

○ 高等学校教材 >>>

主编 吴敏 张晨戎 戴雷

电工电子 实验与仿真

安徽人民出版社

TM-33/49

2007

电工电子实验与仿真

主 编 吴 敏 张晨或 戴 雷

安徽人民出版社

责任编辑:秦 闯

封面设计:为 民

图书在版编目(CIP)数据

电工电子实验与仿真/吴敏,张晨彧,戴雷主编. —合肥:安徽人民出版社,2007. 10

ISBN 978-7-212-03127-5

I. 电… II. ①吴…②张…③戴… III. ①电工技术—实验—高等学校—教材②电工技术—仿真—高等学校—教材③电子技术—实验—高等学校—教材④电子技术—仿真—高等学校—教材 IV. TN TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 158290 号

电工电子实验与仿真

吴敏 张晨彧 戴雷 主编

出版发行:安徽人民出版社

地 址:合肥市政务文化新区圣泉路 1118 号出版传媒广场 邮编:230071

发 行 部:0551-3533258 0551-3533292(传真)

编 辑 室:综合编辑室

经 销:新华书店

制 版:安徽飞腾彩色制版有限责任公司

印 刷:安徽江淮印务有限责任公司

开 本:787×1092 1/16 印张:19 字数:480 千

版 次:2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷

标准书号:ISBN978-7-212-03127-5

定 价:35.00 元

印 数:00001—05000 册

本版图书凡印刷、装订错误可及时向承印厂调换

前 言

电工、电子技术课程是一门实践性很强的技术基础课。为了增强学生的基本实验技能、培养学生的实际动手能力,我们在总结我校多年教学工作和广泛吸取校内外实验经验的基础上,编写了这本实验教材。该教材适用于高等院校本科电类和非电类各专业,也可供大学专科相关专业及从事电工、电子技术工作的工程技术人员参考。

本书着重介绍电工、电子技术的基本实验方法和实验内容。书中的每一个实验都以电工、电子技术基本理论为基础,提出实验目的,精选实验内容。学生通过预习,对实验内容进行理论分析,并经过电子仿真和独立实验,分析实验中出现的問題,找出产生误差的原因,达到巩固和加深理解所学的理论知识、训练实验技能、树立工程实践观点和严谨的科学作风的目的。在编写实验教学内容时,我们以培养学生综合运用课本知识、独立解决实际问题能力为出发点,在编排上做到:(1)以实验内容为核心,讲述实验内容和实验方法,使教材自成体系;(2)安排预习内容及思考题,增强学生独立思考和解决实际问题的能力;(3)增加仿真内容,通过虚拟实验,使学生能初步掌握使用计算机辅助分析工具分析电路的方法,提高工程实践能力;(4)采用固定电路和学生自己搭接电路相结合的方式,保证学生在对基本理论消化吸收的基础上,提高学生的实践操作能力。

全书共分六章。第一章为电工技术实验,第二章为模拟电子技术实验,第三章为数字电子技术实验,第四章为电工电子实验的 EDA 仿真,第五章为综合实验,第六章为实验仪器仪表使用说明。各章重点介绍了电工、电子技术中的基本实验和基本测试方法,并结合常用电工、电子仪器的使用,对一些常用电路进行典型分析;打*号的实验内容供学生选做。

本书由吴敏(编写第二章)、张晨或(编写第一章)和戴雷(编写第六章)主编,第三章由江兵编写,第四章 4.1 和附录 A、B 由邓凡李编写,第四章 4.2 和附录 C、D、E 由钱自拓编写,第四章 4.3 和第五章由杨庆编写。本书由徐晓冰副教授主审。

在编写过程中,我们得到了合肥工业大学电气与自动化工程学院电工理论及新技术系和电工电子实验室全体老师的大力支持,同时参考了部分兄弟院校的实验教材和资料,在此表示感谢。

由于编者水平所限和编写时间仓促,书中不妥和错误之处在所难免,敬请读者不吝指正。

编 者

2007 年 8 月于合肥

目 录

前言	1
----	---

第一章 电工技术实验

实验一 基尔霍夫定律与电压、电位测量	1
实验二 叠加原理和戴维宁定理	5
实验三 电路元件伏安特性的测绘	10
实验四 典型电信号的观察与测量	14
实验五 RC 电路暂态过程	17
实验六 二阶动态电路响应的研究	21
实验七 正弦稳态交流电路相量的研究	24
实验八 单相交流电路	27
实验九 RLC 串联谐振电路	31
实验十 三相交流电路	35
实验十一 负阻抗变换器	40
实验十二 互感电路观测	44
实验十三 异步电动机点动和自锁控制	47
实验十四 三相异步电动机正反转控制	51

