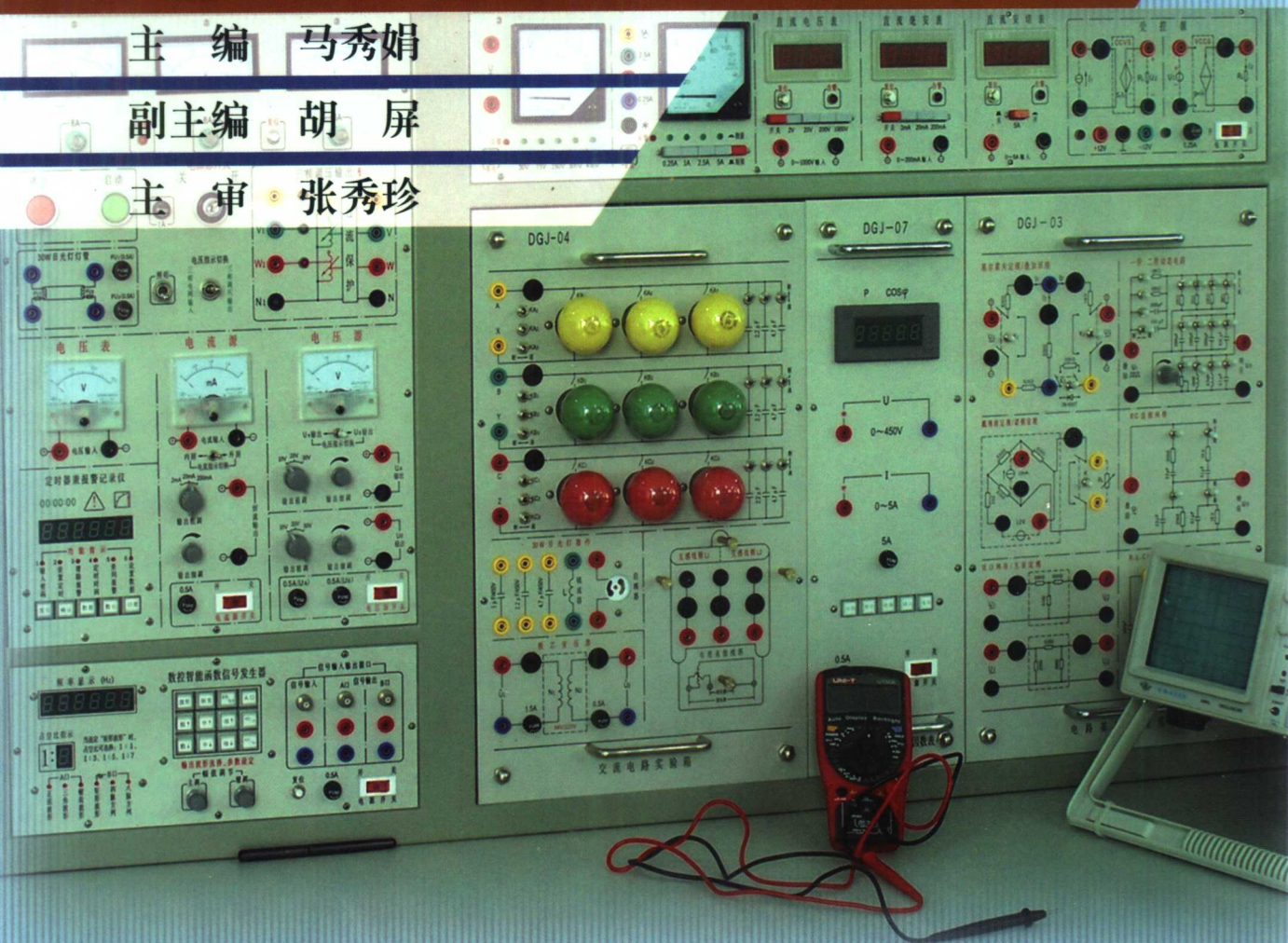


电工电子实践教程

主 编 马秀娟

副主编 胡 屏

主 审 张秀珍



哈尔滨工业大学出版社

电工电子实践教程

主 编 马秀娟
副主编 胡 屏
主 审 张秀珍

哈尔滨工业大学出版社
哈 尔 滨

内 容 简 介

本教材是以原国家教委电工电子相关课程指导委员会的课程基本要求为依据编写的,在编写过程中结合现有的实验设备条件适当加深加宽实验内容,以适应现代技术的发展和教学改革的新形势。

