

21 世纪普通高等教育规划教材

电工电子技术实践

丁则信 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪普通高等教育规划教材

电工电子技术实践

主编 丁则信

参编 田 野



机械工业出版社

本书是为高等院校工科非电类专业电工电子实践教学而编写的。本书是在多年教改实践的基础上,经多次修改编写而成,也是作者通过几年的非电类专业实践教学改革的成果。

全书共三篇:电工技术实验;电子技术实验以及综合应用。全书含各类实验共 23 个。书末附有 4 个附录,介绍常用电子仪器、Multisim 7 简介、常用晶体管和模拟集成电路以及常用数字集成电路的型号和引脚图。

本书可作为高等院校工科非电类各专业的实验教材,也可供从事电工电子工程设计的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术实践/丁则信主编. —北京:机械工业出版社, 2006.1

21 世纪普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-17854-8

I. 电... II. 丁... III. ①电工技术-实践-高等学校-教材 ②电子技术-实践-高等学校-教材 IV. ①TM-33 ②TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 131010 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:贡克勤 责任编辑:贡克勤 版式设计:冉晓华

责任校对:张晓蓉 封面设计:姚毅 责任印制:陶湛

北京铭成印刷有限公司印刷

2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16 · 11.75 印张 · 289 千字

定价:18.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

根据我校对工科非电类专业电工电子实践教学改革的要求,为拓宽学生的专业口径、强化工程实践训练、增强学生分析解决实际问题能力、提高创新能力、培养面向 21 世纪的一流人才,首先在我校机械工程系开设了电工电子技术实践课程。作为独立设课的“电工电子技术实践”课程而编写的教材,其内容包括电工技术实践、模拟电子技术及数字电子技术实践。它适合于工科非电类各专业选用。

本书是一本实践课程教材,它是在原电工电子技术实践讲义的基础上,结合近几年来的教学实践修改而成的,也是我校电工电子实验中心、机械工程系以及工业发展与培训中心实践教学改革的成果之一。

本课程重在实践,从培养学生实践能力的要求出发,结合理论课程“电工技术”、“模拟电子技术”及“数字电子技术”,相对独立地安排其内容与进程,不能完全依附从属于相应的理论课程,但也不能与理论课程完全割裂,而应两者密切结合,相辅相成。

本书在编写上,既注意与相应理论课程的结合、呼应,又具有实践课程自身的体系与特色。每一实验都包含有实验原理、实验内容、预习要求、实验报告要求、思考问题以及所需仪器与元器件等内容。旨在不仅要教会学生怎样去做,而且要使学生弄懂为什么这样做,并启发学生向纵深方面进一步思考。

通过本课程的学习,要求学生掌握如下技能:

1) 熟悉常用电子仪器的使用,包括稳压电源、函数发生器、交流毫伏表,特别是示波器。必须掌握这些电子仪器的基本原理,并能准确熟练地操作。

2) 按照实验课程的要求,掌握设计和装接电路,科学地设计实验方法,合理地安排实验步骤的能力。

3) 掌握运用理论知识及实践经验排除故障的能力,能独立完成实验课程的要求。

4) 将计算机仿真技术引入电工电子技术实践教学中,对于实验课题应学会既可以用计算机仿真,也可以用硬件实验来实现,以加深对实验内容的理解,提高实验技能,以及使用计算机工具的能力。同时,利用该先进的实验技术努力发挥学生的想像力和创造力。

本书的编写工作始终在东南大学教务处、电工电子实验中心与机械工程系的支持和领导下进行,王尧教授、李桂安副教授审阅了书稿,田野老师参加了附录 B 的编写,安海平高级工程师负责全书打印,并对全书图稿进行仔细地校核,潘佳懿老师也对本书的编写工作提供了许多有益的帮助,本书的编写工作还得到了汤崇熙教授、黄正瑾教授、张文锦教授和胡仁杰教授的热情支持和指导,在此一并致谢。

