

21世纪

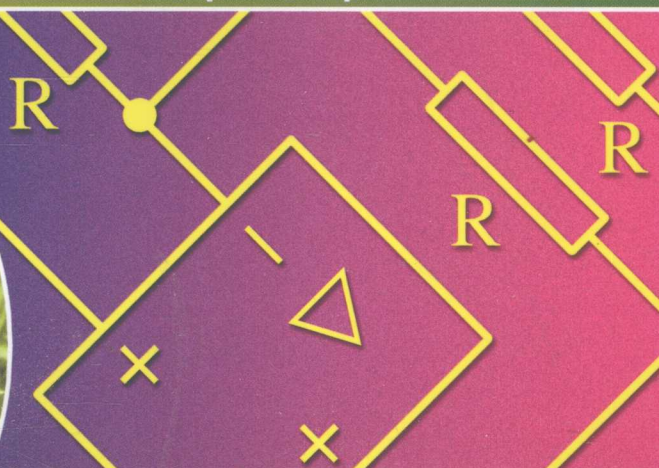
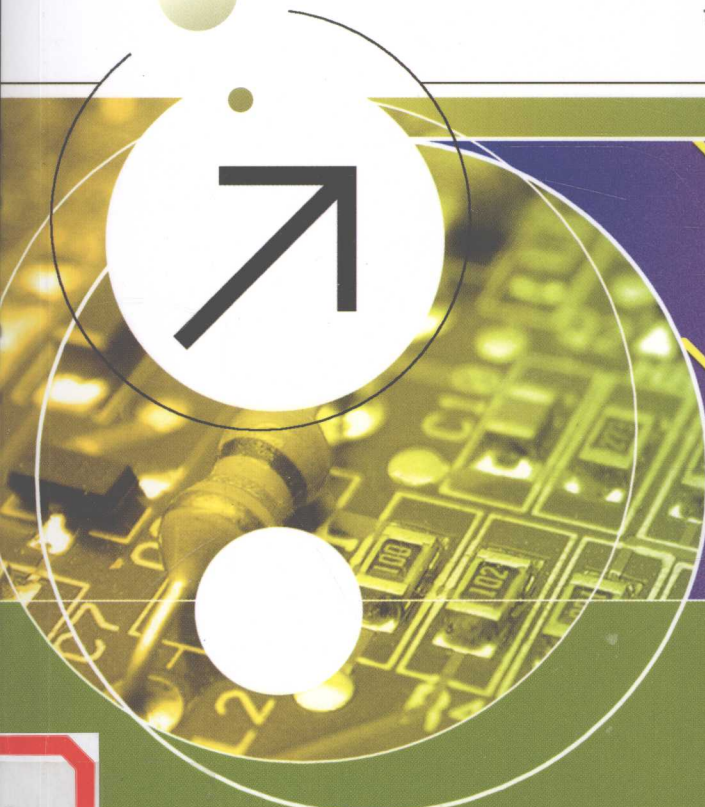
高等学校本科电子电气专业系列实用教材

# 电路与电子技术 实验教程

堵俊 主编

曹海平 吴晓新 郭汉清 副主编

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

21 世纪高等学校本科电子电气专业系列实用教材

# 电路与电子技术实验教程

堵俊 主编

曹海平 吴晓新 郭汉清 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是根据社会发展及教学改革的新形势,基于培养适应社会需求的高素质应用型人才的目的,依托高等工科院校本科电类专业相关课程(电路、模拟电子技术、数字电子技术)的基本实验要求而编写的实验类课程教材。本书共有四篇:第一篇为电路实验;第二篇为模拟电子技术实验;第三篇为数字电子技术实验;第四篇为EDA技术应用。

本书可作为电气、自动化、电子信息、通信及计算机等专业相关课程的实验课程教材或教学参考书,也可作为非电类相关课程的实验课程教材或教学参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术实验教程/堵俊主编. —北京:电子工业出版社,2009.7

(21世纪高等学校本科电子电气专业系列实用教材)

