

普通高等院校电气电子类规划系列教材

PUTONG GAODENG YUANXIAO DIANQI DIANZILEI GUIHUA XILIE JIAOCAI

电路和模拟电子技术 实验指导

DIANLU HE MONI DIANZI
JISHU SHIYAN ZHIDAO

刘 涇 \ 主 编
杨利民 靳玉红 \ 副主编
马建国 \ 主 审

普通高等院校电气电子类规划系列教材

电路和模拟电子技术实验指导

主 编 刘 涇

副主编 杨利民 靳玉红

主 审 马建国

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

电路和模拟电子技术实验指导 / 刘涇主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2011.8
普通高等院校电气电子类规划系列教材
ISBN 978-7-5643-1343-2

I. ①电… II. ①刘… III. ①电路理论—实验—高等
学校—教学参考资料②模拟电路—电子技术—实验—高等
学校—教学参考资料 IV. ①TM13-33②TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 169023 号

普通高等院校电气电子类规划系列教材
电路和模拟电子技术实验指导

主编 刘 涇

责任编辑	黄淑文
特邀编辑	黄庆斌
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	14.125
字 数	351 千字
版 次	2011 年 8 月第 1 版
印 次	2011 年 8 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-1343-2
定 价	26.00 元

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

电路、电子技术基础实验是配合电路、电子技术基础理论课程的一个关键环节，是学生进一步认识电路、电子技术理论的重要步骤，课程的特点是通过实验来达到对电子技术基础理论的知识点实践层理解，为将来的工程应用打下良好的基础。要想很好地掌握电子技术基础，尤其是模拟电子技术基础，除了从理论层面认真学好关于电子元器件及基本电路的原理和分析方法外，还要掌握它们的具体应用。电子技术基础实验就是具体应用的入门，实验指导书是这一教学环节在理论教材基础上的指导。

本书是电路、模拟电子技术实验指导书。全书内容分为 4 个模块：

(1) 基础实验模块，重点是让同学们学会基本的实验方法。该模块按通常教学模式进行。

(2) 自学开放实验模块主要是学生根据自己在基础实验模块掌握的实验方法、技能，进一步对自己已有理论知识进行深入的理解、消化、掌握。

(3) 自主开放实验模块是在开放实验室进行的，它与自学开放实验模块的主要区别是同学根据基础实验模块和自学开放实验模块的学习，尝试着自己用实验的方法来解决一些较复杂的问题，为将来的应用和继续提高深造打下坚实基础。因此这一部分实验有些只有标题或框架，有些只给了部分内容，其他要靠学生自己完善，并完成实验。

(4) 附录模块主要收集了一些完成基础实验模块实验必需的技术资料和自学开放实验模块和自主开放实验模块资料查找方向。

自学开放实验模块和自主开放实验模块实验的内容是属于“差别化教学的”内容，暂不对学生做统一要求。

本书特点如下：

(1) 重塑“验证性实验”应有地位，本教材在自学开放实验模块编入了一定的验证性实验。

(2) 根据学时合理地调整教学实验的内容，留本去末。将每个教学实验调整到合理的量上，被压缩的重要内容，自然地放到自学开放实验模块和自主开放实验模块让同学课余进行。

(3) 从内容上增加“返璞归真”“求本溯源”的实验，重点放在目前仍在应用并不断发展的基础理论知识点上。比如：在本书电子技术基础实验的自学开放实验模块中新编了倒 T 型电阻网络 D/A 实验，让同学们在实验中充分理解 D/A 本质原理及模电和数电的关系。一改过去的 D/A 实验都从 DAC0832 开始，使同学对 D/A 本质原理理解一直停留在理论层面和带“黑匣子”的实验层面上。

