

电路与电子技术

(含实验报告)

实验

主 审 成 运

编 著 李 强 付又香 刘云连

程正梅 李朝鹏



西南交通大学出版社

电路与电子技术

(含实验报告) **实验**

主 审 成 运
编 著 李 强 付又香 刘云连
程正梅 李朝鹏

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

电路与电子技术实验: 含实验报告 / 李强等编著.
—成都: 西南交通大学出版社, 2015.10
ISBN 978-7-5643-4343-9

I. ①电… II. ①李… 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.
①TM13-33②TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 244157

电路与电子技术实验

(实验报告)

编著 李强 付又香 刘云连 程正梅 李朝鹏

责任编辑 黄淑文
封面设计 墨创文化

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区交大路 146 号)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮政编码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

总印张 18.25

总字数 444 千

版 次 2015 年 10 月第 1 版

印 次 2015 年 10 月第 1 次

书 号 ISBN 978-7-5643-4343-9

套 价 45.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本教材是按《中长期教育改革和发展规划纲要 2010—2020》的总体要求，以教育部《关于地方本科高校转型发展的指导意见（征求意见稿）》为基本依据，结合我校转型发展的实际情况而编写的。将电路、模电、数电与高频电子线路等多门实验课程整合到一本教材，避免了过去实验教学中实验内容重复、分散与知识点乱等问题，是实验教学改革的一项基础性工作。

每个实验课题的内容以相关理论课程的纵向体系为依据进行整合，每个课题包含一个基本的知识模块，将过去的多个实验整合到一个课题之中，由于内容丰富，可实现分层次教学，满足不同学习需求与不同学习能力的学生进行实践。

教材提供了四个综合实训课题，这些课题的内容既不同于过去的设计与研究性实验，又与课程设计有区别，学生通过阅读教材的内容，可独立地在实验室完成相关的设计、操作、实现与考核，旨在提高学生的工程设计与实施的能力。

教材中提供了实验报告的模板，实验中测量的数据、计算的内容大为减少，不再写过多的实验原理与步骤，节约学生时间用于真正的实验过程，并且老师可进行现场的指点与批阅。

本书的编写分工如下：7个电路实验课题，由李强副教授完成；9个模电实验课题，由付又香高级实验师和李强编写；7个数电实验课题，由李朝鹏副教授编写初稿，刘云连老师完成定稿；4个高频电子线路实验课题，由程正梅老师完成；4个综合实训课题分别由李强、付又香、刘云连与程正梅老师编写完成。全书由李强副教授负责统稿。

在编写过程中得到了蒋建初教授的指导，羊四清教授、刘浩博士给予了大力的支持，成运教授对全书进行了全面的审阅，并提出了宝贵的意见。张银和老师对电路实验讲义进行了试用，提出的诸多修改意见被采纳，钟明生老师为模电实验做了一些前期的准备工作，苏芙华老师为数电实验做了前期的准备工作。本教材由湖南人文科技学院教材建设资金提供资助。在此，一并表示由衷的感谢。

教材参考了设备厂家提供的相关讲义与使用说明书，特此致谢。

本书的出版得到了西南交通大学出版社的大力支持，与主任编辑郭发仔老师的努力和黄淑文编辑的辛勤劳动密不可分，深表谢意。

本书可供电子信息工程、电子信息科学与技术、通信工程、物理学、自动化、机械设计制造及其自动化、能源与动力工程、材料成型及控制工程、计算机科学与技术、物联网、软件工程、网络工程等专业的实验课程选择使用。

