

[illegible]

DIANLU DIANZI JISHU SHIYAN YU FANGZHEN



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

电路电子技术实验与仿真

穆 克 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要介绍电路与电子技术课程实验的内容。全书共五篇, 主要内容包括: 电路实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验、电子技术课程设计、EDA 软件简介。根据电路和电子技术课程的不同要求和特点, 电路实验部分的仿真应用 Spice 实现, 电子技术实验部分的仿真应用 Multisim 10 实现。所以, 本书 EDA 软件简介, 主要介绍 Spice 和 Multisim 10, 分为电路仿真程序 Spice 入门、Spice 在正弦交流电路分析中的应用、用 Spice 分析其他电路、AIM-Spice 和 SPICE OPUS 的使用方法简介以及 Multisim 10 简介五部分。

本书可作为高等学校电子信息、自动化、电气工程、测控技术、通信、计算机等专业相关课程的本科生实验用教材, 也可供电子工程技术人员学习参考用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路电子技术实验与仿真/穆克等编著. —北京:
化学工业出版社, 2014.2
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-19258-5

I. ①电… II. ①穆… III. ①电子电路-实验-高等
学校-教材 IV. ①TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 298042 号

责任编辑: 满悦芝 石 磊
责任校对: 边 涛

文字编辑: 吴开亮
装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 19 字数 482 千字 2014 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

本书编写人员

穆 克 许忠仁 姜 丽 杨冶杰 李 敏

前 言

本教材是根据高等院校工科电类专业的本科课程教学大纲，依据当前的实验设备条件，并结合多年的教学实际，吸取各学校在电路与电子技术实验方面的经验编写的。本教材对以往所用教材的体系结构和内容进行了调整、完善与扩充，同时注意保持自身的教学特点，将电路、模拟电子技术和数字电子技术等多门专业基础课程的实验教学内容合编成一本书，这样有助于相关知识的互补，增强了教材的适应性。本书旨在进一步巩固基本理论知识并用来指导实践，帮助学生掌握基本实验技能，提高综合应用能力和设计能力，提高学生的工程实践能力，培养学生严谨的科学作风。

本书在内容安排上尽量做到由浅入深、循序渐进，在保证基础实验的同时，强调实用性，增加灵活性，注重工程实际和先进性；保留了经典的实验内容，以巩固基础，培养学生基本实验技能；增加综合性、设计性实验内容，以培养学生的综合应用能力、工程设计能力和探索创新精神。

全书选编电路实验 16 个，模拟电子技术实验 12 个，数字电子技术实验 16 个，电子技术课程设计 7 个，还包括 EDA 入门软件 Spice 和 Multisim 10 的基础知识。全部实验所需总学时较多，使用时可以根据课程要求、设备条件、学生情况进行选择。在部分实验中还编写了选做内容，以“*”号注明，以满足教师因材施教的需要。每个实验中都配有预习要求，有助于充分理解实验内容，提高实验操作效率，巩固实验效果。

