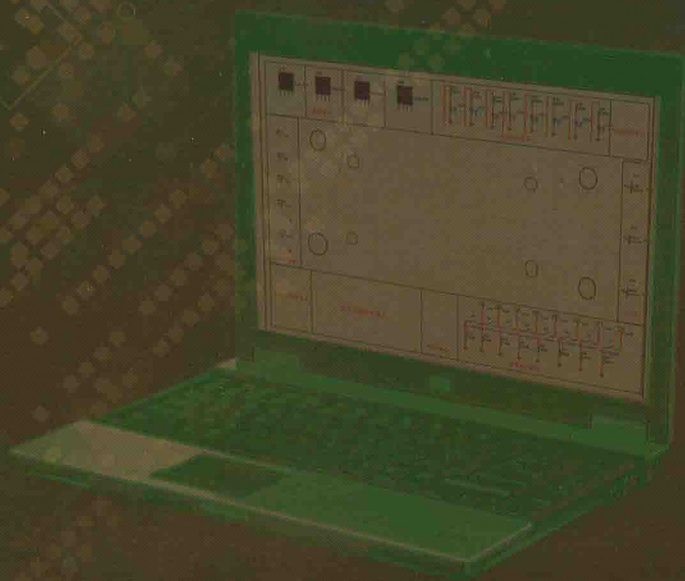


电路和模拟电子技术 实验指导书 (第二版)

主 编 刘 涇 靳玉红
副主编 杨利民 王 玉 朱玉玉

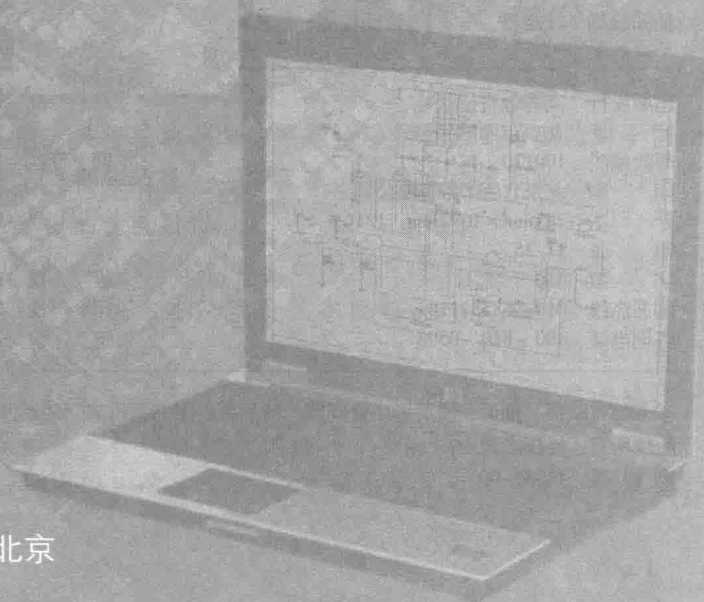


高等教育出版社

DIANLU HE MONI DIANZI JISHU SHIYANZHIDAOSHU

电路和模拟电子技术 实验指导书 (第二版)

主 编 刘 涇
副主编 杨利民 靳玉红
王 玉 朱玉玉



高等教育出版社·北京

内容简介

本书包含三个部分：电路实验、电子技术实验和附录。其中电路实验和电子技术实验都分为三个模块：基础实验模块、自学开放实验模块和自主开放实验模块。本指导书是基于 AATEt 新教学方法的实验教材，电路部分编写实验 20 个，电子部分编写实验 31 个，基本覆盖理论教材的所有内容。实验学时少，是一个普遍存在的难题，本书突出仿真软件在实验中的辅助作用，利用学生自建“虚拟实验室”达到实验学时扩展、重组及和谐，非常适合高校本科培养目标从“考试”向“就业”转型的使用，该指导书能逐步将学生从“应试、依赖式学习”方式转向“学生主体”学习方式。

由于本书提倡“学生主体”学习方式，深入落实了仿真工具在实验中的应用，所以本书除了可作为高等院校自动化、电气工程、计算机等专业的实验教材外，还可作为相关专业成人教育的实验教材，以缓解该类型高等教育普遍存在的实验环节教学不足的问题。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路和模拟电子技术实验指导书 / 刘涇主编. -- 新
1 版. -- 北京: 高等教育出版社, 2016. 5
ISBN 978-7-04-044534-3