(4) 实验中突出学生专业“判断力”和工程素质的培养和提高。在实验中突出如何判断所用元器件、仪器仪表、专用导线的好坏，对工程素质密切相关的实验步骤有严格要求。

(5) 创新附录的编写方式，锻炼同学自主自己查资料，同学利用网络进行更广泛查询。同学们将在广泛地查询中获得知识，提高自己的专业判断力和培养自主学习精神。

(6) 强调仿真软件在电子技术基础理论实验上的重要性，很多原理图都是以仿真的形式

给出的, 仿真软件是自主学习的“优秀”老师。

(7) 加强了本质原理的综合应用, 在自主开放实验模块中新编了大型电路、电子技术综合性实验——指针式万用表的设计、仿真、安装、调试, 让同学们自己用微安表头设计一个可以测量交、直流电流、电压和电阻的多功能仪表。

(8) 将电路和模拟电子技术实验放在一本实验指导书里, 是充分考虑这两门课之间的彼此较高的依赖关系, 同学们有时感到模电难学, 其实是电路的相关知识掌握得不扎实或忘记了。

使用该实验指导书进行教学的最佳硬件条件是配备有独立的两种电子技术基础实验室, 也就是教学实验室和开放实验室, 两者不能混合使用, 因为混合使用可能会由于设备的原因使基础实验教学的质量得不到保证。目前还没有独立的开放电子实验室的学校也可用仿真环境替代开放性实验室。

总之, 本实验指导书就是本着尽量解决以上问题, 在经过多年实验教改项目的实践, 并已取得较好效果的基础上总结编写而成的。在编写过程中还参照了《高等学校国家级示范中心建设标准》和《高等学校本科教育工作提高教学质量的若干意见》的要求以及目前“卓越”工程师的培养目标。由于本书内容提倡仿真工具在实验中的应用, 因此本书还可作为网教、自考、电大等无线电、电子对抗、自动化、电气工程、计算机、安全工程等专业的实验教材, 以弥补这类办学模式在实验环节方面的不足。

本实验教材由刘涇担任主编, 杨利民、靳玉红担任副主编。电路部分基础实验模块实验 7、8 由郭颖编写, 实验 3、6 由靳玉红编写, 实验 1、2 由杨利民编写, 实验 4、5 由郭玉英编写; 自学开放实验模块实验 1 杨利民编写, 实验 2 由靳玉红编写, 实验 3、6 由林伟编写, 实验 4 由郭颖编写, 实验 5 由郭玉英编写; 自主开放实验模块实验 1、2 由林伟编写, 实验 3、4 由靳玉红编写, 实验 5 由靳玉红编写。电子技术基础实验部分, 基础实验模块实验 2、4 由王玉编写, 实验 3 张小京编写; 实验 10 由曹文编写; 自学开放模块实验 5、6、7、8 由刘春梅编写, 自学开放实验模块实验 1 由刘春梅编写, 实验 3 曹文编写; 实验 4、5、6 由黎恒编写, 附录 3 中 DGJ-3 型电工技术实验装置简介由杨利民编写, 附录 5 由林伟编写, 附录 6 中 Multisim 简介由刘春梅编写, 附录图片均由林伟老师收集。教材其他内容均由本教材主编编写。

主管教学的尚丽平院长对本书的前言和架构均提出了宝贵的意见, 在此表示谢意。

本书由马建国教授担任主审, 马建国教授在身体患重病的情况下, 仍对本教材进行了全面认真的审核, 并提出很多宝贵的意见, 在此深表感谢。马老师对教育事业的执着精神我们永远不会忘记。

同样要感谢我的学生张守峰、周凤、祁文洁、贺梅、刘勇军同学, 他们参加了本书内容的绘图、仿真和手稿录入等工作。

本实验指导书也参考了天煌科技实业有限公司实验设备配套的非正式出版的实验指导讲义和本学院在此之前使用的非正式出版的实验指导书自编讲义的内容, 在此对参加过这些实验指导讲义编写的老师一并致谢。