由于编者水平有限,错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者 于东南大学

2005 年 10 月

目 录

前言

第一篇 电工技术实验	1
实验一 常用电子仪器的使用	1
实验二 伏安特性的测试	5
实验三 网络定理的测试	11
实验四 网络定理(虚拟实验)	14
实验五 交流阻抗参数的测量和功率因数的改善	19
实验六 三相交流电路的研究	23
实验七 一阶电路时域响应的研究	27
实验八 电路频率特性的研究(虚拟实验)	32
实验九 步进电动机	36
实验十 三相异步电动机及其继电器接触器控制	41
第二篇 电子技术实验	48
实验十一 单级低频电压放大器	48
实验十二 差动放大器	54
实验十三 集成运算放大器的线性应用(一)	62
实验十四 集成运算放大器的线性应用(二)	69
实验十五 集成运算放大器的非线性应用	76
实验十六 功率放大器	81
实验十七 单相可控整流电路	85
实验十八 集成门电路	88
实验十九 组合逻辑电路	94
实验二十 集成触发器与时序逻辑电路	99
第三篇 综合应用	108
实验二十一 集成定时器应用	108
实验二十二 晶闸管交流调功电路	115
实验二十三 综合设计实验	119
附录	126
附录 A 常用电子仪器	126
附录 B Multisim 7 使用初步	144
附录 C 常用晶体管和模拟集成电路的型号与参数	174
附录 D 常用数字集成电路型号及引脚图	180

第一篇 电工技术实验

实验一 常用电子仪器的使用

一、实验目的

- 1) 掌握常用电子仪器的使用方法。
- 2) 掌握几种典型信号的幅值、有效值、周期和相位差的测量。

二、实验内容

1. 熟悉示波器、函数发生器、交流毫伏表和直流稳压电源等常用电子仪器面板上各控制件的名称及作用。

2. 掌握常用电子仪器的使用方法

(1) 电源的使用(DF1731S 型)

1) 将二路可调电源独立稳压输出，调节一路输出电压为 10V，另一路为 15V。

2) 将稳压电源输出接为图 1-1 所示正负电源形式。输出直流电压 $\pm 15V$ 。

3) 将电源作为稳流源使用，负载电阻为 $50 \sim 100\Omega$ ，调节输出稳定电流为 0.2A。

4) 将两路可调电源串联使用，调节输出稳压值为 48V。

(2) 示波器、函数发生器和交流毫伏表的使用

1) 示波器双踪显示，调出两条扫描线。注意当触发方式置于“常态”时，有无扫描线。

2) 校准信号的测试。用示波器显示校准信号的波形，测量该电压的峰峰值、周期、高电平和低电平。并将测量结果与已知的校准信号峰峰值、周期相比较。

3) 正弦波的测试。用函数发生器产生频率为 1kHz (由 LED 屏幕指示)，有效值为 2V (用交流毫伏表测量)的正弦波。再用示波器显示该正弦交流电压波形，测出其周期、频率、峰峰值和有效值。数据填入表 1-1 中。

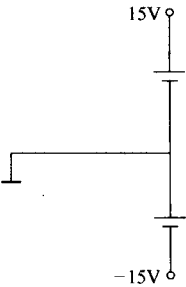


图 1-1 正负电源

表 1-1 实验数据(一)

使用仪器	正 弦 波			
	周 期	频 率	峰 峰 值	有 效 值
函数发生器		1kHz		
交流毫伏表				2V
示 波 器				

4) 叠加在直流上的正弦波的测试。调节函数发生器, 产生一叠加在直流电压上的正弦波。由示波器显示该信号波形, 并测出其直流分量为 1V, 交流分量峰峰值为 5V, 周期为 1ms, 如图 1-2 所示。

再用万用表(直流电压档)和交流毫伏表分别测出该信号的直流分量电压值和交流电压有效值, 用函数发生器测出(显示)该信号的频率。数据填入表 1-2 中。

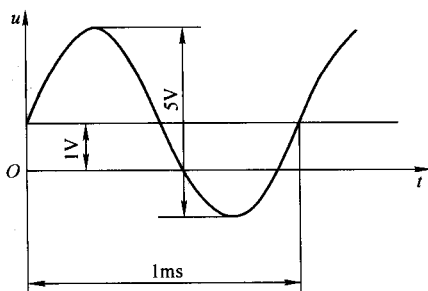


图 1-2 叠加在直流上的正弦波

表 1-2 实验数据(二)