第二章 模拟电子技术实验

实验一 常用电子仪器的使用	54
实验二 晶体管共射极单管放大器	61
实验三 场效应管放大器	67
实验四 RC 耦合多级放大电路	71
实验五 射极输出器	75
实验六 差动放大器	78
实验七 集成运算放大器的应用(一)——模拟运算电路	82
实验八 集成运算放大器的应用(二)——波形放大器	88
实验九 集成运算放大器的应用(三)——有源滤波器的设计	93
实验十 集成运算放大器的应用(四)——电压比较器	99
实验十一 低频功率放大器	103
实验十二 RC 正弦波振荡器	109
实验十三 直流稳压电源	113
实验十四 晶闸管可控整流电路	119

第三章 数字电子技术实验

实验一	TTL 集成逻辑门电路	123
实验二	组合逻辑电路分析与设计	128
实验三	译码器及其应用	132
实验四	触发器的逻辑功能测试及其应用	138
实验五	计数器及其应用(一)	142
实验六	计数器及其应用(二)	146
实验七	TTL 集电极开路门与三态输出门的应用	150
实验八	移位寄存器及其应用	155
实验九	脉冲分配器及其应用	161
实验十	单稳态触发器与施密特触发器及其应用	165
实验十一	555 时基电路及其应用	171
实验十二	D/A、A/D 转换器	178

第四章 电工电子实验的 EDA 仿真

4.1	仿真软件——OrCAD/PSpice	184
4.2	仿真软件——Multisim2001	194
4.3	EDA 仿真实例	199

第五章 综合实验

实验一	受控源电路的研究	216
实验二	运算放大器的应用——万用电表的设计与调试	219
实验三	分秒计时器	223
实验四	数字频率计	227
实验五	交通灯控制电路	231

第六章 实验仪器仪表使用说明

6.1	数字万用表——VC9801A	233
6.2	直流稳压电源——DF1731SC3A	235
6.3	函数发生器——DF1641A	237
6.4	交流毫伏表——DF2175A	239
6.5	模拟示波器——YB4320F	241
6.6	高性能电工综合实验装置——KHDG-1 型	248
6.7	线性电源——LPS305	250
6.8	DDS 数字合成信号发生器——SPF05	254
6.9	数字示波器——TDS1002	260
附录	常用电子元器件参考资料	271
参考文献		296

第一章 电工技术实验

实验一 基尔霍夫定律与电压、电位测量

预习部分

一、实验目的

1. 用实验证明电路中电位的相对性、电压的绝对性。
2. 验证基尔霍夫定律的正确性，加深对基尔霍夫定律的理解。
3. 掌握直流电工仪表的使用方法，学会使用电流插头、插座测量支路电流的方法。
4. 加深对参考方向概念的理解。

二、实验原理

在一个确定的闭合电路中，各点电位的高低视所选的电位参考点的不同而变，但任意两点间的电位差（即电压）则是绝对的，它不因参考点电位的变动而改变。据此性质，我们可用电压表来测量出电路中各点的电位及任意两点间的电压。

基尔霍夫定律是电路的基本定律。测量某电路的各支路电流及多个元件两端的电压，应能分别满足基尔霍夫电流定律和电压定律。即对电路中的任一个节点而言，应有 $\sum I=0$ ；对任何一个闭合回路而言，应有 $\sum U=0$ 。

运用基尔霍夫定律时必须注意电流的参考方向（正方向），此方向可预先任意设定。当电路中的电流（或电压）的实际方向与参考方向相同时取正值，其实际方向与参考方向相反时取负值。