由于我们水平有限, 加之时间有限, 因此错误在所难免, 诚请使用者批评指正。

编者

2011 年 5 月

目 录

第一部分 电路实验

一 基础实验	3
实验一 元件伏安特性的测试	3
实验二 电源的等效变换	6
实验三 多源等效电路的研究	7
实验四 一阶电路的设计	11
实验五 交流参数的确定	13
实验六 单相交流电路	16
实验七 三相交流电路的分析	18
实验八 三相功率的测量	20
二 自学开放实验	25
实验一 基尔霍夫定律	25
实验二 受控源的研究	26
实验三 R 、 L 、 C 元件阻抗特性的测定	30
实验四 互感电路的测量	33
实验五 RLC 串联谐振电路的研究	36
实验六 RC 选频网络特性测试	39
三 自主开放实验	43
实验一 二阶电路响应的研究	43
实验二 负阻抗变换器	45
实验三 电路瞬态的计算机辅助分析	48
实验四 RLC 串/并联谐振电路的计算机辅助分析	50
实验五 无源滤波器的研究	51

第二部分 电子技术实验

一 基础实验	55
实验一 常用电子仪器、仪表的使用	55

实验二	晶体管单管放大电路的测试	57
实验三	低频 OTL 功率放大器	61
实验四	电压串联负反馈放大电路验证	64
实验五	低频功率放大器 (集成)	67
实验六	集成运算放大器指标测试	71
实验七	集成运算放大器的线性应用验证	76
实验八	集成运算放大器的非线性应用验证	84
实验九	集成运算放大器的应用设计	91
实验十	线性三端集成稳压器性能测试与简单应用	96
二	自学开放实验	101
实验一	基本放大电路测试	101
实验二	射极跟随器	105
实验三	差动放大器	108
实验四	有源滤波器的验证	113
实验五	基于运放 RC 正弦波振荡器验证	118
实验六	分立元件 RC 正弦波振荡器验证	121
实验七	LC 移相正弦波振荡器验证	126
实验八	分立元件线性直流稳压电源验证	129
实验九	MOS 晶体管单管放大电路的测试	135
实验十	基于运放温度监测及控制电路	137
实验十一	分立元件和运放组成的 D/A 实验	142
三	自主开放实验	146
实验一	模拟乘法器应用设计实验	146
实验二	模拟乘法器振幅调制与同步检波实验与仿真	149
实验三	用运算放大器组成万用电表的设计实验与仿真	152
实验四	对数和反对数放大电路的仿真与实验	157
实验五	开关电源综合性实验	159
实验六	开关电容滤波器电路仿真与实验	162
实验七	指针式分立器件万用表的设计、仿真、安装、调试	164

第三部分 附录

附录一	测量分析误差与数据处理	179
附录二	常用仪器仪表简介	179
附录三	DAM-Ⅱ 数字模拟多功能实验箱和电路实验装置简介	185
附录四	实验操作过程简介	188
附录五	KHM-2 天煌型模电综合实验装置简介	189

附录六	常用电子技术仿真软件简介	192
附录七	常用电子元器件简介	210
附录八	电子实验室常用模电实验板	210
附录九	电子实验报告参考模板	212
参考文献		215
后 记		216

