



普通高等教育实验实训规划教材

电气信息类

电路实验

钟建伟 主 编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育实验实训规划教材

电气信息类

电路实验

主 编 钟建伟
编 写 易金桥 方海兵
主 审 刘耀年



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育实验实训规划教材（电气信息类）。

本书为“电路理论基础”和“电路分析基础”课程配套的实验指导教材。全书分为三部分，共包括 35 个实验。其中，基础实验 19 个，综合实验 9 个，设计性实验 7 个，可供不同层次的教学选用。本书内容典型、丰富，注重系统实验方法和实验技能的训练，注重实践能力的培养。

本书可作为普通高等院校本科电气信息类专业和高职高专电力技术类专业的电路实验教材，也可作为函授教材，还可作为相关工程技术人员参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路实验/钟建伟主编. —北京：中国电力出版社，2009
普通高等教育实验实训规划教材·电气信息类
ISBN 978-7-5083-8889-2

I. 电… II. 钟… III. 电路—实验—高等学校—教材
IV. TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 084796 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 8 月第一版 2009 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 7.5 印张 176 千字

定价 12.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

“电路”是电气信息类本、专科专业的一门重要专业基础课,具有理论应用性与技术实践性的鲜明特点。其中,电路实验是整个教学过程的重要组成部分。

本书基于理论与实践并重的思想,在内容安排上注重对学生基本实验技能的训练。旨在通过实验,使学生掌握连接电路、电工测量、故障排除等实验技巧,掌握常用电工仪器仪表的基本原理、使用方法,以及数据的采集、处理和各种现象的观察、分析方法;培养学生用基本理论分析问题、解决问题的能力,培养学生严肃认真的科学态度、踏实细致的实验作风;开发学生的创新与动手能力。

本书共选编了 35 个实验,其中包括基础实验 19 个、综合实验 9 个、设计性实验 7 个。

本书由湖北民族学院钟建伟、易金桥和方海兵编写完成。其中,方海兵负责编写基础实验部分,钟建伟负责编写综合实验部分,易金桥负责绘图和编写设计性实验部分。最后由钟建伟担任全书的统稿和校订工作。东北电力大学刘耀年教授担任本书主审。

限于编者的水平,本书在许多方面都可能存在疏漏,衷心希望读者批评指正。通信地址:湖北民族学院信息工程学院(邮编:445000)。

E-mail: zhjwei163@163.com

编 者

2009 年 6 月于湖北民族学院

目 录

前言

绪论..... 1

第一部分 基础实验

实验一	基本电工仪表的使用与测量误差的计算.....	3
实验二	电阻元件伏安特性的测绘.....	6
实验三	受控源研究.....	8
实验四	基尔霍夫定律的验证	13
实验五	电压源、电流源及其等效变换的研究	16
实验六	线性电路叠加性和齐次性的研究	18
实验七	特勒根定理和互易定理的验证	20
实验八	戴维南定理——有源二端网络等效参数的测定	24
实验九	一阶电路暂态过程的研究	27
实验十	正弦稳态交流电路电压、电流相量的研究	30
实验十一	观测周期性信号的有效值、平均值和幅值	32
实验十二	交流串联电路的研究	34
实验十三	交流电路频率特性的测定	36
实验十四	三相电路电压、电流的测量	39
实验十五	单相电能表的校验	41
实验十六	单相铁芯变压器特性的测试	43
实验十七	直流二端口网络传输参数的测定	46
实验十八	负阻抗变换器	49
实验十九	回转器特性测试	52

第二部分 综合实验

实验二十	减小仪表测量误差的方法研究	55
实验二十一	最大功率传输条件的研究	58
实验二十二	二阶电路暂态过程的研究	60
实验二十三	提高功率因数的方法研究	62
实验二十四	RC 网络频率特性和选频特性的研究	65
实验二十五	RLC 串联谐振电路的研究	68
实验二十六	三相电路功率的测量方法研究	70

实验二十七	互感线圈电路的研究	73
实验二十八	均匀传输线的仿真实验研究	76

第三部分 设计性实验

实验二十九	欧姆表的设计	80
实验三十	模拟运算电路的设计	81
实验三十一	信号发生器电路的设计	85
实验三十二	有源滤波器的设计	87
实验三十三	耦合谐振电路的设计	94
实验三十四	可编程控制器件的应用设计	100
实验三十五	计算机仿真实验设计	106
参考文献		112