由于编者水平有限，对内容把握不准，本书缺点与错误在所难免，恳请读者批评指正。

于湖南人文科技学院百全楼

2015年9月

目 录

第一章 电路实验	1
实验一 直流电路基本规律的验证	1
实验二 有源二端网络的等效参数及变换研究	5
实验三 一阶、二阶网络响应特性研究	11
实验四 正弦稳态交流电路研究	17
实验五 RLC 谐振电路频率特性研究	22
实验六 三相负载特性与变压器特性研究	28
实验七 三相鼠笼式异步电动机运行控制	34
第二章 模拟电子技术实验	40
实验一 射极跟随器电路研究	40
实验二 晶体管共射极单管放大电路研究	45
实验三 模拟集成运算器与应用电路研究	54
实验四 负反馈放大电路特性研究	64
实验五 OTL 低频功率放大器研究	71
实验六 正弦波、方波与三角波产生电路研究	80
实验七 电压比较器特性及应用研究	87
实验八 串联型稳压电源的设计与测试	92
实验九 集成稳压器电路特性及应用研究	100
第三章 数字电子技术实验	107
实验一 基本组合逻辑电路功能研究	107
实验二 编码器和译码器及其扩展功能	114
实验三 数据选择器、分配器及其应用	120
实验四 触发器及其应用	125
实验五 计数器及其应用	132
实验六 555 定时器及其应用	137
实验七 D/A 与 A/D 转换电路研究	143
第四章 高频电子线路实验	149
实验一 谐振回路放大器研究	149
实验二 频率调制与合成实验研究	155

实验三	幅度调制/解调实验研究	162
实验四	高频信号的功率放大、发射与接收	170
第五章	综合实训	176
电路实训	电路安装工艺训练	176
模电实训	音频放大器的设计与实现	184
数电实训	四路智力竞赛抢答装置设计与实现	196
高频实训	调频收音对讲机的安装与调试	204
参考文献		217

第一章 电路实验

实验一 直流电路基本规律的验证

一、实验基本任务

- (1) 验证基尔霍夫电流定律；
- (2) 验证基尔霍夫电压定律；
- (3) 验证叠加定理。

完成任务：(1) 的满分为 70 分，(1) + (2) 的满分为 90 分，(1) + (2) + (3) 的满分为 100 分。

二、实验目的与要求

- (1) 掌握基尔霍夫定律与叠加定理；
- (2) 掌握电路参考方向与电压、电流的正负的关系；
- (3) 掌握参考点、电位、电压之间的关系；
- (4) 学会根据电路原理图连接正确的测量电路。

三、实验原理

1. 基本概念

节点：3 个或 3 个以上电路元件的连接点称为节点。

支路：连接两个节点之间的电路称为支路。

电流参考方向：对某二端元件，端点分别为 A 与 B ，在导线上用箭头标示电流的参考方向，流过这个元件的电流方向与箭头方向相同时，电流大于零，反之，电流小于零。

电压参考方向：对电路两点之间的电压，用正极性 (+) A 点表示高电位，负极性 (-) B 点表示低电位，由正极指向负极的方向（即 A 指向 B ）就是电压的参考方向。如果 A 点电位确实高于 B 点电位，则电压 u 大于零，反之，电压小于零。

电压与电位的关系：电路中的参考点选择不同，各节点的电位也相应改变，但任意两点的电压（电位差）不变，即任意两点的电压与参考点的选择无关。

$$U_{AB} = U_A - U_B = U_{OA} - U_{OB}$$

闭合回路：由多个支路构成的一个首尾相连的圆就是一个闭合回路。可人为地规定一个回路绕行的正方向。

线性电路：线性就是指输入量和输出量之间的关系可以用线性函数表示，线性电路是指完全由线性元件、独立源或线性受控源构成的电路。线性电路的齐次性是指当激励信号（某独立源的值）增加或减少 K 倍时，电路的响应（即在电路其他各电阻元件上所建立的电流和电压值）也将增加或减少 K 倍。