第一部分



电路实验

一 基础实验

实验一 元件伏安特性的测试

一、实验目的

- (1) 了解线性电阻和非线性电阻的伏安特性；
- (2) 学习元件伏安特性的测试方法；
- (3) 掌握直流电压表、直流毫安表、直流稳压电源、万用表的用法。

二、预习要求

- (1) 预习电阻元件的伏安特性、二极管的伏安特性和电压源的伏安特性；
- (2) 预习参考方向与实际方向的关系。

三、实验原理

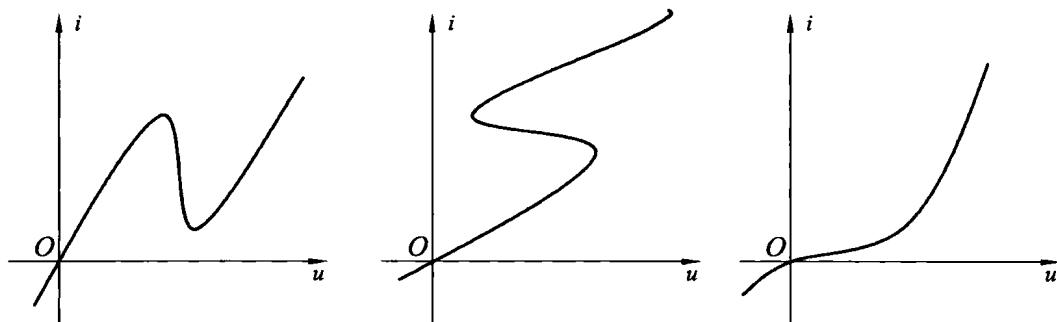
1. 非线性电阻元件

非线性电阻元件的伏安特性不服从欧姆定理，它与电压电流的方向与大小有关，因此它的伏安特性曲线是一条通过原点的曲线，可以分为三种类型。

(1) 若流过元件的电流是其两端电压的单值函数，则称该元件为电压控制型电阻元件，隧道二极管就具有这样的伏安特性，如图 1-1-1-1 (a) 所示。

(2) 若元件的电压是流过该元件的电流的单值函数，则称该元件为电流控制型电阻元件，充气二极管就具有这样的伏安特性，如图 1-1-1-1 (b) 所示。

(3) 若元件的伏安特性曲线是单调增加或单调减少，则该元件既是电压控制型元件，又是电流控制型元件，钨丝灯泡等就具有这样的伏安特性，如图 1-1-1-1 (c) 所示。



(a) 电压控制 (N) 型非线性电阻元件 (b) 电流控制 (S) 型非线性电阻元件 (c) 单调型非线性电阻元件

图 1-1-1-1 非线性电阻元件的分类

2. 关于电阻元件的实验测定

电阻元件的伏安特性可以用实验的方法来测定。一方面，要注意仪表的接法。由于电流表与电阻元件串联，因此电流表内电阻将起分压的作用；电压表与电阻元件并联，电压表的内电阻将起分流的作用，两者直接影响测量结果，因此根据被测电阻的大小，合理连接电压表和电流表，尽可能地减少测量误差。另一方面，使用伏安表法测定非线性电阻元件的伏安特性时，如果非线性电阻元件是电压控制型的，只能用可变电压源（也就是说选取电压作为自变量）；如果非线性电阻元件为电流控制型的，只能用可变电流源（也就是说选取电流作为自变量），否则就不能测定出完整的伏安特性。

四、实验内容与步骤

1. 测定线性电阻的伏安特性

- (1) 调节直流稳压电源，使其输出为 5 V。
- (2) 接线如图 1-1-1-2 所示，以定值电阻 ($R_1 = 200 \Omega$) 为被测线性电阻元件。
- (3) 根据电源电压及电阻值估算电压表、电流表的量程，选择合适的电压表、电流表。
- (4) 调节滑动变阻器，使电压表的读数为规定值，见表 1-1-1-1，对应电流表的读数记入表 1-1-1-1 中。
- (5) 将直流稳压电源的正负极极性反向连接，重复步骤 (1) ~ (4)，数据记入表 1-1-1-1 中。

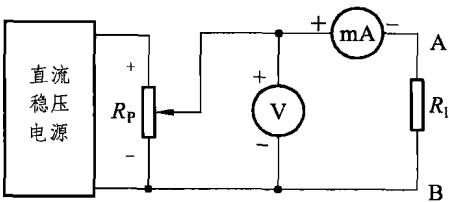


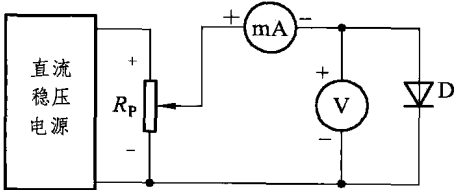
图 1-1-1-2 线性电阻测量接线图

表 1-1-1-1 线性电阻伏安特性测试数据表

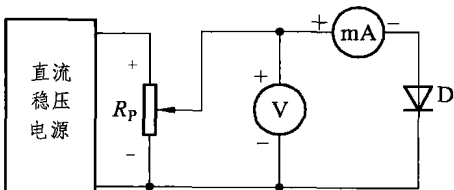
正向	$U(V)$	1	2	3	4
	$I(mA)$				
反向	$U(V)$	0	-1	-2	-4
	$I(mA)$				