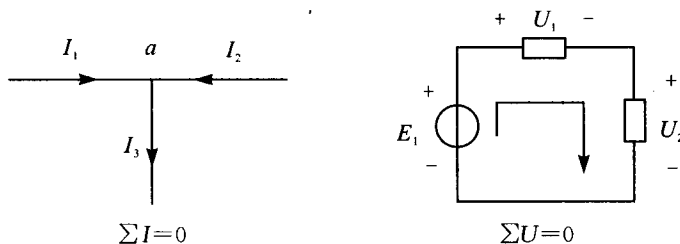


图 1-1-1 基尔霍夫定律原理图

三、预习要求与计算仿真

1. 本次实验涉及以下仪器：直流稳压电源、直流电压表、直流毫安表、电流插头、插

座。关于这些设备的使用说明，详见附录，在正式实验前应予以预习。

2. 根据图 1-1-2 中的电路参数，计算出待测量的电流、电压、电位值，记入表中，以便与实验测量的数据比较，并帮助正确选定测量仪表的量程。

3. 利用 PSpice 仿真软件，根据图 1-1-2 设计仿真电路，并试运行。

四、注意事项

1. 测量电位时，用万用表的直流电压挡测量，负表棒（黑色）接参考电位点，正表棒（红色）接被测各点，若显示正值，则表明该点电位为正（即高于参考点电位）；若显示负值，则表明该点电位为负（即该点电位低于参考点电位）。

2. 用指针式电流表测量电流时，如果仪表指针反偏，则必须倒换电流表极性，重新测量。此时指针正偏，可读得电流值。应注意：所读得的电流值的正、负号，应根据设定的电流参考方向来判断。

3. 防止电源两端碰线短路。

4. 在将两路直流稳压电源 E_1 、 E_2 接入电路时，其值应以电压表测量的读数为准，不得以电源表盘指示值为准。

五、思考题

1. 如图 1-1-2 所示，现欲测电压 U_{AB} ，则万用表的红表棒应接在 A 点还是 B 点？若测得 U_{AB} 为负，则 A、B 两点哪一点的实际电位高？

2. 若以 D 点作为参考电位点，实验测得各点的电位值；现令 C 点作为参考电位点，试问此时各点的电位值应有何变化？

实验部分

一、实验线路

实验线路如图 1-1-2 所示。

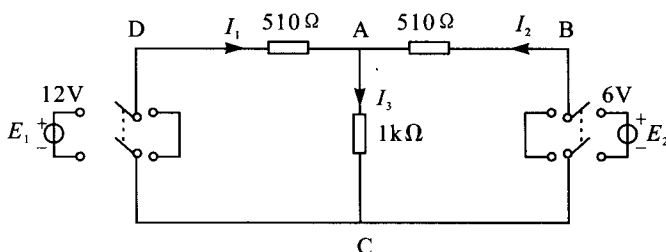


图 1-1-2 基尔霍夫定律与电压、电位测量实验线路图

二、实验设备

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	直流稳压电源	DF1731	1	
2	万用表	VC9801A	1	
3	直流电流表		1	
4	实验电路板		1	

三、实验步骤

将两路直流稳压电源接入电路，令 $E_1=12\text{V}$ ， $E_2=6\text{V}$ （以直流电压表读数为准）。

1. 电压、电位的测量

(1) 以图中的 A 点作为电位的参考点，分别测量 B、C、D 各点的电位值 U 及相邻两点之间的电压值 U_{AB} 、 U_{CD} 、 U_{AC} 、 U_{BD} ，数据记入表 1-1-1 中。

(2) 以 C 点作为电位的参考点，重复实验内容 (1) 的步骤。

2. 基尔霍夫定律的验证

(1) 实验前先任意设定三条支路的电流参考方向，如图中的 I_1 、 I_2 、 I_3 所示，熟悉电流插头的结构，注意直流毫安表读出电流值的正、负情况。

(2) 用直流毫安表分别测出三条支路的电流值并记入表 1-1-2 中，验证 $\sum I=0$ 。

(3) 用直流电压表分别测量两路电源及电阻元件上的电压值并记入表 1-1-2 中，验证 $\sum U=0$ 。

四、表格与数据

表 1-1-1 数据记录

电位参考点	项目	U_A	U_B	U_C	U_D	U_{AB}	U_{CD}	U_{AC}	U_{BD}
		(V)				(V)			
A	计算值								
	测量值								
	相对误差								
C	计算值								
	测量值								
	相对误差								