绪 论

电路实验是电类各专业重要的实践性教学环节,是理论联系实际的重要途径。通过电路实验学生们可以进行电路实验基本技能的训练,验证和巩固所学的理论知识,培养实际动手能力,掌握科学实验的方法。

一、电路实验课的教学目的

(1) 增加感性认识,巩固和扩展电路理论知识,加深对基本理论的理解,培养实际工作能力。

(2) 学习实验的基本知识,进行实验技能的训练,掌握常用电工仪器的选用方法及测试技术。

(3) 应用理论知识对实验结果进行数据处理和理论分析,提高分析和解决问题的能力。

(4) 养成良好的实验及安全用电习惯,培养严肃的工作态度、严格的工作纪律和严谨的工作作风,为今后从事科学研究及专业技术工作打下良好的基础。

二、实验课的要求

(1) 实验前的预习:

1) 明确本次实验的目的、内容、步骤和具体要求,结合有关原理复习相关理论。了解完成实验的方法和步骤,拟出实验接线图及实验结果的记录表格。

2) 理解并记住本次实验的注意事项。对实验中需要的仪器设备原理及使用方法作初步了解。

3) 对实验可能产生的结果进行预估,以确定测试项目、实验测量次数和数据采集量、操作步骤等。

(2) 在实验过程中,理解并记住实验注意事项。对实验中所用仪器、设备的作用及使用方法要有初步了解。实验结束后分析实验数据并总结实验。

(3) 实验后按规定的格式和要求,在规定的时间内完成实验报告。完整的实验报告应该附有指导教师签字的原始记录。

三、实验注意事项

1. 使用仪表的注意事项

(1) 电工仪表均为贵重物品,务必加以爱护,会用得小心使用,不会用的,学会后再使用。

(2) 对实验用的仪器,应做初步检查。为此,可轻摇一下仪表,指针摆动不灵活或者不动的应调换;未通电前,仪表指针应指“零”位,倘不在“零”位,则用螺丝刀调整到“零”位。一般情况下,实验用的仪表实验室已调整好,可省略检查手续。

(3) 应清楚仪表的类别,是直流还是交流,是电压表还是电流表,是平放还是立放,不能用错。特别是应明确仪表的量程是否符合实验要求,对多量程的仪表,尤其要特别小心不能用错。

(4) 明确仪表的刻度盘上的每一格代表的数值,对多量程的仪表应特别注意。一般先读

出格数,并记录下使用的量程,待实验告一段落时,再换算成实际数值。

2. 接线的注意事项

(1) 接线前,首先了解各种仪器、设备和元器件的额定值、使用方法以及电源的情况。

(2) 实验中要用根据实验任务和仪器、设备条件,合理安排各仪器、设备的位置。布线时避免不必要的交叉和跨越设备,防止出现影响操作、读数及产生不安全因素。电源设备靠近电源开关,仪表严禁放置歪斜或重叠。力求做到安全方便、整齐清晰,使实验操作顺手,又易于观察和读数。

(3) 接线原则是“先串后并、先总后分”。接线前应将所有电源开关断开,并可调设备旋钮、手柄置于最安全位置。接好线后,仔细检查无误,经教师复查后才可接接通电源。合电源时,要注意各个仪表、设备工作是否正常。

(4) 实验完毕,先切断电源,再根据实验要求核对实验数据,然后教师审核正确后拆线,并将设备仪器排放整齐,待教师检查后,方可离开实验室。

四、实验报告的要求

实验报告是实验工作的全面总结,也是工程技术报告的模拟训练,要用简洁的形式将实验的过程和结果完整、真实地表达出来。实验报告中一般应包括下列各项:

- (1) 实验目的。
- (2) 简述工作原理(不要照搬指导书上内容),对特殊的设备加以说明。
- (3) 实验内容,主要包括画出线路图,认真用原始记录填写表格。
- (4) 主要仪表、设备。
- (5) 数据处理,包括实验数据及计算结果的整理、分析、误差原理的估计等。
- (6) 回答思考题。

五、实验中的安全用电规则

安全用电是实验中始终需要注意的重要的事项。为了做好实验,确保人身和设备的安全,必须严格遵守下列安全用电规则:

- (1) 不能随意合开关,尤其是总开关,未经允许绝对不能私自开关。
- (2) 实验中的接线、改接、拆线都必须在切断电源的情况下进行(包括安全电压),线路连接完毕再送电。
- (3) 在电路通电情况下,人体严禁接触电路中不绝缘的金属导线和带电连接点。万一遇到触电事故,应立即切断电源,保证人身安全。
- (4) 实验中,特别是设备刚投入运行时,要随时注意仪表、设备的运行情况,如发现超量程、过热、异味、冒烟、火花等现象,应立即断电,并请指导老师检查。
- (5) 实验时应精力集中,同组者必须密切配合,接通电源前必须通知同组同学,以防止触电事故。
- (6) 了解有关电气设备的规格、性能及使用方法,严格按要求操作。注意仪表、仪器的种类、量程和连接方法,保证设备安全。

第一部分 基础实验

实验一 基本电工仪表的使用与测量误差的计算

一、实验目的

- (1) 熟悉实验台上仪表的使用及布局。
- (2) 掌握电压表、电流表的使用方法。
- (3) 了解电压表、电流表内电阻的测量方法。
- (4) 了解电工仪表测量误差的计算方法。

二、预习与思考

- (1) 用 100mA 量程、0.5 级电流表测量电流时,可能产生的绝对误差为多少?
- (2) 用量程为 10A 的电流表测量实际值为 8A 电流时,仪表读数为 8.1A,求测量的绝对误差和相对误差。

三、实验设备仪器及元器件

- (1) 直流数字电压表、直流数字电流表。
- (2) 恒压源 (双路 0~10V 可调)。
- (3) 恒流源 (0~200mA 可调)。
- (4) 电阻箱,固定电阻,电位器。
- (5) 磁电式表头 (1mA、160 Ω),倍压电阻,分流电阻,电位器。

四、实验原理

1. 误差

用仪表测量一个电量时,仪表的指示值 A_x 与被测量的实际值 A_0 之间,不可避免地存在一定的误差。误差有两种表示方法,即

绝对误差,其表达式为

$$\Delta = A_x - A_0$$

相对误差,其表达式为

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

通常称仪表的绝对误差 Δ 与量程 A_m 的比值的百分数为基本误差。最大基本误差 (即最大绝对误差) Δ_m 与量程 A_m 的比值的百分数为仪表的准确度,其表达式为

$$\delta = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\%$$

仪表的级别就是仪表准确度的等级。根据国家标准,指示式仪表在有效量程范围内和规定使用条件下测量时,其基本误差不得超过相应的准确度级别。国标规定电压表、电流表的准确度有若干等级,各等级对应的最大基本误差表见表 1-1。

2. 误差产生原因

引起电压表、电流表测量误差的原因很多,本实验只讨论有仪表内阻不理想引起的误

差。在实际电路测量中,需将电压表与待测电压的支路并联,电流表与待测电流的支路串联,如图 1-1 所示。在理想的情况下,测量仪表的接入不应该影响被测电路的工作状态,以保证测量结果不失真。这就要求电压表的内阻为无穷大,电流表的内阻为零。但实际使用的电压表和电流表一般都不能满足上述要求,即它们的内阻不可能为无穷大或者为零(通常用 R_V 和 R_A 分别表示电压表和电流表的内阻)。因此,当电压表或电流表接入电路时都会使电路原来的状态产生变化,使被测的读数值与电路原来的实际值之间产生误差。

表 1-1

电压表、电流表的准确度等级与最大基本误差

准确度等级	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0
最大基本误差(%)	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.0	± 2.5	± 3.0	± 5.0

3. 分流法测量电流表的内阻

如图 1-2 所示电路,设被测电流表的内阻为 R_A ,满量程(又称为满偏)电流为 I_m 。首先断开开关 S,调节恒流源的输出电流 I_s ,使电流表指针达到满偏转,即 $I = I_A = I_m$ 。然后合上开关 S,并保持 I_s 值不变,调节可变电阻 R 的阻值,使电流表的指针指在 $1/2$ 满量程位置,即 $I_A = I_s = \frac{I_m}{2}$,则电流表的内阻 $R_A = R$ 。