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 (2015) 第 312282 号

策划编辑 平庆庆
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 平庆庆
责任校对 吕红颖

封面设计 李小璐
责任印制 赵义民

版式设计 马云

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京七色印务有限公司
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 17.25
字 数 410 千字
购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>

版 次 2016 年 5 月第 2 版
印 次 2016 年 5 月第 1 次印刷
定 价 28.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 44534-00

第二版前言

本指导书第一版于2011年8月出版,已经使用了5年,在使用过程中发现指导书已有很多地方跟不上教学理念、教学方法的发展,主要体现在如下5个方面。1.如今我们已经明确教学理念和教学方法,理念是知识自动化,学生主体教师主导,方法是“AA-TET”(Automation Aided Teaching Experiment,自动化辅助教学实验),简称“艾泰特”,它是指利用现代信息技术平台和计算机软硬件技术辅助理论教学和实验教学。比如:理论课可以将预习方法录制成视频供学生提前自主学习参考,实验课可以将如何利用理论知识和计算机软硬件技术预习实验录制成视频供学生预习参考。但在第一版编写时体现不足。2.虽然在教学中已强调实验预习的重要性,且第一版指导书中也有专门要求,但预习做得好的同学还是有限,调查发现“不会预习”是主要原因之一,这说明指导书里预习部分引导不够。3.老师针对实验教学中存在的问题已有新的解决方法,第一版指导书没有将该方法充分融入。4.第一版对电路实验部分编写得比较传统,2014年电子技术基础实验的教师获得教育部电子信息类专业教学指导委员会2014年“重大、热点、难点”研究课题《探索知识自动化理念下以学生为主体的教学模式和教学方法》后,对电路课老师影响也很大,他们要求在电路实验时,也能应用此教学模式与方法。5.在使用过程中发现第一版的内容还有一些不足之处。为了更好地在新教学理念和模式下提高实验教学质量,适应这些新的变化,我们决定对第一版内容进行修订。第二版主要增添和修改内容如下:

1. 电路部分均增加了预习仿真要求,也在附录里增加了电路实验仿真案例。

2. 为了更好地辅助学生做好预习后再进入电子技术实验室做实验,我们在电子基础实验部分的10个实验中选择了6个预习方法不太一样的实验,在其中增加了更详细的预习引导内容,验证性实验增加了预习估算与仿真步骤,设计性实验增加了设计与仿真步骤,在附录七增加了图片化的仿真案例,并将基础部分的实验预习和自学部分实验用不同颜色的字体进行了区分。预习质量是实验操作质量的可靠保障,在仿真技术如此发达的今天,必须让同学学会利用它改变实验预习的传统习惯。

3. 目前实验存在的主要问题还是学时少,学生们工程思维和动手能力不高,老师数量、质量不足,课程安排不合理等,我们解决的办法就是把本校电子技术实验室的“虚拟版”发给学生,有了这个虚拟版电子技术实验室,同学们就可以在图书馆、校园、宿舍随时、反复进行指导书中的实验,以达到充分理解理论知识点,并积累一些工程思维和准工程能力的目的。所以再版时将基础部分实验一名称由原来的“常用电子仪器仪表的使用”改为“模拟实、虚电子实验环境的构建与使用”,以突出学生首先要学会构建自己虚拟电子实验环境的现实性和重要性。

4. 电路部分增加了一些第一版未覆盖的重要理论知识点实验, 比如在自学开放实验里增加了“密勒定理仿真实验”, 在自主开放实验里增加了设计综合性实验“指针式万用表设计、仿真、安装、调试”。

5. 将教师的学科前沿研究内容提炼编成实验, 供学有余力的学生参考。例如在电子技术实验自学开放部分增加了“晶体三极管 $r_{bb'}$ 的简易测试”, 该实验使得 $r_{bb'}$ 这一知识难点在该实验过程中得到很好的理解。在自主开放部分增加了“二阶低通开关电容滤波器实验”。该实验为学生将来设计集成电路滤波器奠定良好的基础。