电压源：是一个理想电路元件，它的端电压与通过元件的电流无关，总保持为给定的时间函数，而电流的大小则由外电路决定。

电流源：也是一个理想电路元件，它发出的电流与元件的端电压无关，总保持为给定的时间函数，而端电压的大小则由外电路决定。

2. 基尔霍夫定律符号规则

(1) 流出节点的电流取正号 (+)，流入节点的电流取负号 (-)。

(2) 凡支路电压参考方向与回路绕行的正方向相同者，电压取正号 (+)，反之电压取负号 (-)。

3. 基本规律

基尔霍夫电流定律 (KCL)：集中参数电路中，在任一时刻，流出（流入）任一节点的电流的代数和等于零。数学表达式为：

$$\sum i = 0$$

实验过程中，通过测量流入与流出某指定节点的电流大小与方向，按其符号规则 (1)，求其代数和。

基尔霍夫电压定律 (KVL)：集中参数电路中，任一闭合回路上全部组件端的电压代数和等于零。数学表达式为：

$$\sum u = 0$$

实验过程中，通过测量某一回路中各支路的电压大小与方向，按其符号规则 (2)，求其代数和。

叠加定理：对于一个具有唯一解的线性电路，由几个独立电源共同作用所形成的各支路电流或电压，等于各个独立电源单独作用时在相应支路中形成的电流或电压的代数和。不起作用的电压源所在的支路应（移开电压源后）短路，不起作用的电流源所在的支路应开路。

四、实验设备（见表 1-1-1）

表 1-1-1 实验设备

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	电工电路技术实验装置	DGJ-01	1	实验平台
2	直流稳压电源	+6 V、+12 V 切换	1	电源区
3	可调直流稳压电源	0~30 V	1	电源区
4	数字万用表	VC890D	1	备用
5	直流数字电压表	0~300 V	1	仪表区
6	直流数字毫安表	0~500 mA	1	仪表区
7	电路基本实验箱	基尔霍夫定理/叠加定理模块	1	DGJ-03 挂件

五、实验内容与基本步骤

1. 验证基尔霍夫电流定律

实验线路如图 1-1-1 所示，是一个有 2 个电压源的二网孔直流线性电路。

(1) 实验前先任意设定 3 条支路的电流参考方向与回路方向，如图 1-1-1 所示。

(2) 分别将两路直流稳压电源接入电路（一路 E_1 为 +6 V、+12 V 切换电源，另一路 E_2 为 0~30 V 可调直流稳压源），设定 $E_1 = 6\text{ V}$ ， $E_2 = 12\text{ V}$ 。

(3) 熟悉电流插头的结构，将电流插头的两端接至直流数字毫安表的“+、-”两端。

(4) 将电流插头分别插入 3 条支路的 3 个电流插座中，读出电流值并将其记入实验报告中的表 1-1-1 中。

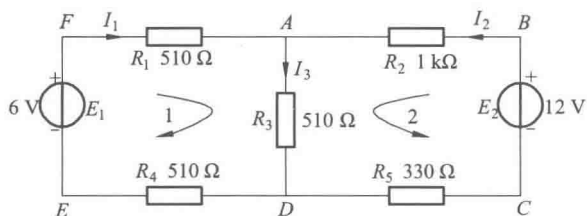


图 1-1-1

2. 验证基尔霍夫电压定律

(1) 用直流数字电压表分别测量两路电源及电阻元件上的电压值并将其记入实验报告中的表 1-1-2 中。

(2) 测量电位与电压，并验证电压与参考点的选择无关。分别以 B 点和 D 点为参考点，测量 A 、 B 、 C 、 D 各点电位并将其记入实验报告中的表 1-1-3 中，计算电压值记入实验报告中的表 1-1-3 中。

3. 验证叠加定理

(1) 分别在 E_1 单独作用时（将开关 S_1 投向 E_1 侧，开关 S_2 投向短路侧）、 E_2 单独作用时

(将开关 S_1 投向短路侧开关 S_2 投向 E_2 侧), 及 E_1 和 E_2 共同作用时 (将开关 S_1 投向 E_1 侧, S_2 投向 E_2 侧), 用直流数字电压表和毫安表 (接电流插头) 测量各支路电流及电阻元件两端的电压, 数据记入实验报告中的表 1-1-4 中。

六、实验注意事项

- (1) 所有需要测量的电压值, 均以电压表测量的读数为准, 不以电源表盘指示值为准。
- (2) 防止电源两端碰线短路。
- (3) 若用数字式电流表进行测量, 要识别电流插头所接电流表的 “+” “-” 极性。

七、思考题

1. 电位参考点的电位值一定为零吗? 对其他任意两点之间的电压有影响吗?
2. 叠加原理中 E_1 、 E_2 分别单独作用时, 在实验中应如何操作? 可否将不作用的电源 (E_1 或 E_2) 置零 (短接)?