主要包括电路与电机实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验、设计性实验,还有电气测量知识、常用电测量指示仪表、常用电子仪器仪表、常用电路元件的介绍。

本书可作为理工类高等学校本科、专科及高职的相关专业学生电工技术、电路、模拟电子技术、数字电子技术等课程基础实践环节的实验教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子实践教程/马秀娟主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004.6

ISBN 7-5603-2020-1

I.电… II.马… III.① 电工技术—高等学校—教材
② 电子技术—高等学校—教材 IV.① TM ② TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 045341 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
印 刷 肇东粮食印刷厂
开 本 787×1092 1/16 印张 16 字数 382 千字
版 次 2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5603-2020-1/TM.41
印 数 1~4 000
定 价 19.80 元

前 言

电工电子基础实验是工科院校学生电工技术(电路)与电子技术及相关课程的实践性教学环节,是整个教学环节中的重要组成部分。通过实验不仅可以帮助学生巩固和加深理解所学的知识,更重要的是可以提高学生的实践技能、动手能力、初步设计能力,为毕业设计和今后的工作打下必要的电工电子实验基础。

本实验教材是依据原国家教委电工电子相关课程教学指导委员会制订的课程基本要求,结合多数学校现有的实验设备条件编写的,内容包括电路与电机实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验、设计性实验,还有电气测量知识、常用电测量指示仪表、常用电子仪器仪表、常用电路元件的介绍。

本书主要具有以下特点:

(1) 与教改紧密结合。实验内容符合培养学生动手能力、工程实践能力和创新能力培养这一教改的宗旨和目标,有利于培养高素质人才。

(2) 着重于学生实验技能的培养。增加了综合性和设计性实验,使学生能独立组织和进行实验,有利于提高学生的工程技能素质。

(3) 实用性强。本书除必要的实验内容以外,还包括电测量指示仪表、常用电子仪器仪表、常用电路元件、电气测量方面的知识,以便相关课程选用,有较强的实用性。

(4) 覆盖面广。本书内容全面而广泛,覆盖了电工技术、电路、模拟电子技术、数字电子技术所有基础实践环节和所要求的内容,本科、专科及高职的电类、非电类相关专业的学生均可使用,有较大的选择余地。

本书是在哈尔滨工业大学(威海)电工电路教研室全体教师多年的实验教学经验基础上编写的,由马秀娟主编,胡屏任副主编,张秀珍主审。参加编写的有马秀娟(绪论、第一章实验十七~二十四、第三章、第四章、第五章、第六章、第七章 7.2 节、7.4 节、第八章),胡屏(第一章实验一~十六、第二章),井岩(第七章 7.1 节和 7.3 节),徐慧(附录)。

许承斌教授对本书的编写提出了许多宝贵的意见,林连山做了部分校对工作,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥和疏漏之处,衷心希望广大师生批评指正,以便完善和提高。

编 者

2004 年 3 月

目 录

第一章 电路与电机	(1)
实验一 电阻元件端口特性的测量	(1)
实验二 基尔霍夫定律与电位的研究	(4)
实验三 电源的外特性及电源的等效变换	(7)
实验四 受控源特性的研究	(10)
实验五 等效电源定理与叠加定理	(14)
实验六 特勒根定理和互易定理	(17)
实验七 二端口网络等效参数的测定	(19)
实验八 交流电路等效参数的测量	(22)
实验九 日光灯电路与功率因数的提高	(26)
实验十 互感电路的研究	(29)
实验十一 最大功率传输定理	(32)
实验十二 示波器和信号发生器的使用	(34)
实验十三 非正弦周期电流电路	(37)
实验十四 串联谐振电路	(39)
实验十五 负阻抗变换器	(43)
实验十六 回转器及其应用	(47)
实验十七 三相交流电路及其功率的测量	(50)
实验十八 一阶 RC 电路的暂态响应及应用	(57)
实验十九 二阶串联电路的暂态响应	(61)
实验二十 单相变压器特性测试	(63)
实验二十一 鼠笼式异步电动机的正反转控制	(65)
实验二十二 三相鼠笼式异步电动机的启动控制	(69)
实验二十三 PLC 基本指令编程及其控制应用	(72)
实验二十四 PLC 微机编程软件 NPST-GR 的使用	(81)
第二章 模拟电子技术实验	(89)
实验一 共射极放大电路	(89)
实验二 射极输出器	(93)
实验三 负反馈放大电路	(95)
实验四 集成运放的基本应用 I——信号运算电路	(98)
实验五 集成运放的基本应用 II——电压比较器	(100)
实验六 集成运放的基本应用 III——波形发生器	(103)
实验七 低频功率放大器——OTL 功率放大器	(107)