6. 强调培养学生的创新发散思维, 公式算法中的元件编号均与实验电路图的元件编号相同; 有意识将实验电路进行适当变化, 使学生在充分理解理论公式算法后, 才能进行实验的预习计算、仿真和实现。为了贯彻由浅入深学习方法, 我们将实验电路硬件安装、调试写入扩展要求。

7. 修改了第一版中部分实验的顺序, 使整体架构更加符合第二版的编写中心思想。

本书由刘涇担任主编, 杨利民、靳玉红、王玉、朱玉玉担任副主编, 参加本书修订工作的还有张小乾、刘瀚宸。杨利民对电路部分的基础实验内容和附录三进行了修订, 靳玉红对电路部分的自学开放实验和自主开放实验内容进行了修订, 其中包括新增加的自学开放实验三、实验四, 自主开放实验四及附录十的电路部分实验仿真, 同时电路部分的图、文稿校对由靳玉红完成。朱玉玉、张小乾负责对电子技术实验进行了部分编写, 其中自学开放实验二、实验十四由朱玉玉编写, 电子技术部分的自学开放实验十三、实验十五由张小乾编写, 王玉负责对电子技术实验部分进行校对。刘瀚宸参加了一审专家提出的问题修改的文字工作, 并编写、核对电子技术实验部分的图稿、文稿, 另外, 付涛、张慧玲、周颖同学在全书修订过程中也参加了部分工作。全书最终由主编定稿。

感谢华北电力大学的戴振刚老师对本书的审阅, 并提出许多宝贵的意见和建议。

主管教学的姚远程院长对第二版的编写给予了大力支持, 并提出了宝贵的意见, 在此表示谢意。

本指导书第二版的编写得到教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会 2014 “重大、热点、难点”研究课题的资助。项目编号 2014 - Y18。

本指导书第二版的编写得到学校教材建设项目的资助。

尽管我们在第二版的编写过程中倾注了大量心血与时间, 但由于水平及时间有限, 书中不足之处在所难免, 敬请读者批评指正。作者邮箱: Liuqing@swust.edu.cn。

编 者

2015 年 12 月于高新书屋

第一版前言

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路和电子技术基础理论知识点的进一步理解,为将来的工程应用打下良好基础。要想很好地掌握电路、电子技术基础理论,尤其是模拟电子技术基础理论,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。电路、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学生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,主要收集一些完成基础实验模块必需的技术资料,以及提供了自学开放实验模块和自主开放实验模块资料的查找方向。

自学开放实验模块和自主开放实验模块的实验内容是属于“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一定量的验证性实验。

(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性实验模块让同学们课余进行。

(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模块中新编了倒T形电阻网络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,可以锻炼学生自主查资料的能力,也可以利用网络进行查询。同学们将在广泛的查询中获得知识,提高自己的专业判断力和培养自学能力。

(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) 在自主开放实验模块中,加强了本质原理综合应用,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指导书里,是充分考虑到这两门课之间有非常紧密的联系,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性实验室,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性电子实验室的学校也可用仿真环境代替开放性实验室。

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。

本实验教材由刘泾担任主编,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由杨利民编写,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、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由张小京编写;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由曹文编写;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、靳玉红编写,附录5由林伟编写,附录6中Multisim简介由刘春梅、靳玉红、刘泾编写,附录图片均由林伟、靳玉红老师收集。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,在此向参加过这些实验指导讲义编写的老师一并致谢。

由于水平有限,加之时间有限,错误在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

2011年5月

目录

第一部分 电路实验

一 基础实验	1	实验五 互感电路的测量	32
实验一 元件伏安特性的测试	1	实验六 RLC 串联谐振电路的 研究	35
实验二 电源的等效变换	4	实验七 RC 选频网络特性测试	37
实验三 叠加定理和戴维宁定理	5	三 自主开放实验	41
实验四 一阶电路的设计	9	实验一 二阶电路的暂态响应	41
实验五 交流参数的确定	11	实验二 负阻抗变换器	42
实验六 单相交流电路	13	实验三 无源滤波器的设计与 仿真	44
实验七 三相交流电路的分析	15	实验四 非正弦交流电路的分析 与仿真	46
实验八 三相功率的测量	18	实验五 指针式分立器件万用表 的设计、仿真、安装与 调试	48
二 自学开放实验	22		
实验一 基尔霍夫定律	22		
实验二 受控源的研究	23		
实验三 密勒定理的电路仿真	27		
实验四 元件阻抗特性的测定	29		