使用仪器	直流分量	交流分量			
		峰峰值	有效值	周期	频率
示波器	1V	5V		1ms	
万用表					
交流毫伏表					
函数发生器					

5) 相位差的测量。按图 1-3 接线, 函数发生器输出正弦波频率为 2kHz, 有效值为 2V (由交流毫伏表测出)。用示波器测量 u 与 u_C 间的相位差 φ 。

6) 用示波器分别测量 TTL 输出脉冲的上升沿时间、脉冲宽度和高、低电平(取 $f = 2\text{MHz}$)。

7) 利用示波器的工作方式 CH1 + (-CH2) 来测量图 1-4 所示的正弦波的电压峰峰值 U_{RPP} 。

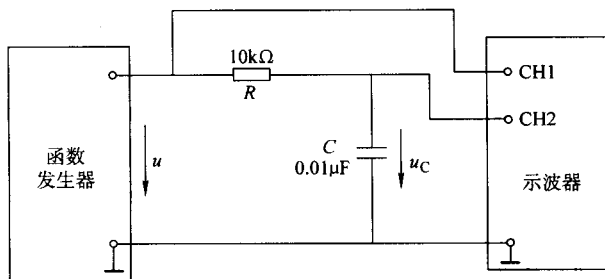


图 1-3 相位差测量电路

8) 用示波器测量图 1-5 所示半波整流电路的纹波电压 U_o 。

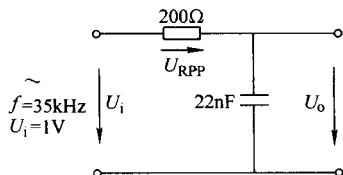


图 1-4 正弦电压峰峰值测量电路

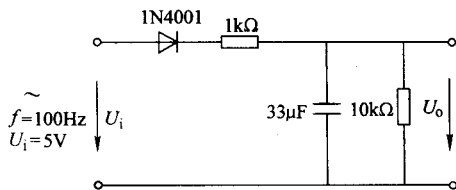


图 1-5 纹波电压测量电路

(3) 几种周期性信号的幅值、有效值及频率的测量 调节函数发生器, 使它的输出信号波形分别为正弦波、方波和三角波, 信号的频率为 2kHz (由函数发生器频率指示), 信号的大小由交流毫伏表测量为 1V。用示波器显示波形, 且测量其周期和峰值, 计算出频率和有

效值，数据填入表 1-3 中(有效值的计算可参考表 1-4)。

表 1-3 实验数据(三)

信号波形	函数发生器频率 指示/kHz	交流毫伏表 指示/V	示波器测量值		计 算 值	
			周 期	峰 值	频 率	有效值
正 弦 波	2	1				
方 波	2	1				
三角波	2	1				

三、预习要求

- 1) 认真阅读本书附录 A 中的内容。
- 2) 熟悉常用电子仪器面板上各控制元件的名称及作用。

四、实验报告要求

- 1) 整理实验数据，记录、填入表格。
- 2) 讨论：对本章复习思考题或实验中出现的问题进行讨论。

五、复习要点及思考题

1. 要点

1) 了解示波器、函数发生器、交流毫伏表和直流稳压电源等常用电子仪器的基本组成和工作原理。

2) 掌握常用电子仪器的使用方法。

2. 复习思考题

1) 什么叫扫描、同步，它们的作用是什么？

2) 触发扫描和自动扫描有什么区别？

3) 在示波器处于“内触发”、“常态”扫描方式时，若改变电压灵敏度(VOLTS/DIV)，特别是降低它，则可能会使信号波形消失。如果是“外触发”，是否也会影响信号波形的显示呢？