本书第一篇由穆克编写，第二篇由许忠仁、姜丽编写，第三篇由杨冶杰、李敏编写，第四篇由杨冶杰、许忠仁编写，第五篇由穆克、姜丽编写。全书由穆克统稿并最后定稿。

本书由曹江涛教授审阅，他对教材的体系和内容提出了许多宝贵意见和建议。本书得到了辽宁石油化工大学教务处及电工电子教研室老师的大力帮助与支持，在此表示感谢。

由于编者的水平有限。书中缺点和不足在所难免，敬请相关专家学者指正，也请同学们提出意见，以达到教学相长的目的。

编 者
2014 年 3 月

目 录

第一篇	电路实验	1
实验一	电路元件的伏安特性	2
实验二	基尔霍夫定律和叠加原理	6
实验三	戴维南定理及功率传输最大条件	8
实验四	电压源与电流源的等效变换	12
实验五	受控源特性的研究	15
实验六	简单 RC 电路的过渡过程	19
实验七	常用电子仪器的使用	22
实验八	交流电路的研究及参数的测定	24
实验九	日光灯及交流电路功率因数提高	27
实验十	RLC 串联谐振电路	30
实验十一	RC 选频网络特性测试	34
实验十二	三相电路的研究	37
实验十三	三相电路相序及功率的测量	40
实验十四	互感电路	42
实验十五	双口网络实验	45
实验十六	负阻抗变换器	48
第二篇	模拟电子技术实验	51
实验一	常用电子仪器的使用	52
实验二	晶体管共射极单管放大器	58
实验三	差动放大器	66
实验四	负反馈放大器	70
实验五	集成运算放大器的基本运算电路	74
实验六	有源滤波器	80
实验七	电压比较器	85
实验八	波形发生器	89
实验九	压控振荡器	94
实验十	低频功率放大器——OTL 功率放大器	97
实验十一	集成稳压器	101
实验十二	光电报警器	106
第三篇	数字电子技术实验	109
实验一	TTL 集成逻辑门的参数测试	110
实验二	基本逻辑门逻辑功能测试及应用	114
实验三	集电极开路门电路及三态门电路的研究	120

实验四	组合逻辑电路设计	125
实验五	全加器、译码器及数码显示电路	129
实验六	数据选择器及应用	135
实验七	触发器及其应用	140
实验八	计数器及其应用	147
实验九	集成移位寄存器及其应用	153
实验十	脉冲分配器及其应用	158
实验十一	555 定时电路及其应用	163
实验十二	单稳态触发器与施密特触发器	171
实验十三	D/A、A/D 转换器	179
实验十四	并行加减法运算电路	184
实验十五	模拟电机运转规律控制电路	187
实验十六	智力竞赛抢答装置	191

第四篇 电子技术课程设计 195

课程设计一	串联型晶体管稳压电源	196
课程设计二	温度监测及控制电路	201
课程设计三	多路温度巡回检测系统	206
课程设计四	直流数字电压表	214
课程设计五	数字电子钟	220
课程设计六	交通信号灯控制系统	224
课程设计七	电子秒表	228

第五篇 EDA 软件简介 233

第一章	电路仿真程序 Spice 入门	234
一、	Spice 简介	234
二、	Spice 电路文件	234
三、	元件语句	236
四、	直流分析语句	238
五、	输出语句	239
六、	子电路的定义和调用	239
七、	.model 语句与二极管、开关在 Spice 中的表示	240
八、	用 Spice 分析直流电路举例	242
第二章	Spice 在正弦交流电路分析中的应用	245
一、	Spice 中正弦交流电源的表示方法	245
二、	电阻、电感、电容在 Spice 中的表示方法	246
三、	Spice 中的弛豫分析语句 .tran	246
四、	交流分析语句 .ao	247
第三章	用 Spice 分析其他电路	251
一、	用 Spice 分析三相交流电路	251
二、	用 Spice 分析非正弦电路举例	252

三、用 Spice 分析电路的过渡过程举例	254
第四章 AIM-Spice 和 SPICE OPUS 的使用方法简介	257
一、AIM-Spice 的使用方法	257
二、混合电路仿真软件 SPICE OPUS 使用说明	263
第五章 Multisim 10 简介	267
一、Multisim 10 的工作界面	267
二、Multisim 10 的电路创建	276
三、运行与分析电路	283
四、仿真实例	287
参考文献	294