实验八 RC 正弦波振荡器	(110)
实验九 LC 正弦波振荡器	(113)
实验十 集成运放的基本应用Ⅳ——有源滤波器	(115)
实验十一 直流稳压电源Ⅰ——串联型晶体管稳压电路	(118)
实验十二 直流稳压电源Ⅱ——集成稳压器	(122)
第三章 数字电子技术实验	(125)
实验一 TTL 与非门的参数和特性测试	(125)
实验二 门电路的逻辑功能测试	(128)
实验三 半加器与全加器	(131)
实验四 组合逻辑电路的应用	(134)
实验五 组合逻辑电路设计	(137)
实验六 编码、译码显示电路	(138)
实验七 触发器	(142)
实验八 计数器的设计	(146)
实验九 集成触发器的应用	(149)
实验十 中规模计数器	(152)
实验十一 串行移位电路	(154)
实验十二 555 定时器的应用	(157)
实验十三 数模转换电路	(161)
实验十四 模数转换电路	(165)
第四章 综合性与设计性实验	(168)
实验一 红外发射管与接收管的应用	(168)
实验二 三相异步电动机的电子控制	(171)
实验三 声控灯电路	(174)
实验四 基本运算单元电路的设计	(176)
实验五 波形产生电路的设计	(176)
实验六 直流稳压电源的设计	(177)
实验七 抢答器逻辑电路设计	(177)
实验八 数字体温计电路设计	(178)
实验九 交通信号灯控制逻辑电路设计	(178)
实验十 数字电子钟的电路设计	(179)
第五章 电工测量技术	(180)
5.1 基本测量技术	(180)
5.2 测量误差	(183)
5.3 测量结果的数据表示方法	(186)
5.4 实验曲线的绘制方法	(188)
第六章 常用电测量仪表	(191)
6.1 电测量仪表的分类	(191)

6.2 磁电系仪表	(191)
6.3 电磁式仪表	(194)
6.4 电动式仪表	(195)
第七章 常用电子仪器仪表	(200)
7.1 数字万用表	(200)
7.2 示波器	(203)
7.3 函数信号发生器	(212)
7.4 晶体管毫伏表	(214)
第八章 常用电路元件与器件	(217)
8.1 电阻器	(217)
8.2 电位器	(221)
8.3 电容器	(222)
8.4 电感器	(224)
8.5 半导体分立器件	(225)
8.6 半导体集成电路	(231)
附录 各芯片的管脚图	(239)

第一章 电路与电机

实验一 电阻元件端口特性的测量

一、实验目的

- (1) 了解线性、非线性电阻元件的伏安特性,学习其测试方法。
- (2) 掌握直流电压表、直流电流表、直流稳压电源的使用方法。

二、实验仪器

直流电压表,直流电流表,可调直流稳压电源,线性电阻器,钨丝灯,普通二极管,稳压二极管。

三、预习要求

- (1) 了解线性、非线性电阻元件的端口特性及其测试方法。
- (2) 了解直流稳压电源、直流电压表、直流电流表的使用方法。

四、实验原理

二端元件的端口特性可用该元件的端电压 u 与端电流 i 之间的函数关系来表征。如果 u 与 i 之间存在代数函数关系,则该元件称为电阻元件。把这个函数关系在 $u-i$ 平面上描绘出来,成为该元件的端口特性曲线。电阻元件的端口特性曲线是一条通过坐标原点的直线或曲线。

1. 电阻元件的分类

根据元件的端口特性,可将电阻元件分为线性电阻与非线性电阻两大类。

(1) 线性电阻。满足欧姆定律的电阻元件称为线性电阻,其端口特性曲线是 $u-i$ 平面上一条通过坐标原点的直线,该直线的斜率即为线性电阻的阻值,如图 1.1(a) 所示。任意测取一组电压和电流值,可计算出电阻值 $R = U/I$ 。