4) 使用示波器时如出现以下情况：①无图像；②只有垂直线；③只有水平线；④图像不稳定，试说明可能的原因，应调整哪些旋钮加以解决？

5) 用示波器测量电压的大小和周期时，垂直微调旋钮和扫描微调旋钮应该置于什么位置？

6) 用示波器测量直流电压的大小与测量交流电压的大小相比，在操作方法上有哪些不同？

7) 设已知一函数发生器输出电压峰峰值 U_{opp} 为 10V，此时分别按下输出衰减 20dB、40dB 键或同时按下 20dB、40dB 键，这三种情况下，函数发生器的输出电压峰峰值变为多少？

8) 交流毫伏表在小量程档，输入端开路时，指针偏转很大，甚至出现指针打表现象，这是什么原因？应怎样避免？

9) 函数发生器输出正弦波交流信号的频率为 20kHz，能否不用交流毫伏表而用数字万用表交流电压档去测量其大小？

10) 在实验中，所有仪器与实验电路必须共地(所有的地接在一起)，这是为什么？

11) 对于方波或三角波，交流毫伏表的指示是否是它们的有效值？如何根据交流毫伏表的指示求得方波或三角波的有效值？(提示:参考表 1-4)

表 1-4 各种信号波形有效值 $U_{有}$ 、平均值 $U_{平}$ 、峰值 $U_{峰}$ 之间的关系

信号波形	全波整流后的		
	$U_{有}/U_{平}$ (波形系数)	$U_{平}/U_{峰}$	$U_{有}/U_{峰}$
正弦波	1.11	$2/\pi$	$1/\sqrt{2}$
方波	1.00	1	1
三角波	1.15	1/2	0.557

六、仪器与器材

1) 通用示波器	YB4324 型	1 台
2) 函数发生器	YB1638 型	1 台
3) 交流毫伏表	SX2172 型	1 台
4) 直流稳压电源	DF1731S 型	1 台
5) 元器件		若干

实验二 伏安特性的测试

一、实验目的

- 1) 了解并学习用逐点法测量线性电阻元件和非线性电阻元件的伏安特性曲线。
- 2) 学习用 JT-1 型图示仪测量元件的伏安特性曲线。
- 3) 了解电压源及电流源的伏安特性。
- 4) 熟悉并掌握电源设备、万用表、JT-1 型图示仪的使用方法。

二、实验原理

1. 元件的伏安特性曲线

一个二端元件的特性, 用元件两端的电压 U 和通过元件的电流 I 之间的关系 $I = f(U)$ 表示, 这种关系通常称为元件的伏安特性。

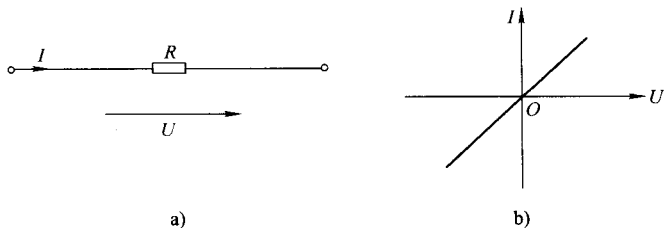


图 1-6 线性电阻的伏安特性曲线

a) 电阻符号 b) 伏安特性

线性电阻元件的伏安特性服从欧姆定律, 它在 $I-U$ 平面上是一条通过原点的直线, 如图 1-6b

所示。该特性各点的斜率(是常数)与元件电压、电流的大小和方向无关。

非线性电阻元件的伏安特性, 不服从欧姆定律, 其阻值不是常数, 在 $I-U$ 平面上是一条曲线。如整流二极管、稳压管等都属于非线性电阻元件, 它们的伏安特性曲线不是直线而是曲线, 如图 1-7 所示。显然它们的电阻值不但随电压和电流的大小而改变, 还与电流的方向有关。