项目设置

- 1. 项目一：电路基本定律
- 2. 项目二：电路基本定理
- 3. 项目三：电路基本元件

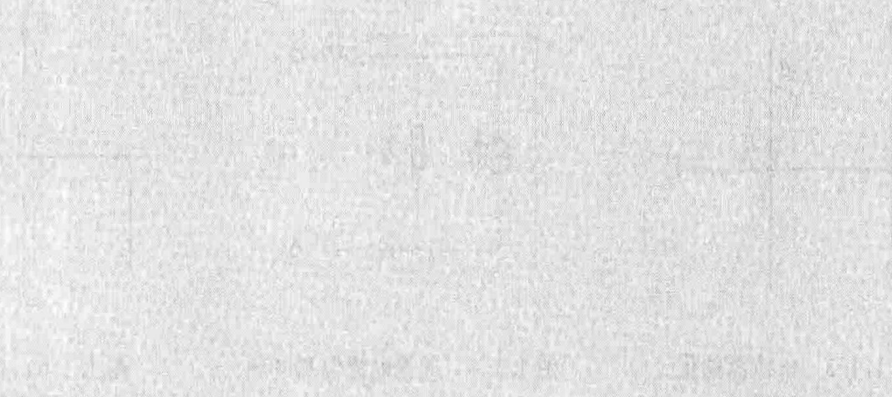
第一篇 电路实验

项目设置

1. 项目一：电路基本定律

2. 项目二：电路基本定理

3. 项目三：电路基本元件



实验一 电路元件的伏安特性

一、实验目的

- ① 研究电阻元件和直流电源的伏安特性及其测定方法。
- ② 学习直流仪表设备的使用方法。

二、原理及说明

① 独立电源和电阻元件的伏安特性可以用电压表、电流表测定，称为伏安测量法（伏安表法）。伏安表法原理简单，测量方便，同时适用于非线性元件伏安特性测量。

② 理想电压源的内部电阻值 R_S 为零，其端电压 $U_S(t)$ 是确定的时间函数，与流过电源的电流大小无关。如果 $U_S(t)$ 不随时间变化（即为常数），则该电压源称为直流理想电压源 U_S ，其伏安特性曲线如图 1.1.1 中直线 a 所示，实际电源的伏安特性曲线如图 1.1.1 中虚线 b 所示，它可以用一个理想电压源 U_S 和电阻 R_S 串联的电路模型来表示，如图 1.1.2 所示。显然， R_S 越大，图 1.1.1 中的角 θ 也越大，其正切的绝对值代表实际电源的内阻 R_S 。

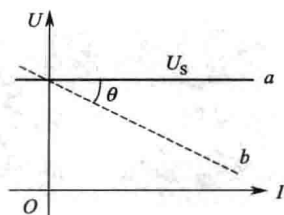


图 1.1.1 电压源的伏安特性曲线

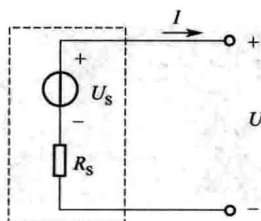


图 1.1.2 理想电压源和电阻串联的电路模型

③ 理想电流源向负载提供的电流 $I_S(t)$ 是确定的函数，与电源的端电压大小无关。如果 $I_S(t)$ 不随时间变化（即为常数），则该电流源为直流理想电流源 I_S ，其伏安特性曲线如图 1.1.3 中直线 a 所示，实际电源的伏安特性曲线如图 1.1.3 中虚线 b 所示，它可以用一个理想电流源 I_S 和电导 G_S 并联的电路模型来表示，如图 1.1.4 所示。显然， G_S 越大，图 1.1.3 中的 θ 角也越大，其正切的绝对值代表实际电源的电导值 G_S 。

