基本理论，另一方面使学生学会常用电工仪表的正确使用，为后面的提高性实验和综合设计性实验奠定基础。提高性实验只提出实验要求和实验任务，让学生自己确定实验方法、步骤，自己设计实验线路、选择测量仪表和实验仪器。综合设计性实验，不仅要求学生自己设计电路、独立完成实验，有的要将实物做出来，还要完成科研论文形式的总结报告，以培养学生从事工程实际能力。如果说基础性实验和提高性实验是“演习性”训练，那么，综合设计性实验则是接近“真刀真枪”实践。

本书可作为自动化、电气工程及其自动化、电子信息工程等电类专业的电路课程实验指导书，也可作为机械、采矿、地质等非电类专业的电工技术实验教材，根据不同专业的需要选做不同的实验内容。

本书的编写方案由董爱华、康润生、付子义等商定，董爱华、康润生担任本书的主编。本书的提高性实验部分由康润生编写、综合设计性实验、前言等部分由董爱华编写，基础性实验由张宇华、李辉、王芳、张景颖、高娜、李端、王新掌、颜丙生编写。本书的附录部分由董爱华、苏守红、李玉东编写。

在本书的编写过程中得到了电气系领导的关心和帮助，系副主任付子义老师对本书的初稿进行了审阅，并提出了宝贵的修改意见。还得到了其他教师 and 中心实验室的大力支持，在此一并表示感谢。

教学改革是永恒的主题，开放性实验是发展的方向。编写开放性实验指导书只是我们的初步尝试，书中不妥之处，欢迎批评指正。

编 者
2002年8月

学生实验守则

1. 实验课前要认真阅读实验指导书，按照每个实验的要求做好必要的准备工作，写出预习报告。
2. 进入实验室，要保持室内安静、整洁。要注意文明形象，进实验室不准穿拖鞋、背心、短裤等。
3. 爱护仪器设备，不要随意拨弄旋钮，未经教师许可，不得擅自挪换。实验操作要谨慎，防止损坏仪器设备。
4. 接好线后，应仔细检查，确定连线无误方可接通电源。改换电路，必须先断电源。
5. 观察实验现象，记录实验数据，都要认真仔细，实事求是。实验完毕，经分析结果无误后方可拆线。
6. 注意人身和设备的安全，遇到事故或出现异常现象，应先关断电源，再进行分析和处理。
7. 实验室内仪器设备是国家财产，凡损坏仪器设备者应填写损失单。对违反操作规程而损坏设备者，要写出书面检查，找出事故原因，并保证今后不再发生类似事故。对情节严重，认识态度不好者，要按规定进行赔偿。

目 录

电路实验的基本要求	1
-----------------	---

第一部分 基础实验

实验一 电压表、电流表及万用表的使用	5
实验二 电阻元件的伏安特性测定	11
实验三 受控源特性的研究	15
实验四 基尔霍夫定理(虚拟实验)	20
实验五 直流电源特性	24
实验六 叠加定理实验	29
实验七 戴维南定理和若顿定理	33
实验八 一阶 RC 电路研究(虚拟实验)	38
实验九 二阶电路研究(虚拟实验)	43
实验十 L、C 元件交直流特性	47
实验十一 交流电路参数的测定	51
实验十二 交流谐振电路	55
实验十三 互感测量	60
实验十四 波形因数、波顶因数测量	65
实验十五 三相交流电路的研究	69
实验十六 三相功率的测量	73

第二部分 提高性实验

实验一 日光灯电路及功率因数的提高	77
实验二 三相交流电源相序的测定	81
实验三 三相 Y—Y 电路中点位移的研究	84
实验四 非正弦周期电流电路的实验	86
实验五 对称三相电路中的高次谐波	89
实验六 二端口网络参数的测量	93

实验七 回转器的应用	96
------------------	----

第三部分 综合性实验

实验一 无源滤波器的设计与调试	99
实验二 有源滤波器的分析与调试(虚拟实验)	103
实验三 裂相电路的设计与调试	106
实验四 RC 移相电路的设计与调试	110
实验五 RC 选频特性研究	114
实验六 负载最大功率研究	117
实验七 万用表的设计与调试	119
附录 1 电气测量指示仪表的一般知识	123
附 1.1 电气测量指示仪表的组成	123
附 1.2 测量误差及其消除方法	124
附 1.3 仪表的误差和准确度	126
附 1.4 仪表的主要技术要求	129
附 1.5 电工仪表的分类、标志和型号	130
附录 2 常用电工测量仪表简介	135
附 2.1 UT2000 型数字万用表	135
附 2.2 500 型万用表	139
附 2.3 D26 型电流表、电压表、瓦特表	142
附录 3 常用电子仪器简介	147
附 3.1 YWJ-30V/2A 双路直流稳压电源	147
附 3.2 DF2170B 型双指针毫伏表	148
附 3.3 DF1642D 函数发生器	150
附 3.4 YB4320A 双踪四迹示波器	154
附录 4 GDDS 实验台简介	164
附录 5 EWB 软件使用说明	175