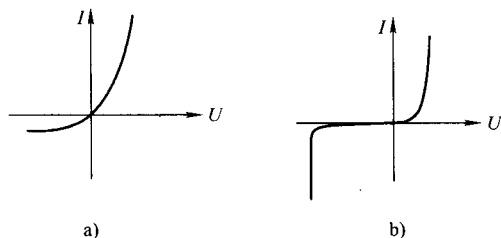


图 1-7 非线性电阻伏安特性曲线

a) 整流二极管的伏安特性

b) 稳压二极管的伏安特性

2. 电压源与电流源的伏安特性

理想电压源的端电压是固定的, 无论负载如何变化, 端电压保持一定。它的伏安特性曲线是一条平行于电流坐标轴的直线(对直流电压而言)如图 1-8 所示。

实际电压源的模型可以看成是一个理想电压源与电阻的串联组合。当它与负载电阻 R_L 相联时, 其伏安特性如图 1-9 所示。

一个实际电流源可以用理想电流源 I_S 与电阻 R_0 相并联的模型来表示。当电源与负载相联时, 其伏安特性如图 1-10 所示。当电源的内阻 $R_0 \rightarrow \infty$, $I = I_S$ 时, 即为理想电流源, 如图 1-11 所示。

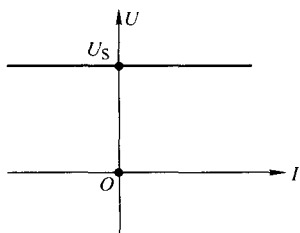


图 1-8 理想电压源的伏安特性

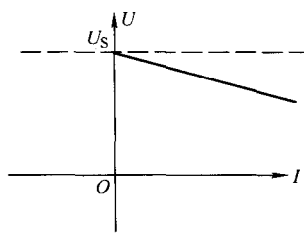


图 1-9 实际电压源的伏安特性

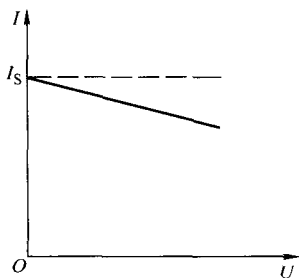


图 1-10 实际电流源伏安特性

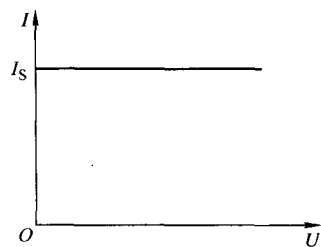
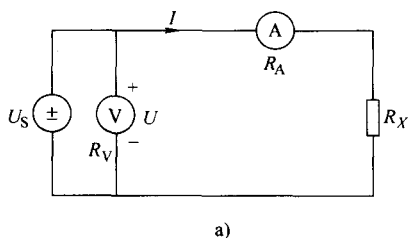


图 1-11 理想电流源伏安特性

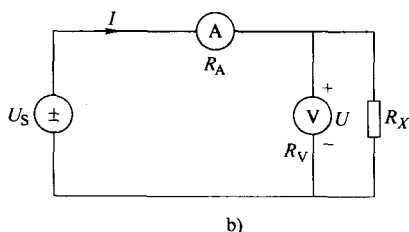
3. 伏安特性的测试方法

(1) 表前法和表后法 鉴于表计内阻的影响,在测试二端元件的伏安特性时,还应注意电压表和电流表的合理接法。如图 1-12 所示电路是测量电阻 R_X 伏安特性曲线的两种表计接法。对于图 1-12a 所示电路,根据电路基本定律得

$$R_X = \frac{U}{I} - R_A = R'_X - R_A$$



a)



b)

图 1-12 伏安特性的测量方法

a) 表前法 b) 表后法

式中, U 、 I 分别为Ⓐ表和Ⓐ表的读数; R_A 为电流表内阻; R'_X 为电阻多次测量的平均值或为实验曲线上的某点电阻值; R_X 为电阻的真值。

由上式可以得到表前法的方法误差为

$$\gamma_A = \frac{R'_X - R_X}{R_X} = \frac{R_A}{R_X} \quad (\text{取百分比})$$

在要求不高的情况下, R_X 可以用数字万用表测得或直接取它的标称值。仅当 $R_X \gg R_A$

时, 误差 γ_A 才较小。因此, 表前法适合测量较大电阻的伏安特性。

同理对于图 1-12b 所示的电路可得表后法的方法误差为

$$\gamma_V = \frac{R'_X - R_X}{R_X} = -\frac{1}{1 + R_V/R_X} \quad (\text{取百分比})$$