表 1-1-2 数据记录

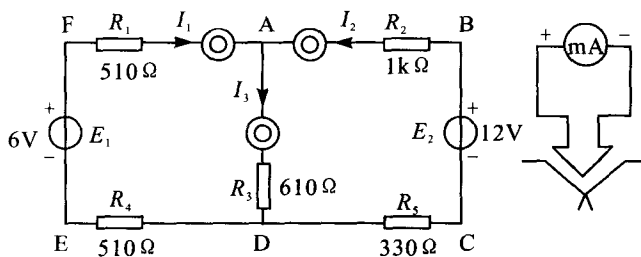
被测量	I_1	I_2	I_3	$\sum I=$	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	$\sum U=$
	(mA)				(V)			
计算值								
测量值								
相对误差								

五、实验报告

1. 完成数据表格中的计算，进行必要的误差分析。
2. 总结电位相对性和电压绝对性的原理。
3. 根据实验数据，选定实验电路中的任一个节点（任一闭合回路），验证 KCL (KVL) 的正确性。

4. 心得体会及其他。

注：下图为实验时可能会出现的类似电路。



($\odot$ 为电流插座，用来串入电流表测量电流 I_1 、 I_2 、 I_3)

图 1-1-3 实验线路图

实验二 叠加原理和戴维宁定理

预习部分

一、实验目的

1. 牢固掌握叠加原理的基本概念，进一步验证叠加原理的正确性。
2. 验证戴维宁定理。
3. 掌握测量等效电动势与等效内阻的方法。

二、实验原理

叠加原理：在线性电路中，有多个电源同时作用时，在电路的任何部分所产生的电流或电压，等于这些电源分别单独作用时在该部分产生的电流或电压的代数和。

为了验证叠加原理，可就图 1-2-1 的线路来研究。当 E_1 和 E_2 同时作用时，在某一支路中所产生的电流 I ，应为 E_1 单独作用在该支路中所产生的电流 I' 和 E_2 单独作用在该支路中所产生的电流 I'' 之和，即 $I = I' + I''$ 。实验中可将电流表串接到所研究的支路中分别测得在 E_1 和 E_2 单独作用以及它们共同作用时的电流和电压加以验证。

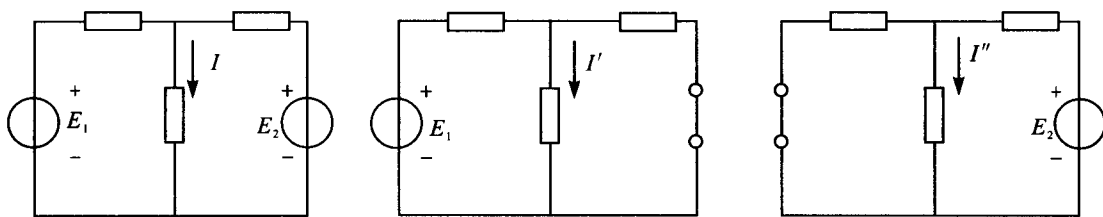


图 1-2-1 叠加原理图

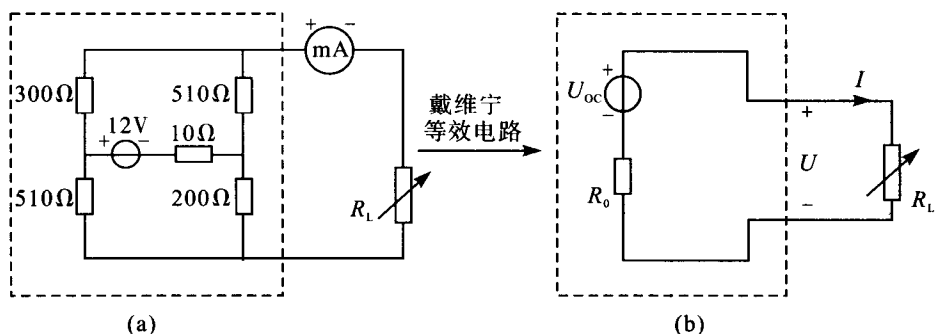


图 1-2-2 戴维宁定理图

戴维宁定理：一个有源的二端网络就其外部性能来说，可以用一个等效电压源来代替，该电压源的电动势 E 等于网络的开路电压 U_{oc} ；该电压源的内阻等于网络的入端电阻（内电阻） R_0 。