实验二 有源二端网络的等效参数及变换研究

一、实验基本任务

- (1) 测量电压源的外特性曲线，验证电压源与电流源等效变换关系；
- (2) 测定有源二端网络等效参数；
- (3) 研究实际电源的功率输出特性。

完成任务：(1) 的满分为 50 分，(1) + (2) 的满分为 90 分，(1) + (2) + (3) 的满分为 100 分。

二、实验目的与要求

- (1) 掌握电压源、有源二端网络外特性曲线的测量方法；
- (2) 掌握有源二端网络等效参数的测试方法；
- (3) 了解电路“匹配”条件。

三、实验原理

1. 基本概念

1) 理想电压源

理想电压源的端电压 $u(t)$ 与通过元件的电流无关，总保持为给定的时间函数，等于电压源的激励电压 $u_s(t)$ ，即 $u(t) = u_s(t)$ 。理想电压源输出的电流由外电路决定。电压源不接外电路时，电流总为零，这种情况称为“电压源处于开路”。而把电压源短路是没有意义的。理想电压源图形符号如图 1-2-1 (a) 所示。

2) 理想电流源

理想电流源发出的电流 $i(t)$ 与通过元件的端电压无关，总保持为给定的时间函数，等于电流源的激励电流 $i_s(t)$ ，即 $i(t) = i_s(t)$ 。理想电流源的端电压由外电路决定。电流源两端短路时，其端电压为零，电流等于电流源的激励电流。把电流源开路是没有意义的。理想电流源的图形符号如图 1-2-1 (b) 所示。

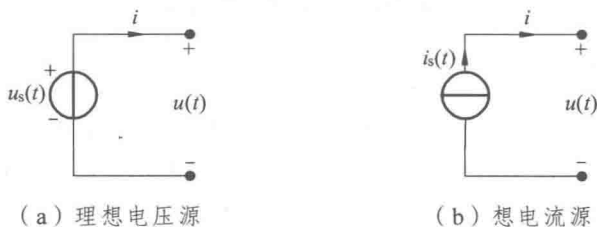


图 1-2-1 理想电源模型

3) 实际电源

实际电源的端电压与输出的电流都是随着外部负载的变化而变化的,但是就其外部的特性而言,它既可以看成一个理想电压源与一个电阻(内电阻)串联而成,也可以看成一个理想电流源与一个电导并联而成。如果这两种电源能向同样大小的负载供出同样大小的电流和端电压,即使得具有相同的外部特性,则称这两电源等效。如图 1-2-2 (a)、1-2-2 (b) 所示。

电源等效变换条件: $i_s = \frac{U_s}{R_0}$, $g_0 = \frac{1}{R_0}$; 或 $u_s = i_s R_0$, $R_0 = 1/g_0$ 。



(a) 理想电压源与电阻串联 (b) 理想电流源与电导的并联

图 1-2-2 实际电源模型

4) 受控电源

受控电源又称非独立电源,受控电源的激励电压或受控电源的激励电流受电路中某部分电压或电流的控制。可分为四种情况:受电压控制的电压源(VCVS)与电流源(VCCS),受电流控制的电压源(CCVS)与电流源(CCCS)。

5) 有源二端网络

任何一个线性含源网络,如果仅研究其中一条支路(如图 1-2-3 中的 R_L 支路)的电压和电流,则可将电路的其余部分看作一个有源二端网络(或称为含源一端口网络)。

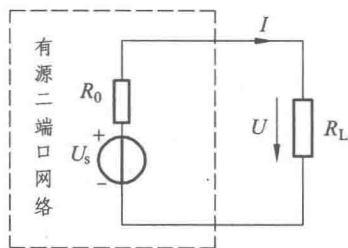


图 1-2-3 有源二端网络

2. 实际电压源的外特性

电压源外特性测试电路如图 1-2-4 (b) 所示,令外部负载电阻为 $R_L = R_1 + R_2$, 若不计电流表的表头内阻且认为电压表的内阻为无穷大,则实际电压源的外特性为

$$U = U_s - IR_L$$

3. 戴维南定理

任何一个线性有源网络，总可以用一个电压源与一个电阻的串联来等效代替，此电压源的电动势 U_s 等于这个有源二端网络的开路电压 U_{oc} ，其等效内阻 R_0 等于该网络中所有独立电源均置零（理想电压源视为短接，理想电流源视为开路）时的等效电阻。