式中, R_V 为电压表内阻, 它可由电压表表头灵敏度 (Ω/V) 和量程 (V) 相乘得到, 即 $R_V = \text{表头灵敏度} \times \text{量程}$ 。同样, 仅当 $R_X \ll R_V$ 时, 误差 γ_V 才较小。所以表后法适合测量较小阻值电阻的伏安特性。

(2) 用 JT-1 型图示仪测试。

三、实验内容

1. 测试线性电阻的伏安特性

1) 用逐点测试法的测试电路如图 1-13 所示。分别将开关置于 1 或 2, 按表 1-5 内容进行测量。

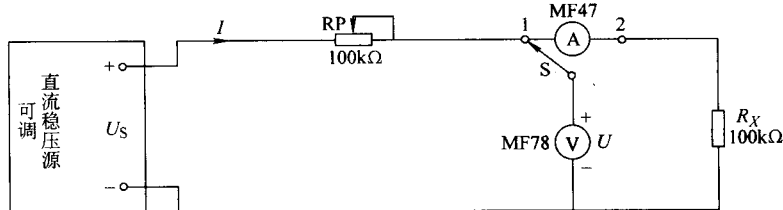


图 1-13 用逐点测试法测线性电阻伏安特性的测量电路

表 1-5 用逐点法对线性电阻伏安特性的测试

类 别	$I/\mu A$	- 50	- 40	- 30	- 20	0	+ 20	+ 30	+ 40	+ 50
表 前 法	U/V									
表 后 法	U/V									

2) 用 JT-1 型图示仪测量线性电阻的伏安特性曲线, 并与逐点法进行比较。

2. 测试非线性二端元件的伏安特性

(1) 晶体二极管 1N4001

1) 首先用万用表 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 欧姆档判定二极管极性, 并记下等效正向电阻和等效反向电阻。

2) 按图 1-13 表后法接线, 用逐点法测试其正向伏安特性。其中, RP 改为 $1k\Omega$ 电位器串联 $1k\Omega$ 限流电阻。测试点的选取可以参考表 1-6。

表 1-6 用逐点法对二极管伏安特性的测试

U/V	0	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.65	0.70
I/mA	0							

3) 用 JT-1 型图示仪测量晶体二极管的正向伏安特性曲线, 并与逐点测试法进行比较。

(2) 稳压二极管 1N752-3 (2CW54)

1) 用逐点测试法的测试电路仍按图 1-13 表后法接线测试其正向伏安特性。其中, RP 仍用 1kΩ 电位器串联 1kΩ 限流电阻。在 0 ~ 50mA 范围内取 5 组数据, 将测得的稳压二极管正向电压值及相应电流值记入表 1-7 中。

表 1-7 用逐点法对稳压二极管伏安特性的测试

U/V					
I/mA					

2) 用逐点测试法测其反向伏安特性, 可参考图 1-13 用表前法接线, 并注意将稳压二极管反接。

逐渐增大稳压二极管上的反向电压, 观察电流表的读数变化, 直到电流突然增加时为止。将测得的稳压二极管反向电压值和相应的电流值记入表 1-8 中(此时注意记录反向电流突然增加时电压的数值)。