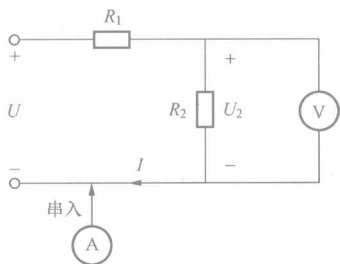


图 1-1 电压与电流的测量

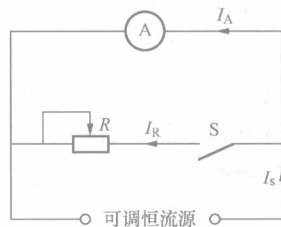


图 1-2 分流法测量电流表内阻电路

4. 分压法测量电压表的内阻

如图 1-3 所示电路,设被测电压表的内阻为 R_V ,满量程电压为 U_m 。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,调节可变电阻 R 的阻值,使电压表的指针指在 $1/2$ 满量程位置(称为半偏),即 $U_V = U_R = \frac{U_m}{2}$,则电压表的内阻 $R_V = R$ 。

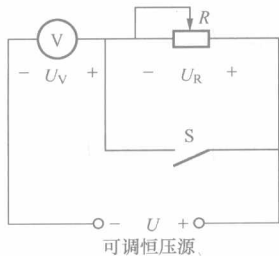


图 1-3 分压法测量电压表内阻电路

五、实验内容

1. 根据分流法原理测定直流电流表 1mA 和 10mA 量程的内阻

实验电路如图 1-2 所示。图中 R 为电阻箱,由 $\times 100\Omega$ 、 $\times 10\Omega$ 、 $\times 1\Omega$ 三组串联组成。10mA 电流表由 1mA 电流表与分流电阻并联而成。电流表都需要与标准直流数字电流表串联(采用 20mA 量程档),以校准满量程。实验电路中的电源采用可调恒流源。将实验测量数据记入表 1-2 中。

2. 根据分压法原理测定直流电压表 1V、10V 量程的内阻

实验电路如图 1-3 所示。图中 R 为电阻箱，用 $\times 1\text{k}\Omega$ 、 $\times 100\Omega$ 、 $\times 10\Omega$ 、 $\times 1\Omega$ 四组串联组成。10V 电压表分别用 1V 表头和倍压电阻串联组成。两个电压表都需要与标准直流数字电压表并联。实验电路中的电源采用可调恒压源。将实验测量数据记入表 1-3 中。

表 1-2 电流表内阻测量数据

被测表量程 (mA)	S 断开, 电流表满偏时的值	S 闭合, 电流表半偏时的值	$R(\Omega)$	$R_A(\Omega)$
1				
10				

表 1-3 电压表内阻测量数据

被测表量程 (V)	S 闭合, 电压表满偏时的值	S 断开, 电压表半偏时的值	$R(\Omega)$	$R_V(\Omega)$
1				
10				

六、实验注意事项

(1) 恒压源、恒流源均可通过粗调（分段调）波动开关和细调（连续调）旋钮调节其输出量。在启动这两个电源时，先应将其输出电压调节（或电流调节）旋钮置零位，待实验时慢慢增大。

- (2) 恒压源输出端不允许短路，恒流源输出端不允许开路。
- (3) 电压表并联测量，电流表串联测量，并且要注意仪表极性与量程的合理选择。

七、实验报告要求

- (1) 根据表 1-2 和表 1-3 数据，计算各被测仪表的内阻值，并与实际的内阻值相比较。
- (2) 根据表 1-2 和表 1-3 数据，计算测量的绝对误差与相对误差。
- (3) 回答下列思考题：
 - 1) 根据图 1-2 和图 1-3 已测量出电流表 1mA 档和电压表 1V 档的内阻，是否可直接计算出 10mA 档和 10V 档的内阻？
 - 2) 图 1-4 (a)、(b) 所示为伏安法测量电阻的两种电路。已知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 ，分别求两种电路测电阻 R 的相对误差。