实验室中常用的电阻器件如碳膜电阻、金属膜电阻以及绕线电阻等,它们在较低频率下使用时线性度较好,可近似当做线性电阻处理。

(2) 非线性电阻。不符合欧姆定律的电阻元件称为非线性电阻,元件上的电压和电流不成正比,其端口特性曲线是 $u-i$ 平面上一条曲线(非直线)。根据该曲线是否对称于原点,非线性电阻又可以分为双向型(对称原点)和单向型(不对称原点)两种。如图 1.1(b)、(c)、(d) 所示。其中:

① 钨丝灯(双向型)。如图 1.1(b) 所示,正常工作时,灯丝处于高温状态,灯丝电阻随

温度升高(即电流增大)而增大。

② 普通二极管(单向型)。如图 1.1(c) 所示,外加正向电压时,若电压很小时电流近似为零,当电压继续增大后,电流随电压的升高按指数规律上升,其正向压降很小(锗管: $0.2 \sim 0.3 \text{ V}$, 硅管: $0.5 \sim 0.7 \text{ V}$)。外加反向电压时,电流很小,近似为零。因此二极管具有单向导电性。但是,当反向电压过高并超过管子的极限值时,则会导致反向电流急剧增加,发生反向击穿而损坏二极管。

③ 稳压二极管(单向型)。如图 1.1(d) 所示,其正向特性与普通二极管相似,反向特性则差别很大。当反向电压很小时,电流近似为零,当反向电压增大到一定数值(即稳压管的稳定电压 U_Z) 后电流将急剧增加,此后,电流可以在很大范围内变化,而电压基本保持稳定。

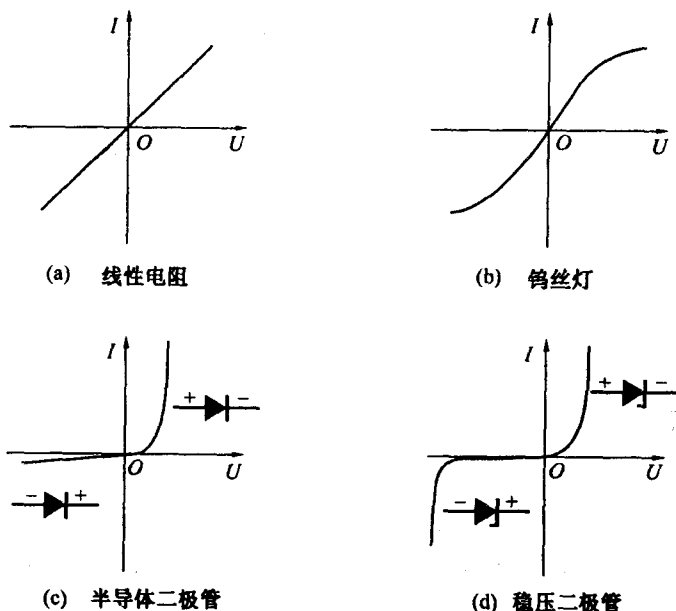


图 1.1 电阻元件的伏安特性曲线

此外,非线性电阻还有很多种,如热敏电阻、光敏电阻、发光二极管和隧道二极管等等。

2. 电阻元件端口特性的测量

在待测元件上施以电压(或电流),测出多组相应的电压、电流值,便得到了被测元件的端口特性。由于在测量中采用电压表(伏特表)和电流表(安培表),所以称其为伏安法。测量原理电路如图 1.2 所示。

由于电压表的内阻不是无限大,电流表的内阻不是零,给测量结果带来一定的方法误差,具体接法应根据电压表内阻(灵敏度)、电流表内阻和被测元件电阻的大小选用电流表外接或内接法。另外,在测量中应注意待测元件上电压(V)、电流(A)、功率(W)额定值的限制。同时,对具体的测量电路、电源的数值、仪表量程等也应作适当的考虑和调整,以保证实验顺利进行,并尽量减小测量误差。