第二部分 电子技术实验

一 基础实验	62	实验七 集成运算放大器的线性 应用验证	85
实验一 模拟实、虚实验环境的 构建与使用	62	实验八 集成运算放大器的非 线性应用验证	95
实验二 BJT 单管放大电路的 测试	65	实验九 集成运算放大器的应用 设计	101
实验三 BJT 低频 OTL 功率 放大器	70	实验十 线性三端集成稳压器 性能测试与简单应用	107
实验四 BJT 电压串联负反馈放大 电路验证	73	二 自学开放实验	112
实验五 低频集成功率放大器 测试	77	实验一 基本共射放大电路 测试	112
实验六 集成运算放大器指标 测试	80	实验二 静态工作点稳定共射 放大电路测试	115

实验三	MOS 晶体管单管放大电路的测试	119
实验四	射极跟随器	121
实验五	BJT 差动放大器	124
实验六	有源滤波器的验证	129
实验七	基于运放 RC 正弦波振荡器验证	135
实验八	分立元件 RC 正弦波振荡器验证	138
实验九	变压器反馈 LC 正弦波振荡验证	142
实验十	分立元件线性直流稳压电源验证	145
实验十一	基于运放温度监测及控制电路	150
实验十二	普通二极管限幅、整流和开关换向的仿真验证	155
实验十三	迷你小功率放大器设计、仿真、调试	158

实验十四	晶体三极管 r_{bb} 参数的测试	161
实验十五	MOSFET 差分放大器	164
三	自主开放实验	170
实验一	模拟乘法器应用设计实验	170
实验二	模拟乘法器振幅调制与同步检波实验与仿真	173
实验三	用运算放大器组成万用电表的设计实验与仿真	175
实验四	对数和反对数放大电路的仿真与实验	179
实验五	开关电源电路仿真与实验	182
实验六	一阶低通开关电容滤波器电路仿真与实验	185

第三部分 附录

附录一	测量分析误差与数据处理	189
附录二	常用电子仪器仪表简介	189
附录三	DAM - II 数字模拟多功能实验箱和电路实验装置简介	196
附录四	实验操作过程简介	202
附录五	KHM - 2 型模电综合实验装置简介	203
附录六	常用电子技术仿真软件	

	简介	205
附录七	常用电子元器件简介	237
附录八	电子实验室常用模拟电子技术实验板	238
附录九	电子实验报告参考模板	240
附录十	电路实验部分实验仿真步骤	243
附录十一	电子技术实验部分实验仿真步骤	249

参考文献	258
第二版后记	260
第一版后记	263

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、二极管和电压源的伏安特性。
2. 预习参考方向与实际方向的关系。
3. 仿真实验内容。

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律，它与电压电流的方向与大小有关，因此它的伏安特性曲线不是一条通过原点的曲线，可以分为三种类型。

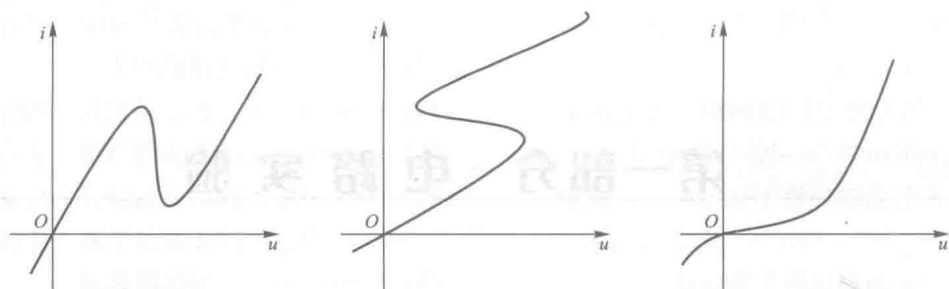
(1) 若流过元件的电流是其两端电压的单值函数，则称该元件为电压控制型(N)非线性电阻元件，隧道二极管就具有这样的伏安特性，如图1-1-1-1(a)所示。