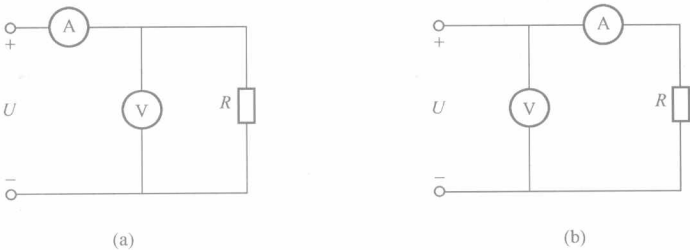


图 1-4 伏安法测电阻电路

实验二 电阻元件伏安特性的测绘

一、实验目的

- (1) 掌握测试线性电阻、非线性电阻元件伏安特性的方法。
- (2) 掌握直流电源、直流电压表、电流表的使用方法。

二、预习与思考

(1) 线性电阻与非线性电阻的伏安特性有何区别？它们的电阻值与通过的电流有无关系？

(2) 如何计算线性电阻与非线性电阻的电阻值？

三、实验仪器设备及元器件

- (1) 直流数字电压表，直流数字电流表。
- (2) 恒压源（双路 0~10V 可调）。
- (3) 电阻箱，固定电阻，电位器，半导体二极管 IN4007，稳压管 2CW51。

四、实验原理

电阻元件的特性可以用电压 u 和电流 i 之间的关系来描述，称之为伏安特性关系。线性电阻的伏安特性可以用欧姆定律来表示，即 $u=Ri$ ，在 $u-i$ 平面上是一条通过坐标原点的直线，如图 2-1 (a) 所示。而非线性电阻元件的电压和电流关系不满足欧姆定律，一般用某种特定的非线性函数来表示。常见的非线性电阻，如钨丝灯泡、普通二极管、稳压二极管，它们的伏安特性分别如图 2-1 (b)、(c)、(d) 所示。在图 2-1 中， $u>0$ 的部分为正向特性， $u<0$ 的部分为反向特性。

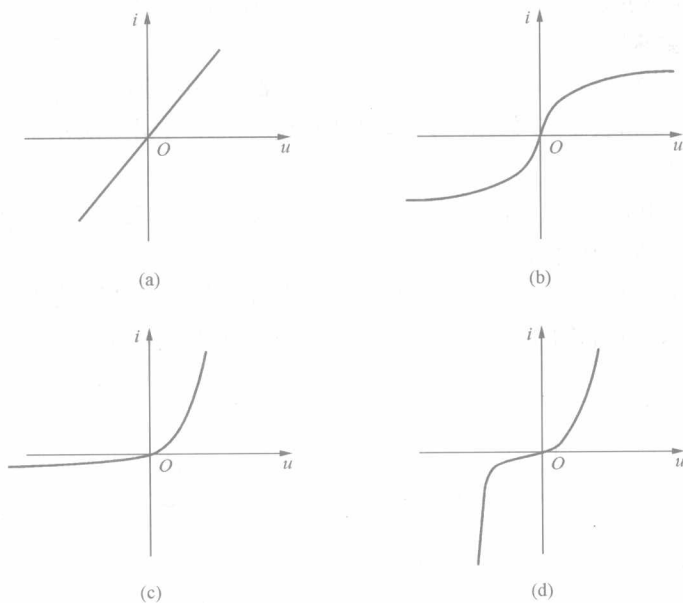


图 2-1 电阻伏安特性曲线

(a) 线性电阻；(b) 钨丝灯泡；(c) 普通二极管；(d) 稳压二极管

实际应用中绘制伏安特性曲线通常采用逐点测试法，即在不同的端电压作用下，测量出相应的电流，然后逐点绘制出伏安特性曲线。根据伏安特性曲线便可计算其各点的电阻值。

五、实验内容

1. 测定线性电阻的伏安特性

按图 2-2 接线。图中的电源 U_s 选用 0~10V 可调恒压源，通过直流数字毫安表与 R_L 连接， R_L 取 1k Ω ，电阻两端的电压用直流数字电压表测量。