ISBN 978-7-121-08931-2

I. 电… II. 堵… III. ① 电路—实验—高等学校—教材 ② 电子技术—实验—高等学校—教材

IV. TM13-33 TN01-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第082622号

策划编辑:柴燕

责任编辑:雷洪勤

印 刷:北京市海淀区四季青印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:372千字

印 次:2009年7月第1次印刷

印 数:4000册 定价:25.00元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

# 前 言

实验教学是培养学生分析和实际问题能力的有效途径。实验教学的改革是当前高等学校教学改革的一项重要任务,对培养学生理论联系实际的能力具有重要的作用。电路、模拟电子技术和数字电子技术是电类专业的必修专业基础课,其特点为应用性广、实践性强。而实验教学作为其重要的组成部分,在培养学生的学习能力、实践能力和创新能力方面具有不可替代的作用。

本书以培养适应社会需求的高素质应用型人才为目的,结合各高校实验教学的实际要求,力求做到验证性实验和设计性实验相结合;硬件实验和计算机仿真实验相结合;基础性实验和提高性实验相结合。实现了由验证性实验为主到工程训练为主的转变。适应面广,且针对性强,便于教师和学生阅读和因材施教。

本书由电路实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验和 EDA 技术应用 4 个部分组成。根据电路、模拟电子技术和数字电子技术课程的特点,实验内容既与理论教学内容有机地衔接,又体现理论教学上未充分反映出来的但实际工程中需要解决的问题。实验原理阐述上力求深入浅出,对于设计性实验均有设计举例、思考题和多个实验任务以供学生参考和选用。

本书由南通大学堵俊主编,曹海平、吴晓新、郭汉清、盛苏英、曾飞、陈娟参编。在编写的过程中,东南大学祝学云老师给予了很大的关注和帮助,并对全书进行了认真的审阅和修改。同时,南通大学冯泽民老师也对本书提出了许多有益的意见和修改建议,在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有错误和欠妥之处,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

# 目 录

## 第一篇 电路实验

实验一	电路元件伏安特性的分析测试	1
实验二	网络定理的测试	4
实验三	受控源的研究	7
实验四	电源等效变换及最大功率传输条件的研究	12
实验五	阻抗参数测量和功率因数改善	17
实验六	互感电路的研究	21
实验七	三相电路的研究	25
实验八	线性无源二端口网络的研究	29
实验九	变压器特性及参数测试	31
实验十	负阻抗变换器、回转器的应用研究	36
实验十一	电路的时域响应分析	40
实验十二	电路的频率特性研究	47

## 第二篇 模拟电子技术实验

实验一	模拟信号测试及半导体管性能测试	53
实验二	BJT 共射级电压放大电路的分析	57
实验三	FET 电压跟随器的应用	65
实验四	模拟运算电路	70
实验五	积分和电流、电压转换电路	75
实验六	信号产生电路	81
实验七	集成稳压电源及应用	87
实验八	低频集成功率放大器及其应用	96
实验九	精密整流电路	101
实验十	电平检测器的设计应用	104
实验十一	差分放大电路	106
实验十二	通用集成运放基本参数测试	111
实验十三	负反馈放大电路	116
实验十四	有源滤波器	121

### 第三篇 数字电子技术实验

实验一	逻辑门功能测试及其应用研究	131
实验二	组合电路设计和冒险现象分析	135
实验三	MSI 组合功能器件的设计应用	140
实验四	集成触发器的设计应用	144
实验五	MSI 时序功能件的设计应用(1)	148
实验六	MSI 时序功能件的设计应用(2)	151
实验七	555 集成定时器及其应用	156
实验八	数字电子技术综合设计实验	160

### 第四篇 EDA 技术应用

实验一	1 位全加器原理图输入设计	172
实验二	7 段数码显示译码器设计	173
实验三	4 位加法计数器设计	175
实验四	4 位十进制数频率计设计	178
实验五	七人表决器设计	181
实验六	数控分频器的设计	182
实验七	EDA 综合设计实验	184
附录 A	GW48 EDA 系统使用说明	194
附录 B	MAX+plus II 简介	209