对于图 1-2-2 的实验电路,若研究其中的一条支路(如 R_L 支路),那么可以把这条支路以外的虚线部分看作是一个有源二端网络,再把这个有源网络变换成等效电动势和内阻 R_0 串联的等效电路。

三、预习要求与计算仿真

1. 本次实验涉及以下仪器:直流稳压电源、直流电压表、直流毫安表、电流插头、插座,在正式实验前应予以预习。
2. 根据图 1-2-3、1-2-4 中的电路参数,计算出待测量的电流、电压值,记入表中,以便与实验测量的数据比较,并帮助正确选定测量仪表的量程。
3. 利用 PSpice 仿真软件,根据图 1-2-3、1-2-4 设计仿真电路,并试运行。

四、注意事项

1. 测量各支路的电流、电压时,应注意仪表的极性以及数据表格中“+”、“-”号的记录。
2. 电源不作用时,不可将稳压源直接短接。
3. 用万用表直接测内阻时,网络内的独立电源必须先置零,以免损坏万用表,其次,欧姆表必须经调零后再进行测量。
4. 改接线路时,要关掉电源。

五、思考题

1. 叠加原理中 E_1 、 E_2 分别单独作用,在实验中应如何操作?
2. 各电阻所消耗的功率能否用叠加原理计算得出?为什么?试用具体数据分析说明。
3. 在求戴维宁等效电路时,做短路实验,测 I_{sc} 的条件是什么?在本实验中可否直接做负载短路实验?

实验部分

一、实验线路

实验线路如图 1-2-3、1-2-4 所示。

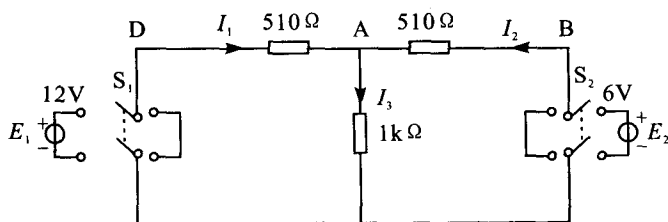


图 1-2-3 叠加原理实验电路

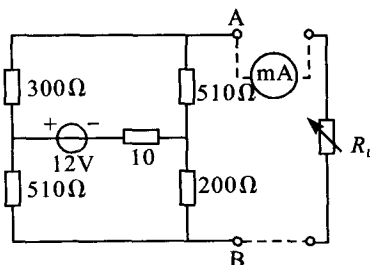


图 1-2-4 戴维宁定理实验电路

二、实验设备

序号	名称	规格型号	数量
1	直流稳压电源	DF1713	1
2	直流电流表		1
3	万用表	VC9801A	1
4	直流电路实验板		1

三、实验步骤

1. 叠加原理实验

实验前, 先将两路直流稳压电源接入电路, 令 $E_1 = 12\text{ V}$, $E_2 = 6\text{ V}$ 。

按图 1-2-3 接线, 并将开关 S_1 、 S_2 投向短路一侧。(开关 S_1 和 S_2 分别控制 E_1 、 E_2 两电源的工作状况, 当开关投向短路一侧时说明该电源不作用于电路。)

(1) 接通 $E_1 = 12\text{ V}$ 电源, S_2 投短路侧 (E_1 单独作用), 测量此时各支路电流, 测量结果填入表 1-2-1 中。

(2) 接通 $E_2 = 6\text{ V}$ 电源, S_1 投短路侧 (E_2 单独作用), 测量此时各支路电流, 测量结果填入表 1-2-1 中。

(3) 接通 $E_1 = 12\text{ V}$ 电源、 $E_2 = 6\text{ V}$ 电源 (E_1 和 E_2 共同作用), 测量此时各支路电流, 测量结果填入表 1-2-1 中。

2. 戴维宁定理实验

按图 1-2-4 接线, 将一路直流稳压电源接入电路, 令 U 保持 12 V 。

(1) 测网络的开路电压 U_{OC} 。将 R_L 断开, 用电压表测有源二端网络开路电压 U_{OC} (A、B 两点间电压), 即得等效电压源的等效电动势 E_s 。记入表 1-2-2 中。

(2) 测网络的短路电流 I_{SC} 。将 R_L 断开, 并将 A、B 两点间用一根短路导线相连, 用电流表测有源二端网络短路电流 I_{SC} (A—mA—B 支路的电流), 即得等效电流源的等效电流 I_s 。记入表 1-2-2 中。