4. 诺顿定理

任何一个线性有源网络，总可以用一个电流源与一个电阻的并联组合来等效代替，此电流源的电流 I_s 等于这个有源二端网络的短路电流 I_{sc} ，其等效内阻 R_0 定义同戴维南定理。

其中 U_{oc} (U_s) 和 R_0 或者 I_{sc} (I_s) 和 R_0 称为有源二端网络的等效参数。

5. 有源二端网络等效参数的测量方法

1) 开路电压、短路电流法测 R_0

将有源二端网络输出端开路，用电压表直接测量其输出端的开路电压 U_{oc} ，然后再将其输出端短路，用电流表测其短路电流 I_{sc} ，则其等效内阻为：

$$R_0 = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$$

本方法简单，但内阻很小时不宜使用。

2) 伏安法测 R_0

用电压表与电流表测出有源二端网络的外特性曲线，求出曲线斜率，则内阻为：

$$R_0 = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

3) 半电压法测 R_0

当负载电压为被测网络开路电压的一半时，此时负载电阻的值即等于等效内阻值。

4) 零示法测开路电压 U_{oc}

在测量高内阻的有源二端网络的开路电压时，可以用一个低内阻的可调稳压电源与之进行对接，中间加一个电压表，调节可调稳压电源电压，使电压表读数为零，此时稳压电源的开路电压即等于有源二端网络的开路电压。

6. 负载获得最大功率的条件

如图 1-2-3 所示，一个电源（或有源二端网络）向负载输送电能的功率为 $P = I^2 R_L$ 。

当满足条件 $R_L = R_0$ 时（称为电路“匹配”），负载从电源获得的最大功率，为 $P_{\max} = \frac{U}{4R_L}$ 。

在电路处于“匹配”状态时，电源本身要消耗一半的功率，此时，电源的效率只有 50%，

这对于电力系统是绝对不允许的。但在电子技术中，信号源本身的功率较小，且内阻较大，希望信号源有最大的功率输出，这时就要讨论阻抗的“匹配”问题。

四、实验设备（见表 1-2-1）

表 1-2-1 实验设备

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	电工电路技术实验装置	DGJ-01	1	实验平台
2	可调直流稳压电源	0~30 V	1	调到 6 V
3	可调直流恒流源	0~200 mA	1	调到 10 mA
4	数字万用表	VC890D	1	备用
5	直流数字电压表	0~300 V	1	仪表区
6	直流数字毫安表	0~500 mA	1	仪表区
7	电路基本实验箱	戴维南定理/诺顿定理模块	1	DGJ-03
8	元件箱	51 Ω、200 Ω 固定电阻、0-99999.9 Ω 可调电阻箱、1 kΩ/2W 可调电位器	1	DGJ-05

五、实验内容与基本步骤

1. 测定直流稳压电源（近似理想电压源）与实际电压源的外特性

实验电路分别如图 1-2-4 (a) 与 1-2-4 (b) 所示，其中 R_1 为实验保护电阻， R_2 为可调电阻， R_0 为模拟电压源内阻。令 R_2 的阻值由大至小变化，将电压表与电流表的读数记入实验报告中的表 1-2-1 与表 1-2-2 中，并用坐标纸作出曲线，得到结论。