调节恒压源的输出电压 U_s ，从零伏开始缓慢地增加（不能超过 10V），在表 2-1 中记下相应电流表的读数。

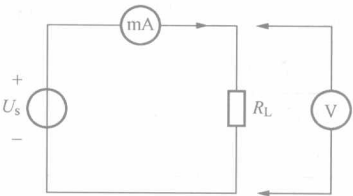


图 2-2 测量线性电阻元件
伏安特性电路

表 2-1 线性电阻伏安特性数据

$U(V)$	0	2	4	6	8	10
$I(mA)$						

2. 测定 6.3V 白炽灯泡的伏安特性

将图 2-2 中的线性电阻 R_L 换成一只 6.3V 的灯泡，重复 1 的步骤，电压不能超过 6.3V，在表 2-2 中记下相应电流表的读数。

表 2-2 6.3V 白炽灯泡伏安特性数据

$U(V)$	0	1	2	3	4	5	6.3
$I(mA)$							

3. 测定半导体二极管的伏安特性

按图 2-3 接线。图中， R 为限流电阻，取 200 Ω ；二极管的型号为 IN4007。测二极管的正向特性时，其正向电流不得超过 25mA，二极管 VD 的正向压降可在 0~0.75V 之间取值，特别是在 0.5~0.75V 之间应多取几个测量点；测反向特性时，将可调稳压电源的输出端正、负极连线互换，调节恒压源的输出电压 U ，从零伏开始缓慢地增加（不能超过 30V），将电流表读数分别记入表 2-3 和表 2-4 中。

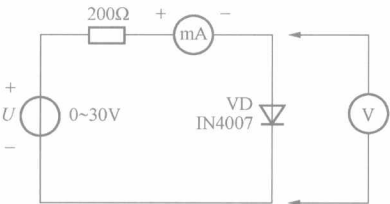


图 2-3 测量半导体二极管
伏安特性电路

表 2-3 二极管正向特性实验数据

$U(V)$	0	0.2	0.4	0.45	0.5	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
$I(mA)$										

表 2-4 二极管反向特性实验数据

$U(V)$	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
$I(mA)$							

4. 测定稳压管的伏安特性

将图 2-3 中的二极管 IN4007 换成稳压管 2CW51, 重复实验内容 3 的测量, 其正、反向电流不得超过 $\pm 20\text{mA}$, 将数据分别记入表 2-5 和表 2-6 中。

表 2-5

稳压管正向特性实验数据

$U(\text{V})$	0	0.2	0.4	0.45	0.5	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
$I(\text{mA})$										

表 2-6

稳压管反向特性实验数据

$U(\text{V})$	0	-1.0	-1.5	-2.0	-2.5	-2.8	-3.0	-3.2	-3.5	-3.55
$I(\text{mA})$										

六、实验注意事项

(1) 测量时, 恒压源的输出电压由零缓慢逐渐增加, 应时刻注意电压表和电流表, 不能超过规定值。

(2) 稳压电源输出端切勿碰线短路。

(3) 测量中, 随时注意电流表读数, 及时更换电流表量程, 勿使仪表超量程。

七、实验报告要求

(1) 根据实验数据, 分别在方格纸上绘制出各个电阻的伏安特性曲线。

(2) 根据伏安特性曲线, 计算线性电阻的电阻值, 并与实际电阻值比较。

(3) 根据伏安特性曲线, 计算白炽灯在额定电压 (6.3V) 时的电阻值。当电压降低 20% 时, 白炽灯阻值为多少?

(4) 请举例说明电路实验中哪些常用元件是线性电阻, 哪些是非线性电阻。它们的伏安特性曲线是什么形状?

实验三 受控源研究

一、实验目的

(1) 加深对受控源的理解。

(2) 熟悉由运算放大器组成受控源电路的分析方法, 了解运算放大器的应用。

(3) 掌握受控源特性的测量方法。

二、预习与思考

(1) 什么是受控源? 了解四种受控源的电路模型、控制量与被控量的关系。

(2) 四种受控源中的转移参量 μ 、 g 、 r 和 β 的意义是什么? 如何测得?

(3) 若受控源控制量的极性反向, 试问其输出极性是否发生变化?

(4) 如何由两个基本的 CCVS 和 VCCS 获得其他两个 CCCS 和 VCVS? 它们的输入输出如何连接?

(5) 了解运算放大器的特性, 分析四种受控源实验电路的输入、输出关系。

三、实验仪器设备及元器件

(1) 直流数字电压表, 直流数字毫安表。

(2) 恒压源 (0~10V 可调)。

(3) 恒流源 (0~2mA 可调)。

(4) 运算放大器 LM741。

四、实验原理

1. 受控源

受控源向外电路提供的电压或电流是受其他支路的电压或电流控制, 因而受控源是双口元件: 一个为控制端口 (或称输入端口), 输入控制量 (电压或电流); 另一个为受控端口 (或称输出端口), 向外电路提供电压或电流。受控端口的电压或电流, 受控制端口的电压或电流的控制。根据控制变量与受控变量的不同组合, 受控源可分为四类。