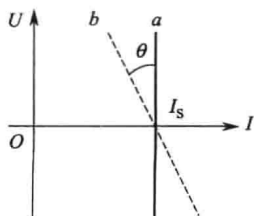


图 1.1.3 电流源的伏安特性曲线

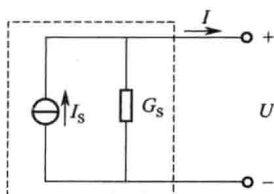


图 1.1.4 理想电流源和电导并联的电路模型

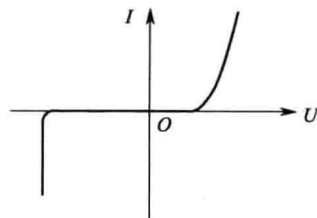


图 1.1.5 晶体二极管伏安特性

④ 电阻元件的特性可以用该元件两端的电压 U 与流过该元件的电流 I 的关系来表示，即满足欧姆定律

$$R = \frac{U}{I}$$

在 U - I 坐标平面上, 线性电阻的特性曲线是一条通过原点的直线。

⑤ 非线性电阻元件的电压、电流关系不能用欧姆定律来表示, 它的伏安特性一般为一条曲线。图 1.1.5 给出的是一般晶体二极管的伏安特性曲线。

三、仪器设备

① 电工实验装置: DG012T、DY031、DG05-1。

② 万用表。

四、实验步骤

1. 白炽灯 (6.3V) 的伏安特性

按图 1.1.6 接线, 电流表接线时使用电流插孔, 图中 100Ω 为限流电阻。将电源电压调至 0V, 然后按表 1.1.1 调整电压, 将读取的电压、电流数据填入表 1.1.1 中。

表 1.1.1 白炽灯 (6.3V) 的伏安特性

U/V	0	0.2	0.4	0.6	0.8	2	5	6.3
I/mA								

2. 理想电压源的伏安特性

按图 1.1.7 接线, 电流表接线时使用电流插孔, 图中 100Ω 为限流电阻。接线前调稳压电源 $U_S = 10V$ 。按表 1.1.2 改变 R 的数值 (将可调电阻与电路断开后调整 R 值), 记录相应的电压值与电流值填入表 1.1.2 中。

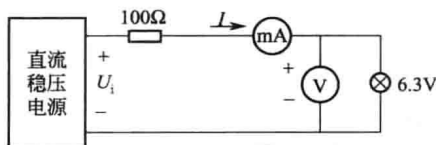


图 1.1.6 实验接线图 1

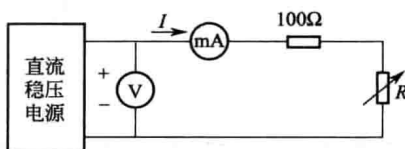


图 1.1.7 实验接线图 2

表 1.1.2 理想电压源的伏安特性

$R/k\Omega$	∞	1.0	0.5	0.3	0.2	0.1
U/V						
I/mA						

3. 实际电压源的伏安特性

按图 1.1.8 接线, 接线前调稳压电源 $U_S = 10V$ 。按表 1.1.3 改变 R 的数值 (将可调电阻与电路断开后调整), 记录相应的电压值与电流值于表 1.1.3 中。

表 1.1.3 实际电压源的伏安特性

$R/k\Omega$	∞	1.0	0.5	0.3	0.2	0.1
U/V						
I/mA						

4. 线性电阻的伏安特性

按图 1.1.9 接线, 按表 1.1.4 改变直流稳压电源的电压 U_S , 测定相应的电流值和电压值记录于表 1.1.4 中。

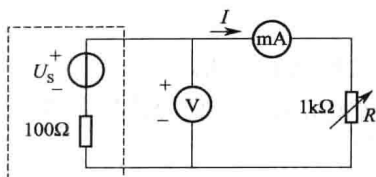


图 1.1.8 实验接线图 3

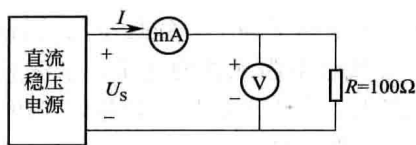


图 1.1.9 实验接线图 4

表 1.1.4 线性电阻的伏安特性

U_s/V	0	2	4	6	8	10
U/V						
I/mA						

5. 二极管伏安特性

将直流稳压电源的输出调至 0V 后按图 1.1.10 接线, 实验中注意正向时二极管端电压在 0~0.7V 之间, 其中电流不超过 20mA, 图中 200Ω 为限流电阻。调整输入电压使二极管两端电压与表 1.1.5 相符, 将电流测试值填入表 1.1.5 中。