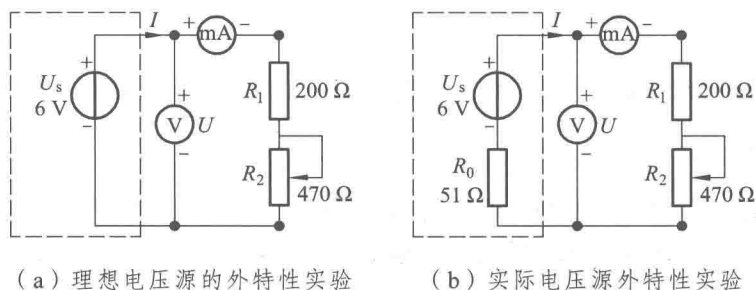
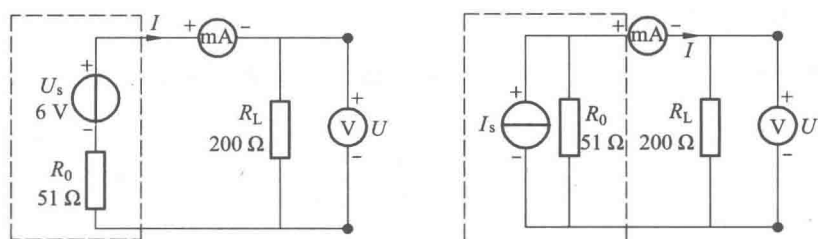


图 1-2-4 电压源外特性测试电路

2. 验证电压源与电流源的等效变换关系

先按图 1-2-5 (a) 线路接线，将线路中两表的读数记入实验报告中的表 1-2-3。再将电路接成图 1-2-5 (b)，调节电流源的输出电流，使两表的读数与图 1-2-5 (a) 时的数值相等。将 I_s 的值记入实验报告中的表 1-2-3，用公式验证等效变换的正确性。

$$I_s = \frac{U_s}{R_0}, \quad g_0 = \frac{1}{R_0} \text{ 或 } U_s = I_s R_0, \quad R_0 = 1/g_0$$



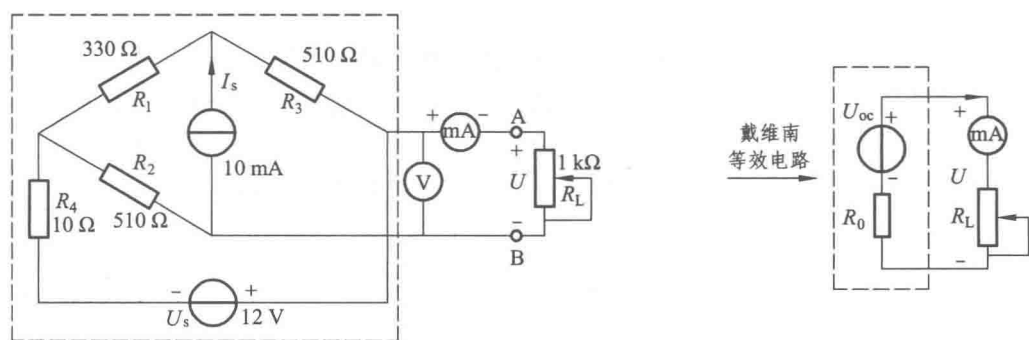
(a) 电压源

(b) 电流源

图 1-2-5 电压源与电流源的等效变换测试电路

3. 有源二端网络等效参数的测定

被测有源二端网络如图 1-2-6 (a) 所示。戴维南等效电路图为 1-2-6 (b) 所示。



(a) 被测电路

(b) 戴维南等效电路

图 1-2-6 有源二端网络的等效参数测试电路

(1) 直接用数字万用表测开路电压 U_{oc} 、短路电流 I_{sc} ，求出内阻 R_0 。

按图 1-2-6 (a) 所示接入稳压电源 $U_s = 12\text{ V}$ 和恒流源 $I_s = 10\text{ mA}$ ，不接入 R_L 。测出 U_{oc} 和 I_{sc} ，并计算出 $R_0 = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$ (测 U_{oc} 时，不接入毫安表)。数据记入实验报告中的表 1-2-4 中。

(2) 测量有源二端网络的外特性曲线。

按图 1-2-6 (a) 所示接入 R_L 。改变 R_L 阻值，测量相应的 U 和 I ，将测量数据记入实验报告中的表 1-2-5 中，并依据表中的数据用坐标纸作出有源二端网络的外特性曲线。