电路实验的基本要求

一、实验目的

电路课是一门实践性很强的技术基础课，实验是本课程不可缺少的重要教学环节。要求学生实验前认真做好预习；实验中要大胆细心进行实验操作，正确连线，读取实验数据，并注意人身和设备的安全；实验后要按要求编写实验报告或总结报告。

通过电路实验课应达到以下目的：

1. 培养学生的基本实验技能；
2. 验证基本理论、巩固和加深对所学基本理论的理解；
3. 培养学生科学实验能力和严谨的科学作风，养成实事求是、严肃认真的科学态度。

通过电路实验学生应在实验技能方面达到下列要求：

1. 会正确使用常用的电工仪表、电子仪器，掌握基本的电工测试技术；
2. 按实验要求，独立进行实验操作；
3. 能正确读取实验数据，描绘波形曲线，分析实验结果，按要求编写实验报告或总结报告；
4. 掌握电路实验误差分析和数据处理方法；
5. 学生具有初步电路实验线路设计、实验仪器仪表选择和仪表量程选择的能力；
6. 有安全用电的基本常识。

二、实验课的要求

1. 实验前的准备工作

学生在每次实验前，必须认真预习，预习情况要通过教师检查，达不到要求的不准做实验。

- (1) 认真阅读实验指导书，明确实验目的和实验要求，复习有关理论搞清实验原理；
- (2) 熟悉完成实验的方法和步骤，设计好实验数据记录表格；
- (3) 理解并记住实验指导书中的注意事项；
- (4) 参看附录有关内容，掌握实验仪表的正确使用方法；
- (5) 完成预习报告。

2. 实验过程中的工作

- (1) 接线前，首先了解各种仪器设备和元器件的额定值、使用方法。
- (2) 实验中用到的仪器、仪表、电路元件等连线要可靠、清晰，保证仪器仪表调节或读数方便，布局合理。
- (3) 电路连线可按先串联后并联的原则，先连无源电路，后连有源电路，两者之间应串控制开关。连线时应将所有电源开关断开，并将可调设备的旋钮、手柄置于安全位置。连好线要仔细检查无误后才能接通电源。刚合开关时要注意观察各仪表的偏转是否正常。
- (4) 实验进行中要大胆细心，认真观察现象，仔细读取数据，随时分析实验结果是否合理。如发现异常现象，应及时查找原因并进行处理。

(5) 换接电路时要先切断电源, 再拆线、连线, 不要带电操作, 注意安全。

(6) 实验完毕时, 先切断电源, 分析实验数据, 核对结果, 确定实验结果无问题, 让老师签字后, 再进行拆线, 整理好连线并将仪器设备归好位后方可离开。

3. 实验后的整理工作

整理工作主要是编写实验报告或总结报告, 这不仅是实验的总结, 也是工程技术报告的模拟训练, 应按要求认真完成。

基础性实验的实验报告包括预习情况、实验情况两部分。实验结束时, 应按要求完成。

提高性实验的实验报告主要包括:

(1) 实验名称;

(2) 实验目的;

(3) 实验原理图;

(4) 主要实验仪器设备;

(5) 数据处理: 包括实验数据及计算结果的整理、分析, 误差原因的估计、分析等。

(6) 实验中出现的问题、现象及事故的分析, 实验的收获及心得体会等, 并回答预习思考题。

对综合设计性实验写出实验总结报告, 实验总结报告按学术论文格式要求。一般包括:

(1) 题目;

(2) 摘要;

(3) 正文;

(4) 参考文献。

三、实验设计方法

实验设计是指给定某个实验题目和要求, 确定实验方案, 组合实验仪器设备进行实验, 并解决实验中遇到的各种问题。

1. 实验方案的确定

根据实验题目、任务、要求, 选择可行的实验方案, 不仅要考虑可靠的理论依据, 又要考虑到有无实现的可能。实验方案能否正确的确定, 是实验设计成败的关键。

确定实验方案要做的工作是:

(1) 实验原理的研究。包括与实验题目有关的理论知识的掌握和了解, 实验电路、实验方法选择等;

(2) 元件与仪器设备的选择。包括元件参数的确定, 仪器仪表的选择等;

(3) 实验条件的确定。包括信号源电压、频率的选择, 测量范围的确定等。

2. 实验方案的实施

实验方案确定后, 通过实验不仅可以检验方案是否正确, 而且也是对实验能力的考核。实验时可能出现的情况有:

(1) 得不到预期的实验结果。这时需要检查电路、仪器设备、实验方法、实验条件等, 如果这些都没有问题则需要检查实验方案, 必要时要对实验方案进行修改或重新制定实验方案。

(2) 出现与理论不一致的情况。这时需要观察实验现象, 分析数据并找出原因。

(3) 误差偏大。这时需要分析产生误差的原因,找出减小误差的办法。

3. 实验结果的分析

实验结果分析应包括主要包括:实验结果的理论分析、实验的误差分析、实验方案的评价与修改、解决实际问题的体会等。

实验设计是对实验能力、独立工作能力的综合锻炼,也是理论与实践结合能力的检验。要较好地完成实验设计,必须要有坚实的理论基础,有一定的实验技能和实践经验,并且要有认真细致的作风和对工作高度负责的责任感。

四、注意事项

1. 首先注意人身和设备的安全。

(1) 不得擅自接通电源;

(2) 不触摸带电体,严格遵守“先接线后通电,先断电后拆线”的操作程序;

(3) 发现异常现象(如声响、发热、焦臭味等)应立即切断电源,保持现场,报告指导教师;

(4) 注意仪器设备的规格、量程和使用方法,做到不了解性能、用法的不盲目使用;

(5) 搬动仪器设备时,必须轻拿轻放,并保持设备表面的清洁;

2. 线路连接

在连接线路时应注意以下几个方面:

(1) 在熟悉并掌握各设备的正确使用的基础上注意设备的容量、参数要适当,工作电压、电流不能超过额定值;仪表种类、量程、准确度等级要合适;

(2) 合理布局,按照拟定的实验线路,桌面上合理放置仪器设备。布局的原则是:安全、方便、整齐,避免互相影响;

(3) 正确连线的方法是:

① 先弄清电路图上的结点与实验电路元件的接头的对应关系;

② 根据电路图的结构特点,选择合理的接线步骤,一般是“先串后并”、“先分后合”,或“先主后辅”;

③ 养成良好的接线习惯,走线要合理,导线的长短、粗细要适当,防止连线短路。接线片不宜过多地集中在某一点上,每个接线柱原则上不要多于两个接线片,尤其是电表接头尽量不要接两根导线,并且接线的松紧要适当;

④ 调节时要仔细认真,实验时一般需要调节的内容有:电路参数要调到实验所需值,分压器、调压器等可调设备的起始位置要放在最安全处,仪表要调零。

3. 操作、观察、读取和记录数据

操作、观察、读取和记录数据时要注意:

① 操作前应做到心中有数,目的明确;

② 操作时应手合电源,眼观全局,先看现象,后读数据;

③ 读数时要弄清仪表量程及刻度,读数时要求“眼、针、影成一线”,以便得到较准确的读数。

4. 图表、曲线的描绘

实验报告中的所有图表、曲线均按工程图要求绘制;

波形、曲线一律画在坐标纸上，并且比例要适当，坐标轴上应注意物理量的单位和符号，标明比例和波形、曲线的名称；

作曲线时要用曲线板绘制，以求曲线平滑。

五、常见故障及查找方法

实验中常会遇到断线、接错线、接触不良、元器件损坏等原因造成故障，使电路不能正常工作，严重时损坏仪器设备，甚至危及人身安全。因此，应及时查找并排除故障。

排除故障是锻炼实际工作能力的一个重要途径，需具备一定的理论基础和熟练的实验技能及丰富的实践经验。

1. 排除故障的一般原则

(1) 出现故障应立即切断电源，避免故障扩大；

(2) 根据故障现象判断故障性质。实验故障大致可分为两类，一类属破坏性故障，可使仪器、设备、元器件等造成损坏；另一类属非破坏性故障，其现象是无电流、无电压，或者电压、电流值不正常，波形不正常等。