(3) 测有源二端网络入端电阻 R_0 。三种方法测量, 结果记入表 1-2-2 中。

① 先将电压源及负载 R_L 从电路中断开, 并将原电压源所接的两点用一根短路导线相连。用万用表测出 A、B 两点间的电阻 R_{AB} ($R_{AB} = R_0$)。

② 测有源二端网络开路电压 U_{OC} 和有源二端网络短路电流 I_{SC} , 算出入端电阻 R_0 ($R_0 = U_{OC} / I_{SC}$)。

③ 先断开 R_L , 测网络的开路电压 U_{OC} 。再将 R_L 接上, 用电压表测负载 R_L 的两端电压 U_{AB} , 调节 R_L , 使 $U_{AB} = \frac{1}{2} \times U_{OC}$, 则此时 $R_0 = R_L$ 。(为什么?)

④ A、B 间接 R_L (任意值), 测 R_L 两端电压和流过 R_L 上的电流, 记入表 1-2-3 中。

四、表格与数据

表 1-2-1 数据记录

	I_1 (mA)			I_2 (mA)			I_3 (mA)		
	测量	计算	误差	测量	计算	误差	测量	计算	误差
$U_1 = 12\text{ V}$									
$U_2 = 6\text{ V}$									
$U_1 = 12\text{ V}$									
$U_2 = 6\text{ V}$									

表 1-2-2 数据记录

	开路电压 U_{OC} (V)	短路电流 I_{SC} (mA)	等效内阻 R_0		
			(a)	(b)	(c)
测量值					
计算值					

表 1-2-3 数据记录

	U_{RL} (V)		I_{RL} (mA)	
	计算值	测量值	计算值	测量值
$R_L =$				
$R_L =$				

五、实验报告

1. 完成数据表格中的计算，进行必要的误差分析。
2. 根据实验数据验证线性电路的叠加性与齐次性，验证戴维宁定理的正确性。
3. 说明测有源二端网络开路电压及等效内阻的几种方法，并比较其优缺点，考虑是否有其他测量方法。
4. 心得体会及其他。

注：下图为实验时可能会出现的电路。

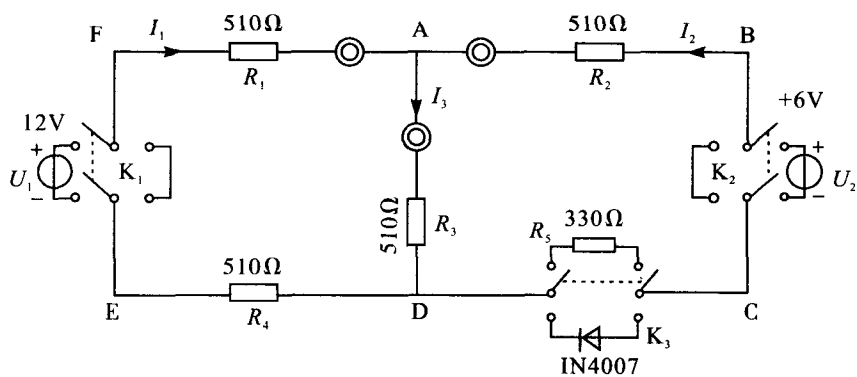


图 1-2-5 叠加原理实验电路

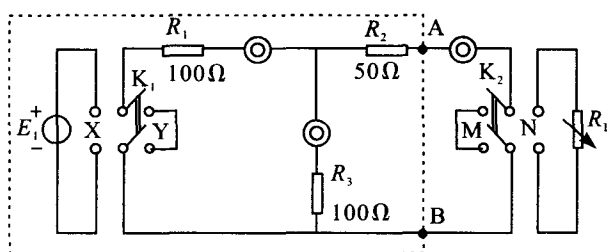


图 1-2-6 戴维宁定理实验电路

实验三 电路元件伏安特性的测绘

预习部分

一、实验目的

1. 学会识别常用电路元器件的方法。
2. 掌握线性电阻、非线性电阻伏安特性的逐点测绘法。
3. 掌握实验台上直流电工仪表和设备的使用方法。

二、实验原理

任何一个二端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 $I = f(U)$ 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。