2. 测定非线性电阻元件 —— 二极管的正向伏安特性

- (1) 调节直流稳压电源，使其输出电压为 1.5 V。如图 1-1-1-3 (a)、(b) 进行接线，根据二极管正向导通阻值的大小，请同学分析用 (a) 或 (b) 接线，哪个数据更精确？



(a) 正向伏安特性的测试接线



(b) 正向伏安特性的测试接线

图 1-1-1-3 非线性电阻测量接线图

(2) 调节滑动变阻器，使电压表的读数为表 1-1-1-2 所列的各电压值。使用直流毫安表，测量对应电流值，并记入表 1-1-1-2 中。

表 1-1-1-2 二极管伏安特性测试数据表[应选择（ ）接线]

正向	$U\text{ (V)}$	0	0.3	0.5	0.6	0.65	0.7	0.75
	$I\text{ (mA)}$							

3. 测定实际电压源的伏安特性

电源输出电压调至 3V。按图 1-1-1-4 所示接好线路，虚线框中的电路为实际电压源。调节滑动变阻器 R_p ，使电流为表 1-1-1-3 中的规定值，记录对应的电压值并填在表 1-1-1-3 中。

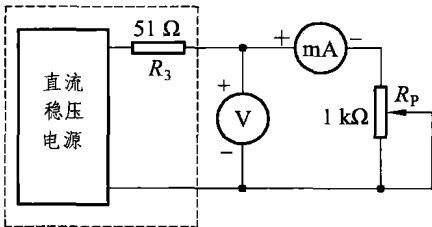


图 1-1-1-4 实际电压源测量接线图

表 1-1-1-3 实际电压源的伏安特性测试数据表

$I\text{ (mA)}$	0	5	10	15	20	25	30
$U\text{ (V)}$							

五、实验报告要求

- (1) 根据测试数据，按照比例绘制出电阻元件、二极管和实际电压源的伏安特性曲线。
- (2) 回答思考题。

六、实验设备

请根据实际情况如实记录实验中用到的仪器、仪表、实验台及实验板编号、主要元器件（名称、型号、数量）

七、思考题

- (1) 为什么电流表不能用来测量电压？稳压电源的正负极为什么不能短接？
- (2) 如图 1-1-1-3 所示，在非线性电阻的正向特性测量中，说明你选择（a）或（b）接线的理由？

八、实验体会

针对实验过程中遇到的问题及解决方法谈谈心得体会。

实验二 电源的等效变换

一、实验目的

- (1) 了解实际电流源及其外特性；
- (2) 掌握电流源和电压源等效变换的条件。

二、预习要求

- (1) 预习电源相关知识；
- (2) 预习电源等效变换。

三、实验原理

一个实际的电源，就其外部特性而言，既可以看成是一个电压源，又可以看成是一个电流源。若视为电压源，则可用一个理想的电压源 U_S 与一个电阻 R_O 串联的组合来表示；若视为电流源，则可用一个理想电流源 I_S 与一个电阻 R_O 并联的组合来表示。如果这两种电源端口电流和电压相同，则称这两个电源是等效的，具有相同的外特性。

实际电压源与实际电流源等效变换的条件为： $I_S = U_S/R_O$ 或 $U_S = I_S R_O$ 。

四、实验内容与步骤

1. 理想电流源伏安特性测试

测试理想电流源的伏安特性按图 1-1-2-1 接线，其中 **ab** 的左边部分电路是一个理想电流源，它可以向外电路负载 R_L 提供一个恒定电流。调节理想电流源使 $I_C = 8 \text{ mA}$ 。然后由小到大调节 R_L ，记下电流表的值。观察随着 R_L 的变化， I_C 是否改变？