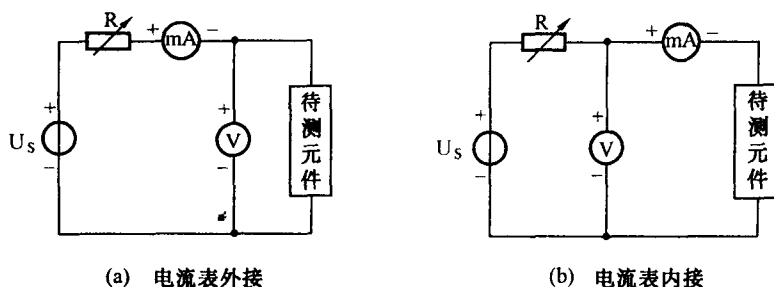


图 1.2 元件端口特性测量的原理电路

五、实验内容

1. 测量线性电阻的端口特性

取线性电阻 $R = 1\text{ k}\Omega$, 按图 1.3 接线, 多次调节稳压电源的输出电压, 测得相应的电压、电流值, 记入表 1.1 中。

表 1.1 电阻元件端口特性的测量

线性 电阻		U/V						
		I/mA						
钨丝灯		U/V						
		I/mA						
普通 二极管	正向	U/V						
		I/mA						
	反向	U/V						
		I/mA						
稳压 二极管	正向	U/V						
		I/mA						
	反向	U/V						
		I/mA						

2. 测量钨丝灯的端口特性

将图 1.3 中的线性电阻换成钨丝灯, 重复 1 中的测量内容。

3. 测量普通二极管的端口特性

正向: 按图 1.4 接线并进行测量。限流电阻 R 用于保护二极管, 防止电流过大, 导致管子过热损坏。

反向: 将图 1.4 中的二极管两端互换, 进行测量。

4. 测量稳压二极管的端口特性

将图 1.4 中的普通二极管换成稳压二极管, 分别测量其正向和反向特性。

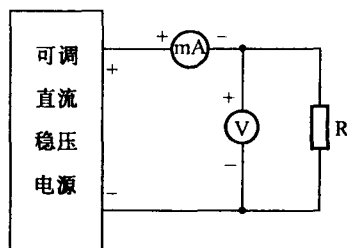


图 1.3 线性电阻、钨丝灯的测量电路

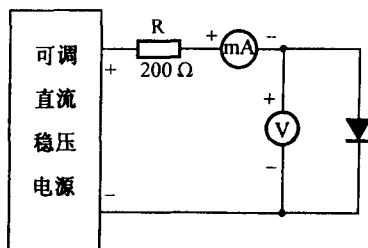


图 1.4 二极管的测量电路

六、实验注意事项

- (1) 电流表与被测元件串联,电压表与被测元件并联。
- (2) 注意直流电表的极性和量程。
- (3) 稳压电源输出由小到大逐渐增加,输出端切勿相碰,以免造成短路。
- (4) 线性电阻的功率应小于其额定值;钨丝灯电压应小于其额定电压;二极管中的正向电流应小于其最大整流电流,反向电压应小于其反向工作峰值电压。
- (5) 为了绘制比较完整和光滑的曲线,每种元件至少测出六个点值,并注意曲线关键点的测量,曲线弯曲部分测试点应相对密集一些。

七、实验报告要求

- (1) 将有关的测量结果分别记录于表 1.1 中。
- (2) 根据实验数据绘制各元件的伏安特性曲线,并指出其特点。
- (3) 回答思考题。

八、思考题

- (1) 在测量二极管的伏安特性时,不串接电阻 R 行不行?为什么?
- (2) 用伏安法测量元件的端口特性时,电流表外接或内接对测量误差有何影响?实际测量时应根据什么原则选择?若某线性电阻 $R = 200\ \Omega$,用伏安法测其阻值,已知电压表内阻为 $10\ \text{k}\Omega$,电流表内阻为 $0.2\ \text{k}\Omega$,问电表怎样接能减小方法误差?

实验二 基尔霍夫定律与电位的研究

一、实验目的

- (1) 验证基尔霍夫定律。
- (2) 加深对参考方向的理解。
- (3) 了解电位的相对性以及电压与电位的相互关系。

二、实验仪器

直流稳压电源,电阻若干,直流电流表,直流电压表,电流插头及插孔。

三、预习要求

- (1) 复习基尔霍夫定律。
- (2) 明确参考方向和电位的概念。

四、实验原理

1. 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路理论中最基本的定律之一,广泛应用于集中参数电路的分析计算中。它包括两个方面的内容:

基尔霍夫电流定律(简称 KCL):集中参数电路的任意割集支路的电流代数和恒等于零。或者说流入集中参数电路任一节点(或闭合面)电流的代数和恒等于零。数学表达式为 $\sum i = 0$ 。

基尔霍夫电压定律(简称 KVL):沿集中参数电路的任一回路各段电压的代数和恒等于零。数学表达式为 $\sum u = 0$ 。

2. 参考方向

为了计算方便,在电路中人为假定一个电流(或电压)为正的方向,称为参考方向。若参考方向与实际方向一致,则记为正;若参考方向与实际方向相反,则记为负。电路中只有确定了参考方向,电流(或电压)的正、负才有意义。