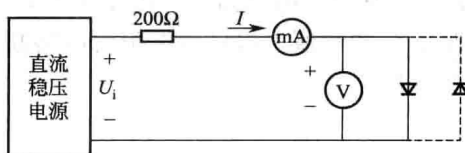


图 1.1.10 实验接线图 5

表 1.1.5 二极管伏安特性

U/V	0	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.72	0.75
I/mA										

做反向实验时, 可将二极管反接, 调电压 1~5V 观察实验现象。

五、Spice 仿真

① 在 AIM-Spice 环境下编写图 1.1.11 的 Spice 程序, 试画出图中 100Ω 线性电阻的伏安特性曲线, 如图 1.1.12 所示。

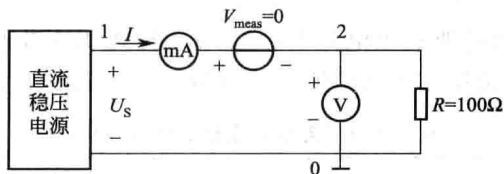


图 1.1.11 仿真接线图

② 在 AIM-Spice 环境下编写图 1.1.10 的 Spice 程序, 试画出图中二极管的伏安特性曲线, 如图 1.1.13 所示。

六、实验报告

根据测量数据, 在坐标纸上按比例绘出各伏安特性曲线。

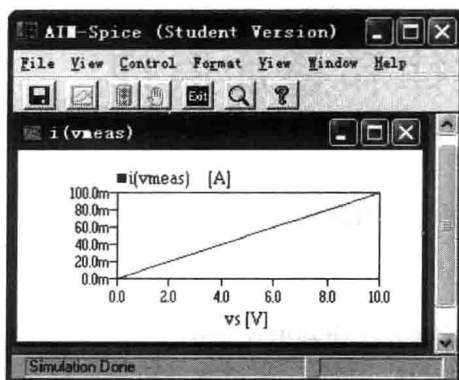


图 1.1.12 图 1.1.11 的仿真结果

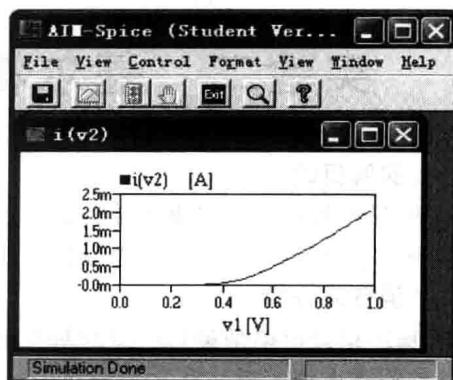


图 1.1.13 图 1.1.10 的仿真结果

实验二 基尔霍夫定律和叠加原理

一、实验目的

- ① 加深对基尔霍夫定律和叠加原理的内容和适用范围的理解。
- ② 进一步加强学习直流仪表设备的使用。

二、原理及说明

① 基尔霍夫定律是集总电路的基本定律。它包括电流定律和电压定律。

基尔霍夫电流定律：在集总电路中，任何时刻，对任一节点，所有支路电流的代数和恒等于零，即

$$\sum I=0$$

基尔霍夫电压定律：在集总电路中，任何时刻，沿任一回路内所有支路或元件电压的代数和恒等于零，即

$$\sum U=0$$

② 叠加原理是线性电路的一个重要定理。

把独立电源称为激励，由它引起的支路电压、电流称为响应。叠加原理可简述为：在任意线性网络中，多个激励同时作用时，总的响应等于每个激励单独作用时引起的响应之和。

三、仪器设备

电工实验装置：DG012T、DY031、DG05-1。

四、实验步骤

1. 基尔霍夫定律

- ① 按图 1. 2. 1 接线，其中 I_1 、 I_2 、 I_3 是电流插口， K_1 、 K_2 是双刀双掷开关。
- ② 先将 K_1 、 K_2 合向短路线一边，调节稳压电源，使 $U_{S1}=10V$ ， $U_{S2}=6V$ 。
- ③ 将 K_1 、 K_2 合向电源一边，按表 1. 2. 1 和表 1. 2. 2 中给出的各参量进行测量并记录，验证基尔霍夫定律。