(3) 根据故障的性质确定故障检查方法。对破坏性故障，不能采用通电检查的方法，应先切断电源检查有无短路、断路或阻值不正常等。对非破坏性故障，可采用断电检查，也可采用通电检查，也可采用两者结合的方法。

(4) 进行检查时，首先应对电路各部分的正常电压、电流、电阻值等心中有数，然后才能用仪表进行检查，逐步缩小故障区域，直到找出故障点。

2. 实验故障产生的原因

(1) 电路连接点接触不良，导线内部断线；

(2) 元器件、导线裸露部分相碰造成短路；

(3) 电路连线错误；

(4) 测试条件错误；

(5) 元件参数不适当；

(6) 仪器或元件损坏。

3. 检查故障的常用方法：

(1) 欧姆法 若电路出现严重短路或其它可能损坏设备的故障时，首先应立即切断电源，然后用万用表欧姆挡检查不该连通的支路是否连通、元件是否良好。最后找到故障点给予排除；

(2) 电压法 若电路故障不是上述情况，可通电用电压表测量可能产生故障的部分的电压，根据电压的大小和有无判断电路是否正常；

(3) 信号寻迹法 用示波器观察电路的电压和电流波形中幅值大小变化、波形形状、频率高低及各波形之间的关系，分析、判断电路中的故障点。

第一部分 基础实验

实验一 电压表、电流表及万用表的使用

一、实验目的

1. 熟悉电压表、电流表及万用表的使用方法；
2. 了解电压表、电流表内阻对测量结果的影响；
3. 学会使用直流稳压电源（直流电压源）。

二、实验原理与说明

1. 本实验使用 GDDS-1C 实验台上的 JDV-21 型直流电压表、JDA-21 型直流电流表和 UT2003 数字式万用表。它们的使用方法及注意事项请参阅书后附录。主要测量直流电压、直流电流、电阻的阻值和二极管的正向压降。

2. 电压表和电流表是用来分别测量电压和电流的仪表，使用时电压表应与负载并联，电流表应与负载串联。由于表头和测量电路都具有一定的电阻，在测量过程中对被测电路会产生影响，使测量结果产生误差。一般电流表的内阻较小，而电压表的内阻很大。

用电压表、电流表及万用表测量一个电量时，电表指示的数据 A_x 与被测电量的实际值 A_0 之间，不可避免地存在一定的误差。误差有两种：

$$\text{绝对误差} \quad \Delta = A_x - A_0$$

$$\text{相对误差} \quad \varepsilon = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

图 1-1-1 示出测量电路时仪表的连接方法。在分析仪表内阻对被测电路的影响时，可依据戴维南定理把被测电路的其余部分用等效电路代替。下面分别讨论电压表和电流表对测量电路的影响。

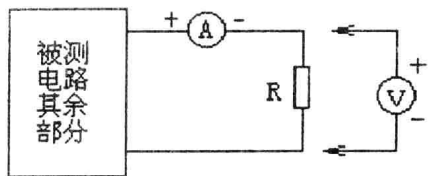


图 1-1-1

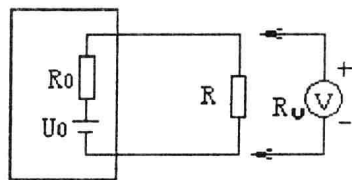


图 1-1-2

图 1-1-2 示出测量电压时的等效电路。可以看出，若不计电压表内阻的影响，则被测电压应为

$$U_R = \frac{R}{R + R_o} U_o$$

设电压表内阻为 R_V ，它与被测电阻 R 并联，受其影响， R 上的电压应为

$$U'_R = \frac{\frac{R_V R}{R_V + R}}{\frac{R_V R}{R_V + R} + R_o} U_o$$

电阻 R_V 引起的测量误差为

$$\gamma = \frac{U'_R - U_R}{U_R} \times 100\%$$

图 1-1-3 示出测量电流时的等效电路，可以看出不计电流表内阻的影响，被测电流应为

$$I = \frac{U_o}{R_o + R}$$

设电流表内阻为 R_A ，它串入被测支路，受其影响，被测支路电流为

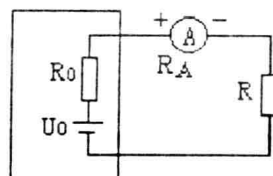


图 1-1-3

$$I' = \frac{U_o}{R_o + R + R_A}$$

电流表内阻 R_A 引起的测量误差为

$$\gamma = \frac{I' - I}{I} \times 100\%$$

三、实验内容与步骤

打开实验台总开关之前，首先关闭实验台下层各种电源、仪器的开关，并把所有调节大小的旋钮逆时针拧到零，然后打开实验台总开关。接通仪表带锁开关，仪表电源指示灯亮，所有仪表电源接通，预热 30 秒钟准备测量。使用仪表时首先调零并选择合适的量程。