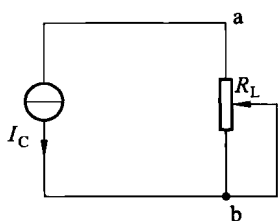


图 1-1-2-1 理想电流源电路

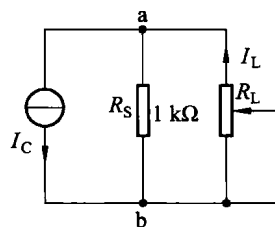


图 1-1-2-2 实际电流源电路

2. 实际电流源伏安特性测试

测试实际电流源的伏安特性按图 1-1-2-2 接线。其 **ab** 左边部分相当于一个实际电流源 $I_C = 8 \text{ mA}$ ， $R_S = 1 \text{ k}\Omega$ 。改变 R_L 使 U_L 为表 1-1-2-1 中所给数据，记录下相应的流过 R_L 的电流 I_L ，数据记入表 1-1-2-1 的测量值中。

3. 电源等效变换验证

根据电源等效变换条件，调节稳压电源的输出电压为 8 V ，再串联一个 $R_S = 1 \text{ k}\Omega$ 的电阻，就构成一个实际电压源，如图 1-1-2-3 所示。调节 R_L 使其端电压为表 1-1-2-1 中的数据，记下

相应的电流值，数据记入表 1-1-2-1 的测量值中。比较测量值和通过等效得到的计算值，作出结论，并绘出两等效电源的外特性曲线。

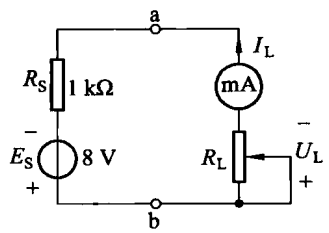


图 1-1-2-3 实际电流源的电压源变换电路

表 1-1-2-1 实际电流源与电压源的等效变换测试数据表

U_L (V)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3
i_L (mA) 测量值 (实际电流源)							
i_L (mA) 测量值 (实际电压源)							
误差%							

七、实验报告要求

- (1) 根据测试数据，按照比例绘制伏安特性曲线。
- (2) 回答思考题。

六、实验设备

请根据实际情况如实记录实验中用到的仪器、仪表、实验台及实验板编号、主要元器件(名称、型号、数量)

七、思考题

- (1) 在图 1-1-2-1 中，a、b 左边的电路部分是否可以用一个电压源等效变换？为什么？
- (2) 计算表 1-1-2-1 中测量值和计算值之间的误差，并分析误差产生的原因。

八、实验体会

针对实验过程中遇到的问题及解决方法谈谈心得体会。

实验三 多源等效电路的研究

一、实验目的

- (1) 用实验方法验证叠加定理；

- (2) 学习戴维南等效电路参数的测量方法；
- (3) 用实验方法验证戴维南定理。

二、预习要求

- (1) 预习叠加定理；
- (2) 预习戴维南定理。

三、实验原理

1. 叠加定理

叠加定理：在线性电阻电路中，某处电压或电流都是由电路中各个独立电源单独作用时，在该处分别产生的电压或电流的叠加。

2. 戴维南定理

戴维南定理：一个含独立电源、线性电阻和受控源的一端口，对外电路来说，可以用一个电压源和电阻的串联组合等效变换，电压源电压等于一端口的开路电压，电阻等于一端口除去独立电源后的输入电阻。

戴维南定理中开路电压 U_{oc} 的测量方法。

- (1) 直接测量法。

用直流电压表可以直接测量一个含独立电源、线性电阻和受控源的一端口 a、b 端开路时的电压 U_{ab} ，此即为开路电压 U_{oc} 。

- (2) 外特性曲线法。

如果一端口网络不允许 a、b 端开路或短路时，可以在 a、b 端不开路也不短路的情况下先测量出外特性，绘制出外特性曲线，然后将该特性曲线延伸，其在纵坐标（电压坐标）上的截距就是 U_{oc} ，如图 1-1-3-1 所示。