表 1-8 用逐点测试法对稳压二极管的反向特性的测试

U/V	4						
I/mA							30

3) 用 JT-1 型图示仪测量稳压二极管的正、反向伏安特性曲线, 并与逐点测试法进行比较。

3. 测量直流稳压电源的伏安特性

用直流稳压电源作为理想电压源, 在其内阻和外电路电阻相比可以忽略不计的情况下, 其输出电压基本保持不变, 可看作理想电压源, 如图 1-14 所示。

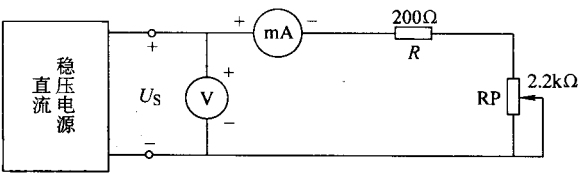


图 1-14 直流稳压电源伏安特性测量

测试点的选取可参考表 1-9。

表 1-9 直流稳压电源伏安特性测量

I/mA	0 (开路)	5	10	15	20
U/V	10				

4. 测量实际电压源的伏安特性

用 51Ω 电阻与稳压电源相串联组成一个实际的电压源, 如图 1-15 所示。

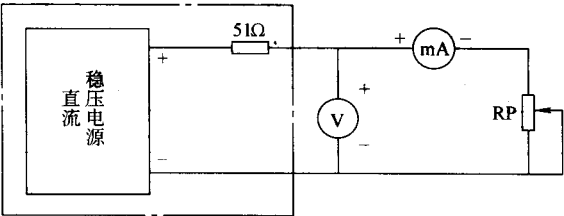


图 1-15 实际电压源伏安特性测定电路

测试点的选取可参考表 1-10。

表 1-10 实际电压源伏安特性的测试

I/mA	0	5	10	15	20
U/V	5				

5. 电流源伏安特性的测定

如图 1-16 连接实验电路, 调节稳流源输出电流为 10mA。然后改变负载电阻阻值(不要使其开路), 测出相应的电压、电流值, 测试点选取可参考表 1-11。

表 1-11 电流源的伏安特性的测试

R_L/Ω	0	100	200	300	400	500
U/V	0					
I/mA	10					

四、注意事项

由于稳压二极管稳定工作电流 I_Z 不能超过最大工作电流 $I_{Z\max}$, 所以, 测试电路中的稳压电源输出电压 U_S 应该在稳压值附近缓慢增加, 防止电流骤增超过最大工作电流而损坏管子。

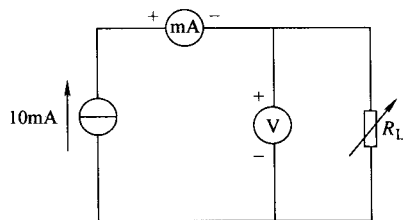


图 1-16 电流源伏安特性测量

五、预习要求

- 1) 学习万用表的工作原理和使用方法。
- 2) 学会使用 JT-1 型图示仪。

六、实验报告要求

- 1) 根据实验数据画出各种元件的伏安特性曲线。
- 2) 将 JT-1 型图示仪上测得的伏安特性曲线描绘下来, 并与 1) 所画出的曲线相比较。
- 3) 通过计算线性电阻的方法误差和测量误差 (测量误差 $\gamma_X = \frac{R'_X - R_X}{R_X} \times 100\%$), 小结用逐点测试法测试二端元件伏安特性的测量方法。
- 4) 拟出测量电压源内阻和电流源内阻的方法。

七、复习思考题

- 1) 用欧姆表判定二极管极性时, 回路电流是从表计的哪一端流出? 为什么不用 $R \times 1$ 或 $R \times 10k\Omega$ 档?
- 2) 若给出一个线性电阻元件和一个非线性二端元件的伏安特性曲线, 试用图解法画出这两个元件串联后的伏安特性曲线。
- 3) 为了提高测量精度, 应如何选择表计量程?

八、仪器与器材

1) 直流稳压电源	DF1731S 型	1 台
2) 万用表	MF47、MF78 型	各 1 台
3) JT-1 型晶体管特性图示仪		1 台
4) 电路与数字实验箱	YB3262 型	1 台
5) 元器件		若干

实验三 网络定理的测试

一、实验目的

- 1) 验证基尔霍夫定律，加深对电路基本定律适用范围的认识。
- 2) 验证叠加原理，加深对线性电路叠加性和比例性的认识。
- 3) 验证戴维宁(原称戴维南)定理，掌握线性网络等效电路参数的实验测定方法。
- 4) 加深对电路参考方向的理解。

二、实验原理

1. 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路普遍适用的基本定律。不论是线性电路还是非线性电路，不论是时变电路还是时变电路，在任一瞬间，任一节点各支路电流必须满足 $\sum_{k=1}^n i_k = 0$ (n 个节点) 这一约束关系；同时，任一回路中的各个元件电压和电源电压必定满足 $\sum_{k=1}^m u_k = 0$ (m 个回路) 这一约束关系，这就是基尔霍夫的两个定律，即电流定律和电压定律。