3. 电位与电压

在电路中,选定了参考点(即零电位点)之后,某点的电位等于该点指向参考点的电压。当参考点改变后,各点电位均改变相同的量,但电路中任意两点间的电位差(即电压)不变,与参考点的选择无关,与计算电压的路径也无关。

4. 电流插头测电流的原理

在实验中常常需要测量多个支路的电流,而实验室中的电流表个数总是有限的。为了避免测量不同支路电流时多次拆接电流表,可以采用一个电流插头和插孔的方法,如图 1.5 所示。首先,在连接线路时将每个待测电流支路串联一个电流插头。然后,将电流插头的红色接线端接至电流表“+”接线柱,黑接线端接至电流表“-”接线柱,只要将插头插入插孔,也就是将电流表串入插孔的两个端线中,此时电流表的读数即是在插孔电流参考方向下的电流值。

在上面的测量方法中,若采用数字电流表,会直接显示电流的大小和方向(正、负);

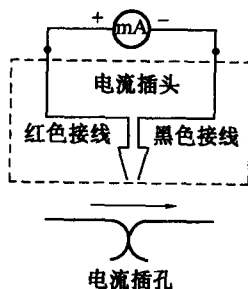


图 1.5 电流插头示意图

如果采用指针式电流表,读数时要特别注意电流表指针的偏转方向。如果指针逆时针偏转,说明电流实际方向与参考方向相反,应及时拔出电流接头,防止仪表受损,同时调换电流表的两根接线,并将此时电流表的读数记为负值(以箭头方向为参考方向)。

五、实验内容

参考电路如图 1.6 所示,元件参数可以自行选择。

1. 验证基尔霍夫定律

- (1) 调准电源电压的值 U_S , 连接各元件。
- (2) 接通电源, 测量各元件上的电流值。
- (3) 测量各元件上的电压。

(4) 改变电源电压值, 重复上述实验。测三组电压、电流数据, 记入表 1.2 和表 1.3 中, 验证各节点 KCL 定律和各网孔 KVL 定律。

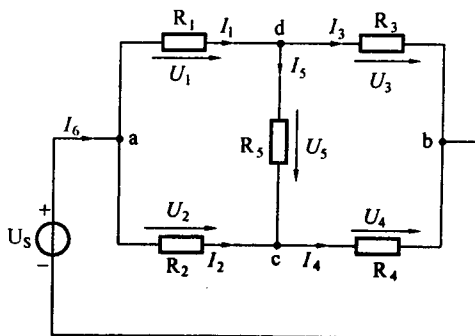


图 1.6 基尔霍夫定律实验电路

表 1.2 基尔霍夫电流定律

mA

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	$\sum_a I$	$\sum_b I$	$\sum_c I$
1									
2									
3									

表 1.3 基尔霍夫电压定律

V

	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	$\sum_{acd} U$	$\sum_{cbd} U$	$\sum_{acd} U$
1								
2								
3								

2. 测量各节点电位

电路如图 1.6 所示。分别以点 a 和点 c 作为参考点(零电位点), 测量各节点电位, 记入表 1.4 中。验证电路中电压、电位与参考点的关系。

表 1.4 电位的测量

V

	V_a	V_b	V_c	V_d	U_{ad}	U_{ac}	U_{db}	U_{cb}	U_{dc}	U_{ab}
$V_a = 0$										
$V_c = 0$										

六、实验注意事项

- (1) 所记录的各电压和电流值在所设的参考方向下是有大小和正负的。

- (2) 在测量电压和电流时,注意指针式仪表与数字式仪表的区别。

七、实验报告要求

- (1) 根据实验数据验证 KCL 和 KVL 定律。
- (2) 根据实验数据分析电路中电位、电压与参考点的关系。
- (3) 回答思考题。

八、思考题

- (1) 在测量电流和电压时,如何判定在所设参考方向下测量值的正负号?
- (2) 在图 1.6 中,如果 R_1 所在支路断开,acda“回路”是否还满足 KVL 定律?