1. 直流电压的测量

按图 1-1-4 连接电路，使直流稳压电源的值从 0 逐渐增加到 10V，用直流电压表测量各电阻上的电压，填入表 1-1-1 中。由电路图计算各电阻上的电压，并以计算值为标准值，计算相对误差。

2. 直流电流的测量

用直流电流表测量图 1-1-4 所示电路各电阻上的电流 I_1 、 I_2 、 I_3 ，填入表 1-1-2 中。

并以计算值为标准值, 计算相对误差。

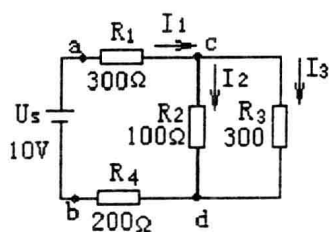


图 1-1-4

表 1-1-1

电压 数值	U_{R1}	U_{R2} (或 U_{R3})	U_{R4}
测量值			
计算值			

表 1-1-2

电流 数值	I_1	I_2	I_3
测量值 (mA)			
计算值(mA)			

3. 电压表的内接与外接

分别按图 1-1-5 两种接法测量 $200\ \Omega$ 电阻的阻值, 电源从 0V 改变到 10V , 填写表 1-1-3。

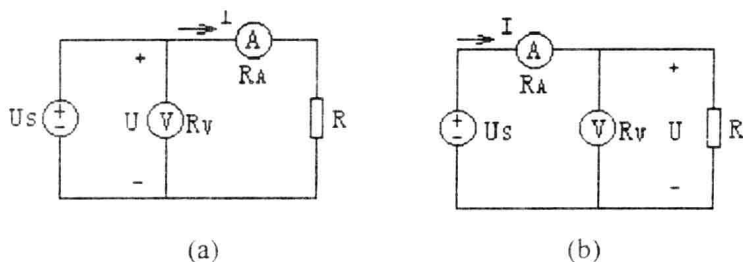


图 1-1-5

表 1-1-3

电压 电路	U	0	2V	4V	6V	8V	10V
图 1-5 (a)	I						
	$R' = U/I$						
	$\varepsilon = R' - R /R$						
图 1-5 (b)	I						
	$R' = U/I$						
	$\varepsilon = R' - R /R$						

4. 电阻值的测量

用万用表欧姆档测量图 1-1-4 电路中的 R_{ab} 、 R_{bc} 、 R_{cd} 和 R_{ad} , 并与计算值比较, 数

据填入表 1-1-4 中。注意：测量电阻时必须去掉 10V 电源。

表 1-1-4

电 阻 数 值	R_{ab}	R_{bc}	R_{cd}	R_{ad}
测量值				
计算值				

5. 测量硅二极管、锗二极管和稳压管的正向压降

用万用表分别测量 D02 实验板上各二极管的正向压降，填入表 1-1-5 中。注意仪表的极性。

表 1-1-5

元 件 电 压	硅二极管	锗二极管	稳压管
正向压降 (V)			

四、注意事项

- 1. 注意直流仪表的正负极性；
- 2. 电压表应与负载并联，电流表应与负载串联；
- 3. 测量不同电量时注意选择合适的量程；
- 4. 实验完毕，首先把调节大小的旋钮逆时针拧到零，再关断所有电源开关。