(3) 有源二端网络等效电阻的直接测量法。

一般地，对理想电压源，先将其去掉，再将原电压源所接的两点用一根短路导线相连。对理想电流源，直接去掉。对于实际电源，可用一个等于其电源内阻的电阻代替。

断开负载两端，用万用表的欧姆档直接测定。

本实验电路中，应先去掉电压源与电流源，再用导线将电压源原接线的两点直接短接，断开负载 R_L 两端，用万用表的欧姆档直接测量，得到的电阻即为有源二端网络的等效电阻。

4. 最大功率传输条件测定

按图 1-2-7 接线，改变负载电阻的值，测量输出的电流与电压，记入实验报告中的表 1-2-6 中。

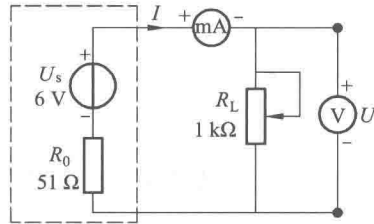


图 1-2-7 电源输出功率与负载的关系

六、报告要求

- (1) 测定直流稳压电源与实际电压源的外特性并作出特性曲线。
- (2) 比较电压源与电流源当负载相同、输出电压和电流相等时，测量的电流源电流是否满足等效变换关系。如有误差，请分析产生的原因。
- (3) 用多种方法测量有源二端网络的等效电阻、开路电压及短路电流。
- (4) 验证电源输出最大功率的条件。

七、实验注意事项

- (1) 测量过程中不能将电压源直接短路。
- (2) 换接线路时，必须关闭电源开关。
- (3) 在测量电压源外特性时，要测量空载时的电压值（即开路电压）。

实验三 一阶、二阶网络响应特性研究

一、实验基本任务

- (1) 观察 RC 一阶电路的响应特性曲线并测定时间常数；
- (2) 观察 RLC 二阶电路三种状态下的零状态响应与零输入响应；
- (3) 测量 RLC 二阶电路在欠阻尼时的衰减常数与振荡频率。

完成任务：(1) 的满分为 70 分，(1) + (2) 的满分为 90 分，(1) + (2) + (3) 的满分为 100 分。

二、实验目的与要求

- (1) 学会用示波器观察 RC 电路的零状态响应（充电）与零输入响应（放电）特性曲线；
- (2) 掌握用示波器测量 RC 微分与积分电路时间常数的方法；
- (3) 了解二阶电路的组成与响应特点；
- (4) 学习用双踪示波器测量周期与振幅；
- (5) 了解测量欠阻尼时衰减常数与振荡频率的测量方法。

三、实验原理

1. 基本概念

(1) 动态元件与动态电路：电容元件和电感元件的电压和电流的约束关系通过导数（或积分）表达的，称这为动态元件，又称为储能元件。含有动态元件的电路称为动态电路。含有一个动态元件的电路称为一阶电路，含有 2 个或 N 个动态元件的电路称为二阶或 N 阶电路。对应的电路方程为一阶、二阶或 N 阶微分方程。

(2) 零输入响应：动态电路中无外加激励电源，仅由动态元件初始储能所产生的响应。这种响应随时间按指数规律衰减。

(3) 零状态响应：电路的储能元器件（电容、电感类元件）无初始储能，仅由外部激励作用而产生的响应。

(4) 过渡过程：动态电路中的结构或元件的参数发生改变时（例如电路中的电源或无源元件的断开或接入，信号的突然注入等），电路的工作状态由原来的稳定状态转变到另一个稳定状态，这种转变往往需要经历一个过程，被称为动态过程，在工程上称为过渡过程。

过渡过程是单次变化过程而且很短暂，为了用示波器观察过渡过程和测量有关的参数，可以利用信号发生器输出的方波来模拟阶跃激励信号。即令方波输出的上升沿作为零状态响应的正阶跃激励信号，方波下降沿作为零输入响应的负阶跃激励信号。只要选择方波的重复周期远大于电路的时间常数 τ ，电路在这样的方波序列脉冲信号的激励下，其过渡过程与接通和断开直流电源是基本相同的。