# 第一篇 电路实验

## 实验一 电路元件伏安特性的分析测试

### 一、实验目的

- (1) 了解线性电阻元件和几种非线性二端元件的伏安特性。
- (2) 学习元件伏安特性的测试方法。
- (3) 掌握电工电子实验台的使用方法。

### 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  $f(u, i) = 0$  表示。这种关系通常称为元件的伏安特性。

线性电阻元件的图形符号如图 1-1-1(a)所示,其伏安特性符合欧姆定律,它在  $u-i$  平面上是一条通过原点的直线,如图 1-1-1(b)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,所以,线性电阻元件是双向性的元件。

非线性二端元件的伏安特性,不服从欧姆定律,在  $u-i$  平面上是一条曲线;非线性二端元件可按其伏安特性的特征来分类。

如果元件两端的电压  $u$  可以表示为电流  $i$  的单值函数,即  $u = f(i)$ ,那么,这类二端元件就称为电流控制型二端元件。充气二极管就具有这样的伏安特性,如图 1-1-2 所示。

如果流过元件的电流  $i$  可表示为电压  $u$  的单值函数,即  $i = f(u)$ ,那么,这类二端元件就称为电压控制型二端元件。隧道二极管就具有这样的伏安特性,如图 1-1-3 所示。

还有一类非线性二端元件,它既是电流控制型,又是电压控制型,如晶体二极管、钨丝灯泡等就属于这一类。它们的伏安特性如图 1-1-4 所示。

#### 2. 伏安特性的测试方法

##### (1) 电源的选择

图 1-1-5 是一个电压控制型二端元件的伏安特性曲线。在测试这种类型的伏安特性时,必须选择一个输出电压可调的稳压源作为其激励信号。如果采用可调的电流源,那么在电流增加

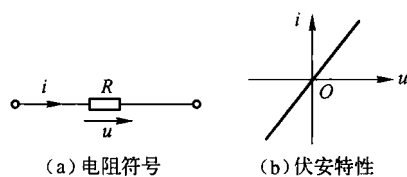


图 1-1-1 线性电阻

的过程中,由于电压从  $u_B$  到  $u_D$  发生突跳,因此只能测得 O-A-B 和 D-E 两段曲线;同样,在电流减小的过程中,由于电压从  $u_C$  到  $u_A$  发生突跳,也只能测得 E-D-C 和 A-O 两段曲线。所以,采用可调电流源,无论怎样测量都不能得到一完整的电压控制型二端元件的伏安特性。

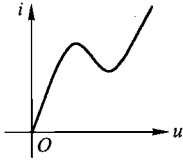


图 1-1-2 充气二极管的伏安特性

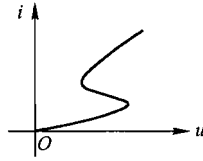


图 1-1-3 隧道二极管的伏安特性

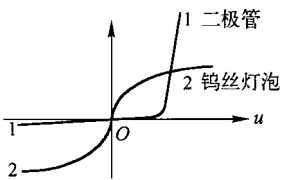


图 1-1-4 二极管和钨丝灯泡的伏安特性

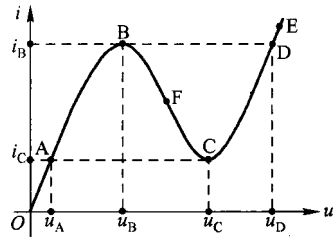


图 1-1-5 电压控制型二端元件的伏安特性

## (2) 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 1-1-6 所示电路是测量电阻  $R_x$  伏安特性的两种表计接法。

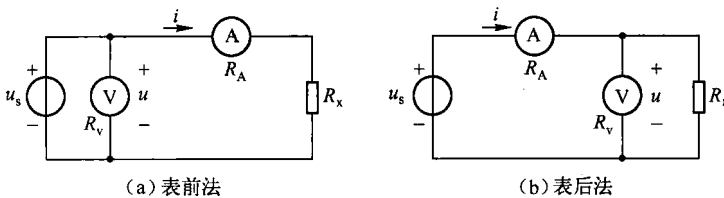


图 1-1-6 伏安特性的测量方法

对于图 1-1-6(a)所示电路,根据电路基本定律得  $R_x = \frac{u}{i} - R_A = R'_x - R_A$ 。其中,  $u$ 、 $i$  分别为电压表和电流表的读数,  $R_A$  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  $\gamma_A = \frac{R'_x - R_x}{R_x} = \frac{R_A}{R_x}$  (取百分比), 在要求不高的情况下,  $R_x$  可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  $\gamma_A$  才足够小, 因此, 表前法适合测量较大电阻的伏安特性。