(1) 电压控制电压源 (VCVS), 如图 3-1 (a) 所示, 其特性为

$$u_2 = \mu u_1$$

式中: μ 称为转移电压比 (即电压放大倍数), $\mu = u_2 / u_1$ 。

(2) 电压控制电流源 (VCCS), 如图 3-1 (b) 所示, 其特性为

$$i_2 = g u_1$$

式中: g 称为转移电导, $g = i_2 / u_1$ 。

(3) 电流控制电压源 (CCVS), 如图 3-1 (c) 所示, 其特性为

$$u_2 = r i_1$$

式中: r 称为转移电阻, $r = u_2 / i_1$ 。

(4) 电流控制电流源 (CCCS), 如图 3-1 (d) 所示, 其特性为

$$i_2 = \beta i_1$$

式中: β 称为转移电流比 (即电流放大倍数), $\beta = i_2 / i_1$ 。

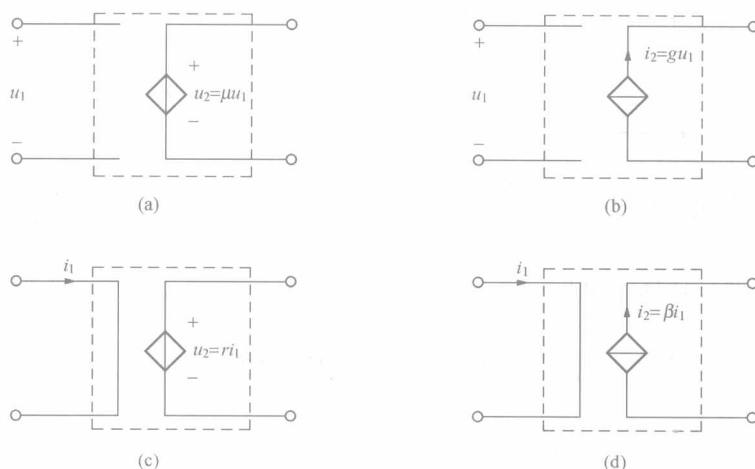


图 3-1 受控源

(a) VCVS; (b) VCCS; (c) CCVS; (d) CCCS

2. 用运算放大器构成的受控源

运算放大器的图形符号如图 3-2 所示。可见, 运算放大器具有两个输入端, 即同相输入端 u_+ 和反相输入端 u_- ; 一个输出端 u_o , 放大倍数为 A , 则 $u_o = A(u_+ - u_-)$ 。对于理想

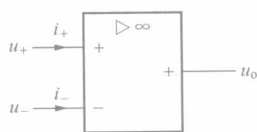


图 3-2 运算放大器的图形符号

运算放大器, 放大倍数 A 为 ∞ , 输入电阻为 ∞ , 输出电阻为 0 , 由此可得出两个特性:

特性 1: $u_+ = u_-$

特性 2: $i_+ = i_- = 0$

(1) 电压控制电压源 (VCVS)。运算放大器构成的电压控制电压源电路如图 3-3 所示。

由运算放大器的特性 1 可知, $u_+ = u_- = u_1$, 则

$$i_{R1} = \frac{u_1}{R_1}, i_{R2} = \frac{u_2 - u_1}{R_2}$$

由运算放大器的特性 2 可知, $i_{R1} = i_{R2}$, 则

$$\frac{u_1}{R_1} = \frac{u_2 - u_1}{R_2}$$

所以

$$u_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) u_1$$

可见, 运算放大器的输出电压 u_2 受输入电压 u_1 控制, 其电路模型如图 3-1 (a) 所示,

转移电压比 $\mu = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ 。

(2) 电压控制电流源 (VCCS)。运算放大器构成的电压控制电流源电路如图 3-4 所示。

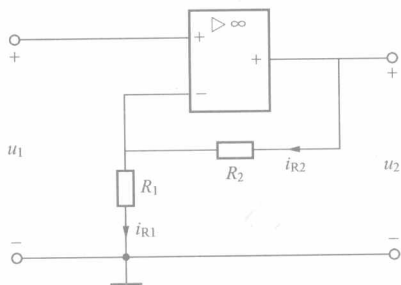


图 3-3 运算放大器构成的电压控制电压源

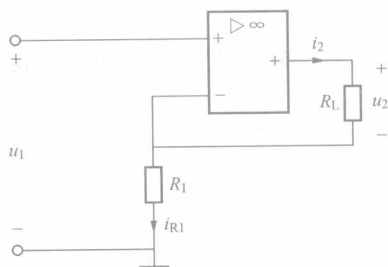


图 3-4 运算放大器构成的电压控制电流源

由运算放大器的特性 1 可知, $u_+ = u_- = u_1$, 则 $i_{R1} = \frac{u_1}{R_1}$ 。由运算放大器的特性 2 可知,

$i_2 = i_{R1} = \frac{u_1}{R_1}$, 即 i_2 只受输入电压 u_1 控制, 与负载 R_L 无关 (实际上要求 R_L 为有限值)。其