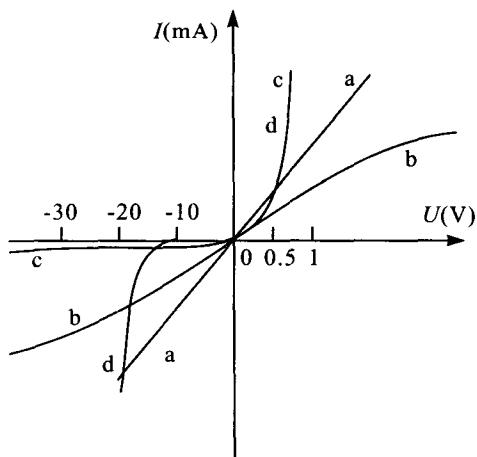


图 1-3-1 二端元件的伏安特性

1. 线性电阻的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线, 如图 1-3-1 中 a 所示, 该直线的斜率等于该电阻器的电阻值。

2. 一般的白炽灯在工作时灯丝处于高温状态, 其灯丝电阻随着温度的升高而增大, 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”与“热电阻”的阻值可相差几倍至几十倍, 所以它的伏安特性如图 1-3-1 中 b 曲线所示。

3. 一般的半导体二极管是一个非线性电阻元件, 其特性如图 1-3-1 中 c 曲线。正向电压很小 (一般锗管为 $0.2 \sim 0.3\text{V}$, 硅管为 $0.6 \sim 0.7\text{V}$), 正向电流随着正向电压 的升高而急骤上升, 而反向电压增加时, 其反向电流增加很小, 近似为零。可见, 二极管具有单向导电性, 但反向电压加得过高, 超过管子的极限值, 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 1-3-1 中 d 曲线。在反向电压开始增加时, 其反向电流几乎为零, 但当反

向电压增加到某一数值时（该数值称为管子的稳压值，有各种不同稳压值的稳压管），电流将突然增加，以后它的端电压将维持恒定，不再随外加电压升高而增大。

三、预习要求与计算仿真

1. 本次实验涉及以下仪器：直流稳压电源、直流电压表、直流毫安表。在正式实验前应予以预习。

2. 根据图 1-3-2、1-3-3 中的电路参数，计算出待测量的电流、电压值，记入表中，以便与实验测量的数据比较，并帮助正确选定测量仪表的量程。

3. 利用 PSpice 仿真软件，根据图 1-3-2、1-3-3，选择合适参数，设计仿真电路，并试运行。

四、注意事项

1. 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 35 mA。

2. 如果要测定 2AP9 的伏安特性，则正向特性的电压值应取 0, 0.1, 0.13, 0.15, 0.17, 0.19, 0.21, 0.24, 0.30(V)，反向特性的电压值取 0, 2, 4……10(V)。

3. 进行不同实验时，应先估算电压和电流值，合理选择仪表的量程，勿使仪表超量程，仪表的极性亦不可接错。

五、思考题

1. 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？
2. 设某器件伏安特性曲线的函数式为 $I=f(U)$ ，试问在逐点绘制曲线时，其坐标变量应如何放置？
3. 稳压二极管与普通二极管有何区别，其用途如何？
4. 在图 1-3-3 中，设 $U=2V$ ， $U_D=0.7V$ ，则毫安表读数为多少？

实验部分

一、实验线路

实验线路如图 1-3-2、1-3-3 所示。

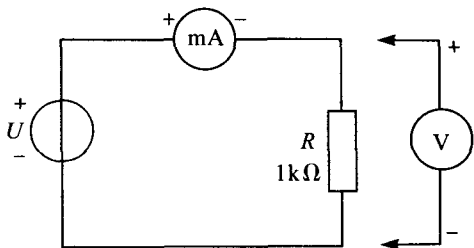


图 1-3-2 电阻和白炽灯伏安特性测试电路

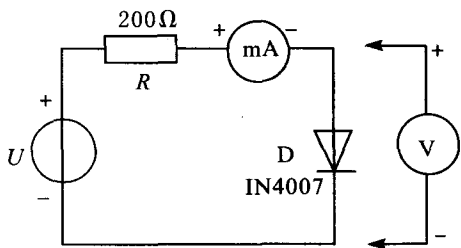


图 1-3-3 二极管伏安特性测试电路