实验三 电源的外特性及电源的等效变换

一、实验目的

- (1) 了解电压源和电流源的外特性。
- (2) 了解实际电源的外特性。
- (3) 掌握实际电源两种模型之间等效变换的条件。

二、实验仪器

直流稳压电源,直流稳流电源,元件箱,直流电压表,直流电流表。

三、预习要求

- (1) 了解直流稳压电源、直流稳流电源、直流电压表、直流电流表的使用方法。
- (2) 复习电压源与电流源的外特性。
- (3) 复习实际电源两种模型之间等效变换的条件。
- (4) 自拟数据记录表格。

四、实验原理

1. 电压源的外特性

电压源的源电压 $u(t)$ 是确定的时间函数,与其中电流的大小无关(短路除外),其外特性为 $u-i$ 平面上平行于电流轴的直线,如图 1.7 所示。在测试外特性时,直流电压源,可用直流稳压电源(在额定电流范围内)近似代替。

2. 电流源的外特性

电流源的源电流 $i(t)$ 是确定的时间函数,与其端电压大小无关(开路除外),其外特性为 $u-i$ 平面上平行于电压轴的直线,如图 1.8 所示。测试外特性时,直流电流源,可用稳流电源(在额定电压范围内)近似代替。

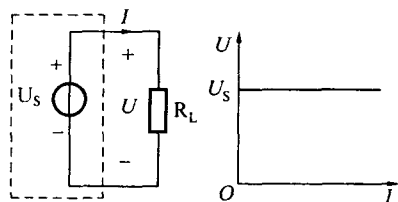


图 1.7 电压源及其外特性

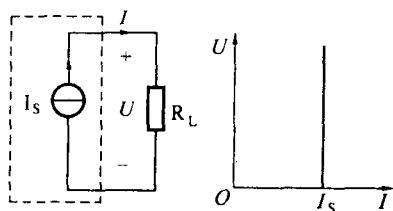


图 1.8 电流源及其外特性

3. 实际电源的两种模型及其外特性

实际电源对外供电时,内部总是有功率损耗的,因此实际电源的电路模型中是有内阻的。实际电源有两种电路模型:一种是电压源 U_s 串联电阻 R_s ,其端电压随外电路电流的增大而减小,如图 1.9 所示;一种是电流源 I_s 并联电阻 R_s ,其端电压随端电压的增大而减小,如图 1.10 所示。在实验室中,实际电源可以用稳压电源(在额定电流范围内)串联电阻和稳流电源(在额定电压范围内)并联电阻来模拟。

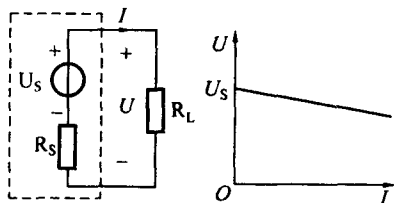


图 1.9 实际电压源模型及其外特性

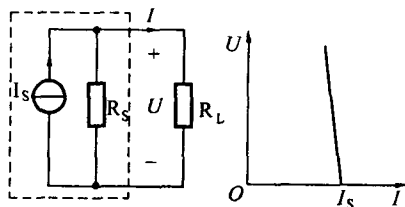


图 1.10 实际电流源模型及其外特性

4. 实际电源两种模型的等效变换

当两个电路的端口特性(也即端口特性方程)一致时,由于它们的对外作用相同,所以可以将这两个电路相互替换,替换之后不影响外电路的响应。这样的两个电路称为等效电路。等效电路之间进行的相互替换称为电路的等效变换。同时,等效变换的结果只是对外等效,对内并不一定等效。

对于实际电源的两种模型,在满足端口特性方程一致的前提下,可以相互等效变换,其等效变换的具体条件如图 1.11 所示。

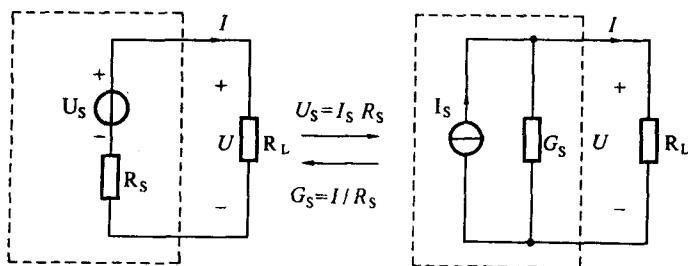


图 1.11 电源的等效变换的具体条件

五、实验内容

按照图 1.12 连线。改变 R_L 值,对下面要求测试的各项内容,分别测六组对应的电压和电流值,填入自拟表格中(参照表 1.5)。

- (1) 测试电压源外特性。
- (2) 测试电流源外特性。
- (3) 测试实际电压源外特性,并记录稳压电源电压值和串联电阻值。
- (4) 根据电源的等效变换条件,构造与(3)中电压源等效的实际电流源模型,并测试其外特性。