电路模型如图 3-1 (b) 所示, 转移电导为 $g = \frac{i_2}{u_1} = \frac{1}{R_1}$ 。

(3) 电流控制电压源 (CCVS)。运算放大器构成的电流控制电压源电路如图 3-5 所示。

由运算放大器的特性 1 可知, $u_- = u_+ = 0$, $u_2 = -R i_R$ 。由运算放大器的特性 2 可知, $i_R = i_1$, 则有 $u_2 = -R i_1$, 即输出电压 u_2 受输入电流 i_1 的控制。其电路模型如图 3-1 (c)

所示, 转移电阻为 $r = \frac{u_2}{i_1} = -R$ 。

(4) 电流控制电流源 (CCCS)。运算放大器构成的电流控制电流源电路如图 3-6 所示。

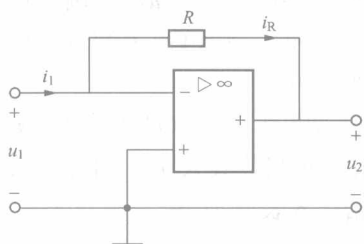


图 3-5 运算放大器构成的电流控制电压源

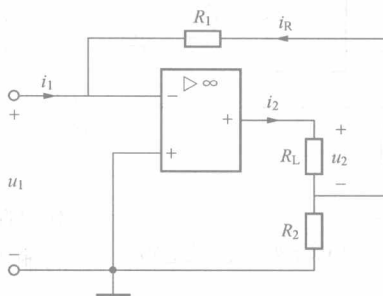


图 3-6 运算放大器构成的电流控制电流源

由运算放大器的特性 1 可知， $u_- = u_+ = 0$ ，则 $i_{R1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i_2$ 。由运算放大器的特性 2 可知， $i_{R1} = -i_1$ ，则有 $i_2 = -\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) i_1$ ，即输出电流 i_2 只受输入电流 i_1 的控制，与负载 R_L 无关。其电路模型如图 3-1 (d) 所示，转移电流比 $\beta = \frac{i_2}{i_1} = -\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$ 。

五、实验任务

1. 测试电压控制电压源 (VCVS) 特性

实验电路如图 3-7 所示。图中， u_1 端接恒压源的可调电压输出端， $R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega$ ， $R_L = 2\text{k}\Omega$ 。

(1) 测试 VCVS 的转移特性 $u_2 = f(u_1)$ 。调节恒压源输出电压 u_1 (以电压表读数为准)，用电压表测量对应的输出电压 u_2 ，将数据记入表 3-1 中。

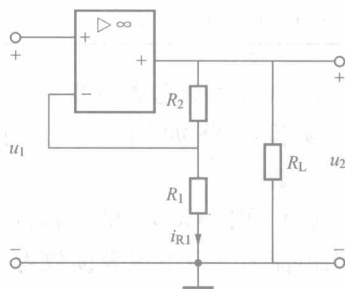


图 3-7 VCVS 特性测试电路

表 3-1 VCVS 的转移特性数据

u_1 (V)	0	1.0	2.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0
u_2 (V)									
u'_2 (V)									

改变电阻 R_1 ，使其 $R_1 = 20\text{k}\Omega$ ，按上述方法测量对应的输出电压，用 u'_2 表示，并将数据记入表 3-1 中。

(2) 测试 VCVS 的负载特性 $u_2 = f(R_L)$ 。

保持 $u_1 = 2\text{V}$ 不变，负载电阻 R_L 采用电阻箱，并调节其大小，用电压表测量对应的输出电压 u_2 ，将数据记入表 3-2 中。

表 3-2 VCVS 的负载特性数据

R_L (Ω)	50	70	100	200	300	400	500	1000	2000
u_2 (V)									