同理, 对于如图 1-1-6(b)所示的电路可得表后法的方法误差为  $\gamma_V = \frac{R'_x - R_x}{R_x} = -\frac{1}{1 + R_V/R_x}$  (取百分比)。其中,  $R_V$  为电压表内阻, 它可由电压表表头灵敏度 ( $V/\Omega$ ) 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  $\gamma_V$  才足够小。所以, 表后法适合测量较小电阻的伏安特性。



### 三、实验内容

#### 1. 测试线性电阻的伏安特性

测试电路如图 1-1-7 所示,按图接线并测试表 1-1-1 中数据。

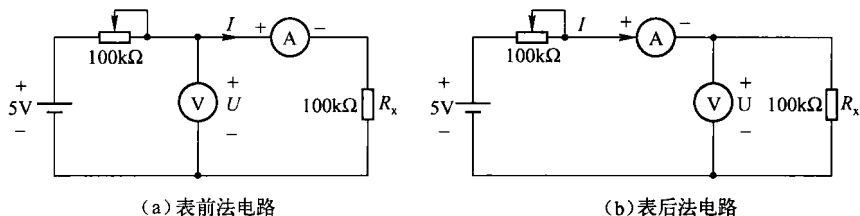


图 1-1-7 线性电阻的伏安特性测量电路

表 1-1-1 线性电阻伏安特性

类别	$I/\mu\text{A}$	-40	-35	-30	0	+30	+35	+40
表前法	$U/\text{V}$							
表后法	$U/\text{V}$							

#### 2. 测试非线性元件“二极管”的伏安特性

测试电路如图 1-1-8 所示,按图接线并测试表 1-1-2 中的数据。

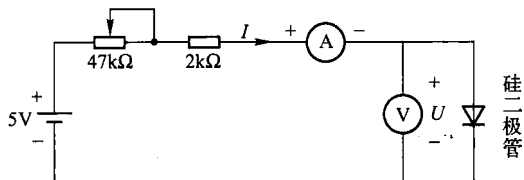


图 1-1-8 非线性元件“二极管”的伏安特性测量电路

表 1-1-2 二极管伏安特性

$I/\text{mA}$	0	0.20	0.40	0.60	0.80	1.0	1.5	2.0
$U/\text{V}$	0							

#### 3. 测试非线性电阻(钨丝小灯泡)的伏安特性

测试电路如图 1-1-9 所示,按图接线并测试表 1-1-3 中的数据。

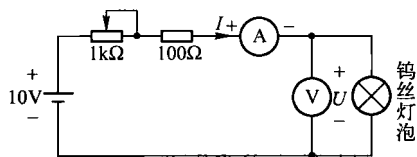


图 1-1-9 非线性电阻的伏安特性测量电路

表 1-1-3 钨丝小灯泡的伏安特性

I/mA	0	10	15	18	20	25	30	40	50	60
U/V	0									

#### 四、预习要求

- (1) 复习万用表的工作原理和使用方法。
- (2) 根据实验电路图以及电工电子实验台的元件分布,画出实验电路接线图。

#### 五、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) 回答思考题(2)。

#### 六、思考题

- (1) 欧姆表在测量之前为什么要先调零?
- (2) 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  $R \times 1$  挡或  $R \times 10k\Omega$  挡?
- (3) 为了提高测量精度,应如何选择表计量程?