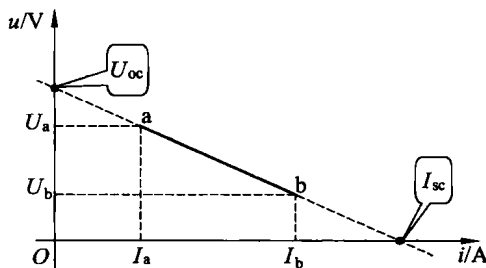


图 1-1-3-1 用伏安特性曲线求戴维南等效电路参数

实际上，在测试中只要知道外特性曲线上任意两点的坐标参数，如图 1-1-3-1 所示中 a、b 两点的坐标分别为 (U_a, I_a) 和 (U_b, I_b) ，则可计算出 $U_{oc} = U_b + I_b \times R_{eq}$ 。

- (3) 补偿法。

为避免电压表内阻对测量的影响，可以使用补偿法来测量开路电压 U_{oc} 。在 a、b 两端接上一直流毫安表和一个输出电压可调的电压源支路，如图 1-1-3-2 所示。调节电压源，当电流表读数为零时，电压源上的电压 U' 即为 a、b 两点间开路电压 U_{oc} 。

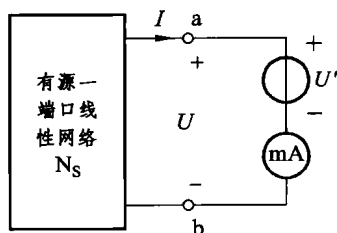


图 1-1-3-2 用补偿法求开路电压

4. 戴维南定理中等效电阻 R_{eq} 的测量方法

(1) 开路短路法。

由戴维南定理可知, $R_{eq} = U_{oc} / I_{sc}$ 。式子中的 U_{oc} 即为开路电压, 可以用上述开路电压的测量方法得到; I_{sc} 为短路电流, 可以直接用低内阻电流表测量得到。但是, 如果因为测量短路电流而造成短路电流过大, 损坏内部器件时, 不宜采用此方法。

此外, 还可以在 a、b 端不开路也不短路的情况下绘制出外特性曲线, 如图 1-1-3-1 所示; 然后将该特性曲线延伸, 其在纵坐标 (电压坐标) 上的截距就是 U_{oc} , 在横坐标 (电流坐标) 上的截距就是 I_{sc} , 根据 $R_{eq} = U_{oc} / I_{sc}$ 可计算出等效电阻。

(2) 外特性曲线两点法。

实际上, 只要知道外特性曲线上任意两点的坐标参数, 如图 1-1-3-1 中 a、b 两点的坐标分别为 (U_a, I_a) 和 (U_b, I_b) , 就可以根据 $R_{eq} = \frac{U_a - U_b}{I_b - I_a}$ 计算出等效电阻。

(3) 端口外接电阻法。

测出有源一端口网络的开路电压 U_{oc} 后, 在端口处外接一负载电阻 R_L , 然后测出负载电阻的端电压 U_{R_L} , 其电路如图 1-1-3-3 所示。

$$\text{由于 } U_{R_L} = \frac{U_{oc}}{R_{eq} + R_L} \times R_L$$

$$\text{则等效电阻为: } R_{eq} = \left(\frac{U_{oc}}{U_{R_L}} - 1 \right) \times R_L$$

在实验中, 如果负载电阻 $R_L = R_{eq}$ 时, 则回路中电流为短路电流 I_{sc} 的一半, 此方法称为半偏法。

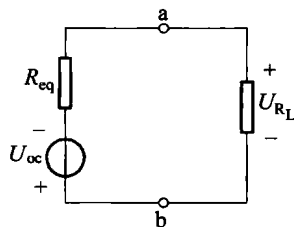


图 1-1-3-3 端口外接电阻法

四、实验内容与步骤

1. 验证叠加定理

(1) 先把电压源和电流源按照电路板上所需值调节正确, 然后关掉两个电源。(注意: 电流源的输出必须是闭合回路)

(2) 自行选择一个固定电阻, 接在 ab 两端, 分别测量出当电压源、电流源分别作用和共同作用时, 流过固定电阻的电流 I 及固定电阻两端的电压 U , 将数据填入表 1-1-3-1 中。根据所测数据, 验证是否符合叠加定理。

注意: 当电流源单独作用时, 电压源应该短路, 此时电压源应该先关掉, 再短路。