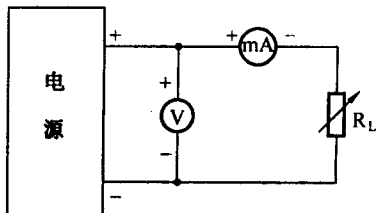


图 1.12 电源外特性的测试

- (5) 验证电源等效转换条件的正确性。

表 1.5 电源外特性测试

R_L/Ω						
U/V						
I/mA						

六、实验注意事项

- (1) 使用稳压电源时切勿将其短路,其端电流不应超过稳压电源的额定电流(否则稳压效果下降)。
- (2) 使用稳流电源时负载不得开路,其端电压不应超过稳流电源的额定电压(否则稳流效果下降)。
- (3) 注意 U_S 、 I_S 的可调范围,设计时 U_S/R_S 之值不应大于电流源可调电流的最大值。

七、实验报告要求

- (1) 根据实验数据绘制电压源和电流源的外特性曲线,总结其特点。
- (2) 根据实验数据绘制实际电源两种模型的外特性曲线,总结其特点。
- (3) 说明电源等效变换条件的正确性。
- (4) 回答思考题。

八、思考题

- (1) 测量电压源外特性时,可变电阻的取值是大些好还是小些好?若已经调节好稳压电源的电压 U_S ,并已知其额定电流 I_N ,则可调电阻的变化范围怎样确定?
- (2) 测量电流源外特性时,可变电阻的取值是大些好还是小些好?若已经调节好稳流电源的电流 I_S ,并已知其额定电压 U_N ,则可调电阻的变化范围怎样确定?
- (3) 电压源和电流源短路及开路时,对电源的影响有何不同?
- (4) 何谓两个电路等效?电源的等效变换对内电路是否也等效?举例说明。

实验四 受控源特性的研究

一、实验目的

- (1) 理解、掌握受控源的外特性。
- (2) 了解用运算放大器组成受控源的基本原理。
- (3) 测试受控源的转移特性和负载特性。

二、实验仪器

直流稳压源, 直流稳流电源, 直流电压表, 直流电流表, 可调电阻箱, 受控源实验板。

三、预习要求

- (1) 复习受控源的四种基本类型及其电路符号。
- (2) 复习理想运算放大器。
- (3) 预习实验教程中的有关内容。

四、实验原理

1. 受控源的种类及端口特性

受控源是对某些元件(如晶体管、运算放大器等)物理性能的模拟, 它反映了电路中某处电压或电流受另一处电压或电流控制的关系。根据控制量与受控量的不同, 受控源可分为四种类型: 电压控制电压源(VCVS), 电压控制电流源(VCCS), 电流控制电压源(CCVS), 电流控制电流源(CCCS)。各种受控源的电路符号如图 1.13 所示。

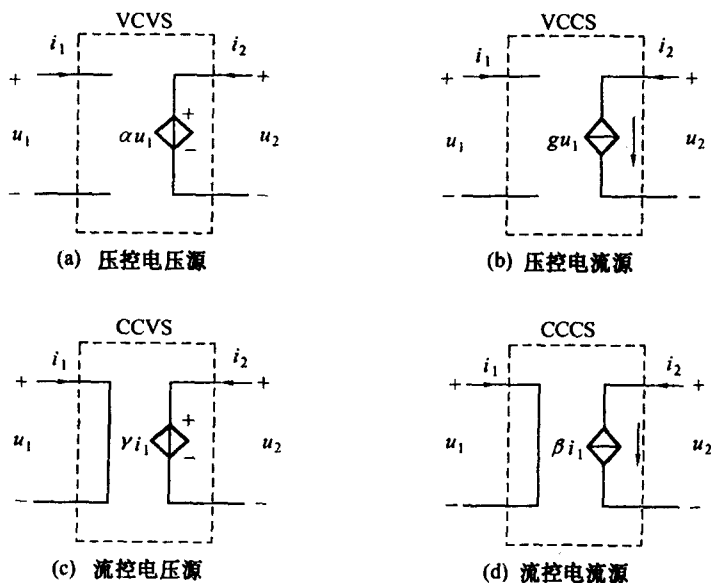


图 1.13 受控源的电路符号