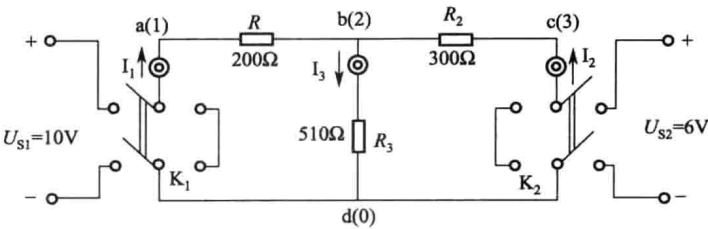


图 1. 2. 1 实验接线图

表 1. 2. 1 基尔霍夫电流定律

电 流	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA	验证节点 b: $\sum I=0$
计算值				
测量值				

表 1. 2. 2 基尔霍夫电压定律

电 压	U_{ab}	U_{bc}	U_{cd}	U_{da}	U_{bd}	验证 $\sum U=0$	
						回路 abcda	回路 abda
计算值							
测量值							

2. 叠加原理

实验电路如图 1.2.1 所示。

① 把 K_2 掷向短路线一边, K_1 掷向电源一边, 使 U_{S1} 单独作用, 测量各电流、电压并记录于表 1.2.3 中。

② 把 K_1 掷向短路线一边, K_2 掷向电源一边, 使 U_{S2} 单独作用, 测量各电流、电压并记录在表 1.2.3 中。

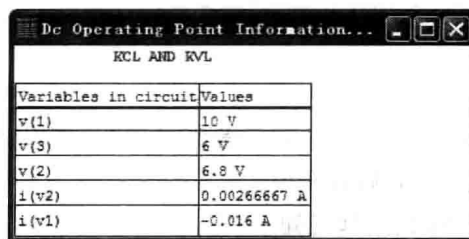
③ 两电源共同作用时的数据在实验步骤 1 中取得。

表 1.2.3 叠加原理

项 目		I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA	U_{ab}/V	U_{bc}/V	U_{bd}/V
U_{S1} 单独作用	计算值						
	测量值						
U_{S2} 单独作用	计算值						
	测量值						
U_{S1} 、 U_{S2} 共同作用	计算值						
	测量值						
验证叠加原理	计算值						
	测量值						

五、Spice 仿真

在 AIM-Spice 环境下编写图 1.2.1 的 Spice 程序, 并进行静态分析。如图 1.2.2 所示。



ECL AND KVL	
Variables in circuit	Values
v(1)	10 V
v(3)	6 V
v(2)	6.8 V
i(v2)	0.00266667 A
i(v1)	-0.016 A

图 1.2.2 图 1.2.1 的仿真结果

六、实验报告

① 用表 1.2.1 和表 1.2.2 中实验测得数据验证基尔霍夫定律和叠加原理。

② 根据图 1.2.1 给定参数, 计算表 1.2.2 中所列各项并与实验结果进行比较。

实验三 戴维南定理及功率传输最大条件

一、实验目的

- ① 用实验方法验证戴维南定理的正确性。
- ② 学习线性含源一端口网络等效电路参数的测量方法。
- ③ 验证功率传输最大条件。

二、原理及说明

1. 戴维南定理

任何一个线性含源一端口网络，对外部电路而言，总可以用一个理想电压源和电阻相串联的有源支路来代替，如图 1.3.1 所示。理想电压源的电压等于原网络端口的开路电压 U_{OC} ，其电阻等于原网络中所有独立电源为零时入端等效电阻 R_0 。