2. 叠加原理

叠加原理是指在线性电路中，任何一元件的电压或电流都可以看成是每个独立源分别单独作用在该元件上的电压和电流的代数之和。由此还可以推理，仅当一个独立源增加 K 倍或减小为 K 分之一时，由它作用在该元件上的电压或电流也增加 K 倍或减小为 K 分之一。这个特性就称为线性电路的比例性。而线性电路是能够同时满足叠加性和比例性的。

3. 戴维宁定理

戴维宁定理是指任何一个线性含源二端网络，总可以用一个恒压源与电阻串联的支路来代替。恒压源的电压等于该网络的开路电压，而电阻等于该网络所有独立源为零值(但其内阻保留)时的端口等效电阻。如果有一个包含受控源的有源线性网络，则可以用一个等效电源来替代，这样，电路分析也就变得简单多了。

下面是等效电路参数的实验测定方法。

- (1) 恒压源电压 U_{OC} 断开二端网络端口处的负载，测量开路电压，即得。
- (2) 等效电阻 R_o 。
 - 1) 在器件允许的条件下，测出端口处的短路电流 I_{SC} ，计算公式为

$$R_o = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$$

- 2) 测量输出端口处的负载电压 U_L ，计算公式为

$$R_o = \left(\frac{U_{OC}}{U_L} - 1 \right) R_L$$

式中， R_L 为端口处负载。

4. 参考方向

无论是应用网络定理分析电路还是进行实验测量，都要先假定电压和电流的参考方向，只有这样才能确定电压和电流是正值还是负值。

如图 1-17 所示为某网络中的一条支路 AB，如何测量该支路的电压 U 呢？首先假定一个电压降的方向，设 U 的压降方向从 A 到 B，这就是电压 U 的参考方向。将电压表的正极和负极分别与 A 端和 B 端相联，若电压表指针顺时针偏转，则读数取正，说明参考方向和真实方向是一致的；反之，电压表指针逆时针偏转，电压表读数为负，说明参考方向和真实方向相反。显然，测量该支路电流时，与测量电压时的情况相同。应当注意的是当需要用实验来验证电路分析结果时，各电量的参考方向在实验和分析时应一致，不得变动。

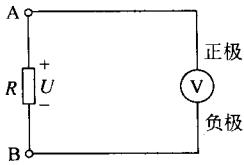


图 1-17 电压极性的判别

三、实验内容

1. 验证基尔霍夫定律

1) 按图 1-18 所示电路接线。用万用表测量各电阻两端电压和各支路电流。注意在电路中串联电流表时，电流表的“+”“-”极性应按图 1-18 所标出的电流参考方向去接，如果表针反转，则应将电流表“+”“-”极性对调，但此时读取的电流值应记为负值，这就是参考方向的实际意义。测量电压时也有同样的情况。

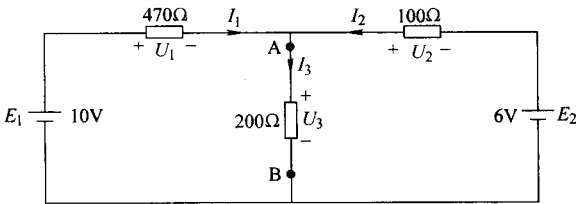


图 1-18 实验电路

2) 用二极管 1N4001 替换图 1-18 电路中的 100Ω 电阻(二极管的正极接至 A 点)，重复内容 1)。

2. 验证线性电路的叠加性和比例性

1) 按图 1-18 所示电路接线。按表 1-12 要求的内容测试。

表 1-12 叠加性的验证

状 态	测 量 电 量					
	U_1	U_2	U_3	I_1	I_2	I_3
E_1 、 E_2 同时作用						
E_1 单独作用						
E_2 单独作用						
叠加结果						

2) 仍用实验电路图 1-18 电路，使 $E_2 = 0V$ ， E_1 分别为 10V 和 5V 时，填表 1-13 中。