#### 七、仪器与器材

- (1) 电工电子实验台 1 台。
- (2) 万用表(500-2 型) 1 只。

## 实验二 网络定理的测试

### 一、实验目的

- (1) 验证基尔霍夫定律和特勒根定理之一,加深对电路基本定律适用范围的认识。
- (2) 验证叠加定理,加深对线性电路叠加性和比例性的认识。
- (3) 验证戴维南定理,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. 基尔霍夫定律和特勒根定理之一

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非时变电路,在任一瞬间,任一节点的各支路电流必须满足  $\sum_{k=1}^m i_k = 0$  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一定满足  $\sum_{k=1}^m u_k = 0$  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。而特勒根定理之一是在基尔霍夫两个定律的基础上引用了网络的拓扑性质推导而来的,其公式为  $\sum_{k=1}^b u_k i_k = 0$  ( $b$  个支路)。其中,当支路电压  $u_k$  与支路电流  $i_k$  的参考方向取向一致时,其支路电压和电流的乘积项  $u_k i_k$  取正号;反之,取负号。这个定理表明,任何一个网络其全部支路所吸收和发出的功率之和恒等于零。以上 3 个定律和定理分别基于电流连续性原理、电位的单值性和能量守恒。

## 2. 叠加定理

叠加定理是指在线性电路中,任何一个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或减小  $k$  倍时,由它作用在各元件上的电压或电流也增加或减小  $k$  倍。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. 戴维南定理

戴维南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 $U_{oc}$ 的测定

移去二端网络端口处的负载,测量开路电压,即得。

### (2) 等效电阻 $R_o$ 的测定(两种方法)

方法一:在器件允许的条件下测出端口处的短路电流  $I_{sc}$ ,利用公式  $R_o = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$  计算  $R_o$ 。

方法二:测量输出端口处的负载电压  $U_L$ ,利用公式  $R_o = \left(\frac{U_{oc}}{U_L} - 1\right) R_L$  计算  $R_o$ ,其中  $R_L$  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 1-2-1 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 端相连,若电压表指针顺时针偏转,则读数取正,说明参考方向与真实方向是一致的;反之,电压表指针逆时针偏转,电压表读数为负,说明参考方向与真实方向相反。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与分析时应一致,不得变动。

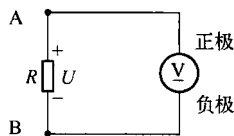


图 1-2-1 电压极性的判别

### 三、实验内容

#### 1. 验证基尔霍夫定律

按图 1-2-2 所示电路接线,在电源  $E_1$ 、 $E_2$  都供电时用万用表测量各电阻两端电压和各支路电流,并将测得的数据计入表 1-2-1 中。

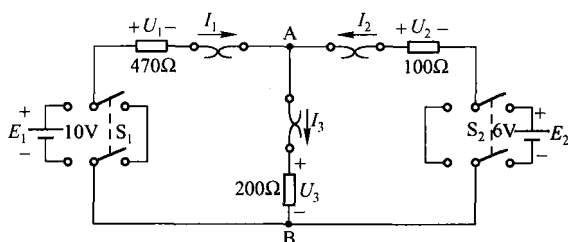


图 1-2-2 实验电路

表 1-2-1 基尔霍夫定律的验证

$U_1/V$	$U_2/V$	$U_3/V$	$I_1/mA$	$I_2/mA$	$I_3/mA$

#### 2. 验证线性电路的叠加性和比例性

(1) 仍用图 1-2-2 所示电路,按表 1-2-2 要求的内容测试数据。

表 1-2-2 叠加性的验证

状 态	测量电量					
	$U_1/V$	$U_2/V$	$U_3/V$	$I_1/mA$	$I_2/mA$	$I_3/mA$
$E_1$ 、 $E_2$ 同时作用						
$E_1$ 单独作用						
$E_2$ 单独作用						
叠加结果						

(2) 改接图 1-2-2 所示电路,使  $E_2=0V$ , $E_1$  分别为 10V 和 5V 时,测试表 1-2-3 中的数据。

表 1-2-3 比例性的验证

状 态	测量电量					
	$U_1/V$	$U_2/V$	$U_3/V$	$I_1/mA$	$I_2/mA$	$I_3/mA$
$E_1=10V$						
$E_1=5V$						
比较结果						

#### 3. 验证戴维南定理

(1) 测试如图 1-2-2 所示的 A、B 两点处端口网络的等效电路参数  $U_{oc}$  和  $R_o$ ,其中  $200\Omega$  电阻是端口网络的负载(注意:测定  $U_{oc}$  时,电源  $E_1$ 、 $E_2$  同时供电,测定  $R_o$  时,可选用原理中的方法二)。