五、实验报告

基础性实验报告

实验名称：电压表、电流表及万用表的使用

专业_____ 班级_____ 姓名_____ 学号_____ 日期：_____ 年_____ 月_____ 日

（一）预习报告

1. 电压表、电流表应与被测负载怎样连接？

2. 为了减小测量误差，电压表的内阻是大些好还是小些好？电流表的内阻是大些好还是小些好？

3. 电压表内接与外接对测量结果有什么影响？画出等效电路进行分析。实际测量时应根据什么原则选择？

4. 计算表 1-1-1 和表 1-1-2 中要求计算的各值，由此确定仪表量程。

实验指导教师（签字）_____

（二）实验报告

1. 完成表格 1-1-1，并将测量值与计算值进行比较，分析误差产生的原因。

2. 完成表格 1-1-2，并将测量值与计算值进行比较，分析误差产生的原因。

3. 完成表格 1-1-3，并将两种电路测量的结果进行比较，那种电路的测量误差小？如果被测电阻值很大应采用哪种电路？如果被测电阻值很小应采用哪种电路？

4. 测量图 1-1-4 中的电阻时，为什么去掉 10V 电源？

5. 完成表格 1-1-4 和 1-1-5。

实验成绩：_____

实验指导教师（签字）_____

实验二 电路元件的伏安特性测定

一、实验目的

1. 学习电路元件伏安特性的测试方法；
2. 掌握实际电压源使用方法；
3. 学习常用直流电工仪表使用方法。

二、实验原理及说明

1. 在电路中, 电路元件的特性一般用该元件上的电压 u 与通过元件的电流 i 之间的函数关系用 $u=f(i)$ 来表, 这种函数关系称为该元件的伏安特性, 有时也称外部特性。

2. 线性电阻元件的伏安特性服从欧姆定律, 画在 $u-i$ 面上是一条通过原点的直线, 如图 1-2-1(a)所示。特性与元件电压、电流的大小和方向无关, 所以, 线性电阻元件是双向性元件。

3. 非线性电阻元件的伏安特性不服从欧姆定律, 画在 $u-i$ 面上是一条曲线如图 1-2-1(b)。例如晶体二极管、钨丝灯泡等属于这一类, 它们伏安特性可通过实验描画出来。

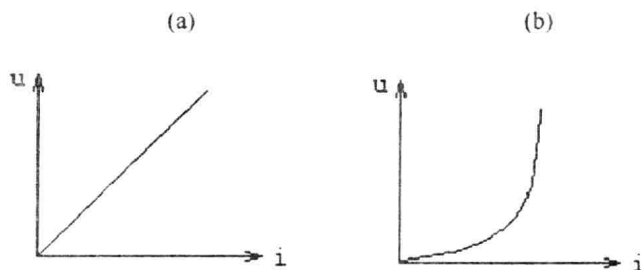


图 1-2-1

三、实验内容及步骤

1. 测定一线性电阻 R 的伏安特性

按图 1-2-2(a)接线, R 取 $100\ \Omega$ 、 4W 的电阻, 调节稳压源的输出电压如表 1-2-1 所示值, 分别读取电流填于表 1-2-1 中。

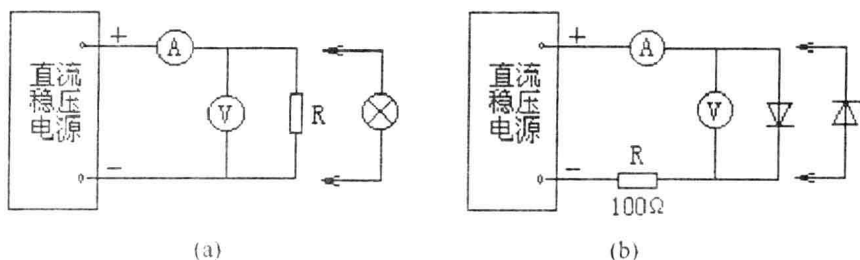


图 1-2-2

表 1-2-1

R=100 Ω						
U(V)	1	2	3	4	5	
I(mA)						

2. 测定白炽灯泡的伏安特性

将上述电路中的电阻换成白炽灯泡,重复上述步骤测出电流值,记入表 1-2-2 中.(U 灯 $\leq$ 6.3V)

表 1-2-2

U(V)	1	2	3	4	5	6
I(mA)						

3. 测定二极管的正向特性

实验电路如图 1-2-2 (b), 其中电阻 R 为限流电阻。按表 1-2-3 调节电压, 测出相应的电流填入表 1-2-3 中。

表 1-2-3

U(V)	0	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6
I(mA)						

4. 测定硅稳压管的反向特性

将上述电路中的二极管换成硅稳压管, 重复上述步骤测出电流值, 记入表 1-2-4 中。

表 1-2-4

U(V)	0	1	3	4	5	6	7
I(mA)							

四、注意事项

1. 实验时, 电流表要串在电路中, 极性切勿接反;
2. 合理选择量程, 切勿使电表超过量程;
3. 稳压电源输出应由小至大逐渐增加, 输出端切勿碰线短路。

五、实验报告