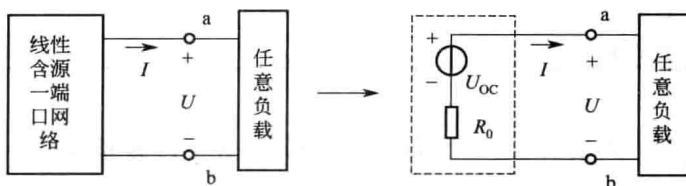


图 1.3.1 戴维南等效电路

2. 等效电阻 R_0

对于已知的线性含源一端口网络，其入端等效电阻 R_0 可以从原网络计算得出，也可以通过实验手段测出。下面介绍几种测量方法。

方法 1：由戴维南定理和诺顿定理可知

$$R_0 = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$$

因此，只要测出含源一端口网络的开路电压 U_{OC} 和短路电流 I_{SC} ， R_0 就可得出，这种方法最简便。但是，对于不允许将外部电路直接短路的网络（例如有可能因短路电流过大而损坏网络内部的器件时），不能采用此法。

方法 2：测出含源一端口网络的开路电压 U_{OC} 以后，在端口处接一负载电阻 R_L ，然后测出负载电阻的端电压 U_{RL} ，因为

$$U_{RL} = \frac{U_{OC}}{R_0 + R_L} R_L$$

则入端等效电阻为

$$R_0 = \left(\frac{U_{OC}}{U_{RL}} - 1 \right) R_L$$

方法 3：令有源一端口网络中的所有独立电源置零，然后在端口处加一给定电压 U ，测得流入端口的电流 I [如图 1.3.2(a) 所示]，则

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

也可以在端口处接入电流源 I' ，测得端口电压 U' [如图 1.3.2(b) 所示]，则

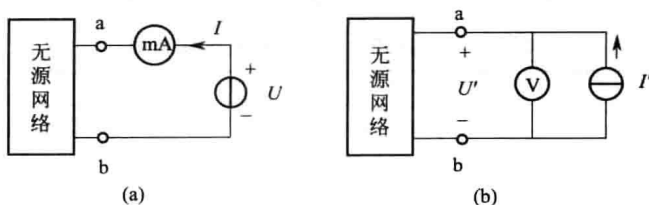


图 1.3.2 电路的等效

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

3. 功率传输最大条件

一个含有内阻 r_0 的电源给 R_L 供电，其功率为

$$P = I^2 R_L = \left(\frac{E_0}{R_L + r_0} \right)^2 R_L$$

为求得 R_L 从电源中获得最大功率的最佳值，可以将功率 P 对 R_L 求导，并令其导数等于零。

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dR_L} &= \frac{(r_0 + R_L)^2 - 2(r_0 + R_L)R_L}{(r_0 + R_L)^4} E_0^2 \\ &= \frac{r_0^2 - R_L^2}{(r_0 + R_L)^4} E_0^2 = 0 \end{aligned}$$

解得 $R_L = r_0$ ；最大功率为

$$P_{\max} = \left(\frac{E_0}{r_0 + R_L} \right)^2 R_L = \frac{E_0^2}{4r_0}$$

即负载电阻 R_L 从电源中获得最大功率的条件是负载电阻 R_L 等于电源内阻 r_0 。

三、仪器设备

电工实验装置：DG012T、DY031、DG05-1。

四、实验步骤

1. 线性含源一端口网络的外特性

按图 1.3.3 接线，改变电阻 R_L 值，测量对应的电流和电压值，数据填在表 1.3.1 内。

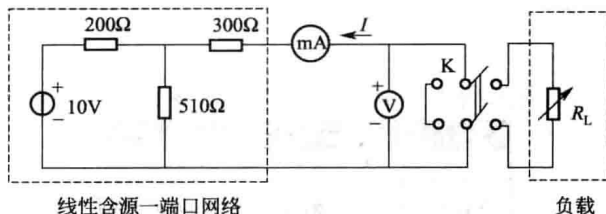


图 1.3.3 实验接线图 1

表 1.3.1 线性含源一端口网络的外特性

R_L/Ω	0(短路)	100	200	300	400	500	700	800	∞ (开路)
I/mA									
U/V									

2. 求开路电压 U_{OC} 和等效电阻 R_0

利用原理及说明 2 中介绍的 3 种方法之一求 R_0 ，并将结果填入表 1.3.2 中，方法 1 和