(2) 由直流稳压源提供  $U_{\infty}$  值, 由电阻箱提供  $R_0$  值并与负载电阻  $200\Omega$  串联构成一个等效电路。用万用表测量负载电阻  $200\Omega$  两端的电压及其流过的电流, 并与表 1-2-2 中相关的数据进行比较验证戴维南定理。

#### 四、注意事项

注意测量值的取值符号即参考方向问题; 注意仪表量程的选择。

#### 五、预习要求

- (1) 用基尔霍夫定律计算出表 1-2-2 中的数据。
- (2) 用戴维南定理求出图 1-2-2 所示的 A、B 两端网络的等效电路参数  $U_{\infty}$  和  $R_0$ 。
- (3) 根据实验电路图 1-2-2 以及电工电子实验台的元件分布画出实验电路接线图。

#### 六、报告要求

- (1) 完成预习要求(1)、(2)、(3)。
- (2) 由实验数据验证各网络定理。

#### 七、仪器与器材

- (1) 电工电子实验台 1 台。
- (2) 万用表(500-2 型) 1 只。

## 实验三 受控源的研究

### 一、实验目的

- (1) 通过测试受控源的控制特性和负载特性, 加深对受控源特性的认识。
- (2) 通过实验初步掌握含有受控源线性网络的分析方法。
- (3) 掌握直流稳压源、直流稳流源的正、负电源供电方式。

### 二、实验原理

电源可分为独立电源(如干电池、发电机等)与非独立电源(或称受控源)两种。独立电源的电动势或电激流是某一固定数值或某一时间函数, 不随电路其余部分的状态而改变, 而且理想独立电压源的电压不随其输出电流而改变, 理想独立电流源的输出电流与其端电压无关, 独立电源作为电路的输入, 它代表了外界对电路的作用。受控源与独立电源不同, 受控电源的电动势或电激流则随网络中另一支路的电流或电压而变化, 它表示了电子器件中所发生的物理现象的一种模型。受控源又与无源元件不同, 无源元件的电压和它自身的电流有一定的函数关系, 而受控源的电压或电流则与另一支路(或元件)的电流或电压有某种函数关系, 当受控源的电压(或电流)与控制元件的电压(或电流)成正比变化时, 该受控源是线性的。理想受控源的控制支路中只有一个独立变量(电压或电流), 另一个独立变量等于零, 即从入口看, 理想受控源或者是短路, 即输入电阻  $R_1=0$ , 因而  $V_1=0$ ; 或者是开路, 即输入电导  $G_1=0$ , 因而输入电

流  $I_1=0$ 。从出口看,理想受控源或者是一个理想电流源或者是一个理想电压源。受控源有两对端钮,一对输出端钮,一对输入端钮,输入端用来控制输出端电压或电流的大小,施加于输入端的控制量可以是电压或是电流。因此,有两种受控电压源,即电压控制电压源 VCVS 及电流控制电压源 CCVS。同样,受控电流源也有两种,即电压控制电流源 VCCS 及电流控制电流源 CCCS,如图 1-3-1 所示。受控源在网络分析中已经成为一个与电阻、电感以及电容等无源元件同样经常遇到的电路元件。

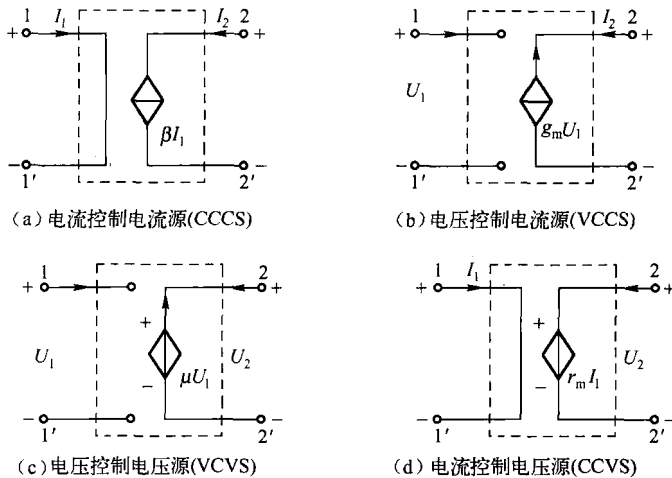


图 1-3-1 受控源的类型

受控源的控制端与受控端的关系式称转移函数,四种受控源的转移函数参量分别用  $\beta$ ,  $g_m$ ,  $\mu$ ,  $r_m$  表示,它们的定义如下:

- (1) CCCS:  $\beta = i_2 / i_1$  转移电流比(或电流增益);
- (2) VCCS:  $g_m = i_2 / u_1$  转移电导;
- (3) VCVS:  $\mu = u_2 / u_1$  转移电压比(或电压增益);
- (4) CCVS:  $r_m = u_2 / i_1$  转移电阻。

### 三、实验内容

#### 1. CCVS 的伏安特性及转移电阻 $r_m$ 的测试

(1) 实验线路如图 1-3-2 所示。

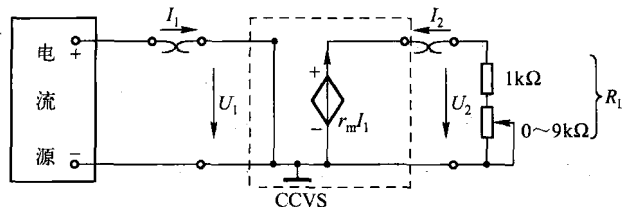


图 1-3-2 CCVS 伏安特性及转移电阻  $r_m$  测试实验线路图







③ 固定  $R_L = 1k\Omega$ , 改变稳流电源输出电流  $I$ , 为正负不同数值时分别测量  $U_1, U_2, I_2$ , 所测数据列于表 1-3-6 中, 并计算电流增益系数  $\beta$ , 并绘制 CCCS 输入伏安特性曲线  $U_1 = f(I_1)$  与转移特性曲线  $I_2 = f(I_1), \bar{\beta} = \sum_{n=1}^n \beta_n / n$ 。

表 1-3-6 测量  $U_1, U_2, I_2$

$I_1 / \text{mA}$	$U_1 / \text{V}$	$U_2 / \text{V}$	$I_2 / \text{mA}$	$\beta = I_2 / I_1$	$\bar{\beta} = g_m y_m$
5					
2					
-2					
-5					

#### 4. VCVS 的伏安特性及电压增益系数 $\mu$ 的测试

(1) 实验线路如图 1-3-5 所示。

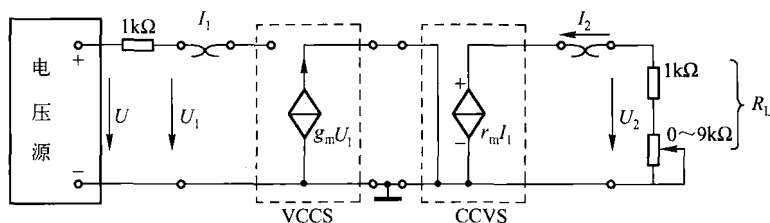


图 1-3-5 VCVS 伏安特性及电压增益系数  $\mu$  测试实验线路图

VCVS 的传输矩阵为: (理想受控源)  $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1/\mu & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$

VCCS 与 CCVS 级联合后合成传输矩阵为:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & -1/g_m \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1/r_m & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/g_m r_m & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

比较两式可得:  $\mu = -g_m r_m$ 。

(2) 实验方法。

① 将实验台面板上 VCCS 的输出端与 CCVS 的输入端连接, 并接好电源和负载电阻, 然后接通电源开关。公共端地线已在内部接通。

② 调节稳压电源输出电压, 使  $U_1 = 5\text{V}$  并测量  $U$  的值, 在  $1k \sim \infty$  范围内改变  $R_L$  的数值, 测量出  $U_2, I_2$  值。所测数据列于表 1-3-7 中, 并绘制 VCVS 的外部特性曲线  $U_2 = f(I_2)$ 。

表 1-3-7  $U = \quad \text{V} \quad U_1 = 5\text{V} \quad I_1 = 0\text{mA}$

$R_L / \Omega$	1k	2k	3k	4k	5k	6k	7k	8k	9k	10k	$\infty$
$U_2 / \text{V}$											
$I_2 / \text{mA}$											