(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(S)非线性电阻元件，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。

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



(a) 电压控制型(N)非线性电阻元件 (b) 电流控制型(S)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

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、电流表量程。

(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，将对应电流表的读数记入表 1-1-1-1 中。

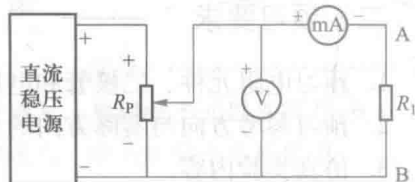


图 1-1-1-2 线性电阻测量接线图

(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。

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。按图 1-1-1-3 (a)、(b) 接线，根据二极管正向导通阻值的大小，试分析分别按照图 (a) 和图 (b) 接线，哪个数据更精确？

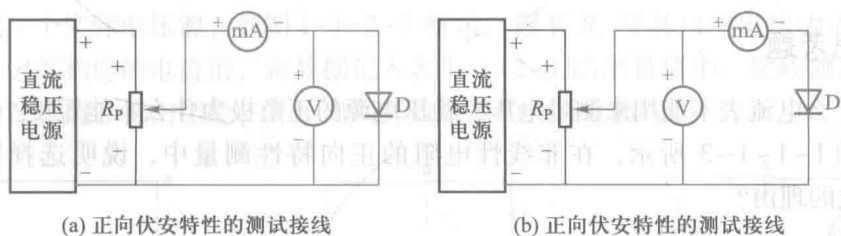


图 1-1-1-3 非线性电阻测量接线图

(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[按照图 1-1-1-3() 接线测得的数据]

正向	U/V	0	0.3	0.5	0.6	0.65	0.7	0.75
	I/mA							

注：() 中填 a 或 b。

3. 测定实际电压源的伏安特性

电源输出电压调至 3 V。按图 1-1-1-4 所示接好线路，点画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。

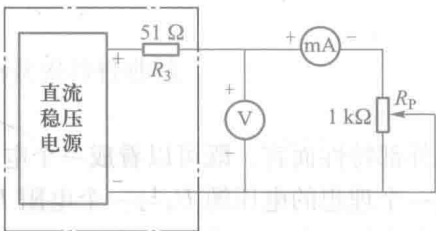


图 1-1-1-4 实际电压源测量接线图

表 1-1-1-3 实际电压源的伏安特性测试数据表

I/mA	0	5	10	15	20	25	30
U/V							

五、实验报告要求

1. 根据测试数据，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。
3. 实验结果与仿真结果对比，说明误差原因。

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，说明选择图 (a) 或图 (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。
3. 仿真实验内容。

三、实验原理

一个实际的电源，就其外部特性而言，既可以看成一个电压源，又可以看成一个电流源。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_0 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_0 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： $I_s = U_s / R_0$ 或 $U_s = I_s R_0$ 。

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？

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 ，将数据记入表 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 使其两端电压为表1-1-2-1中的数据,记下相应的电流值,将数据记入表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,得出结论,并绘出两等效电源的外特性曲线。

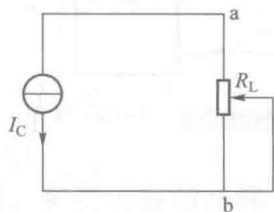


图 1-1-2-1 理想电流源电路

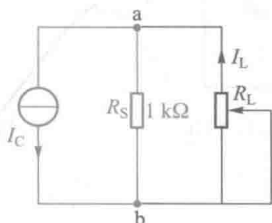


图 1-1-2-2 实际
电流源电路

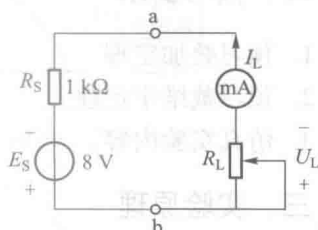


图 1-1-2-3 实际电流源的
电压源变换电路

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%							

五、实验报告要求

1. 根据测试数据,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,ab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中测量值和仿真值之间的误差,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 叠加定理和戴维宁定理

一、实验目的

1. 用实验方法验证叠加定理。

2. 学习戴维宁等效电路参数的测量方法。

3. 用实验方法验证戴维宁定理。

二、预习要求

1. 预习叠加定理。

2. 预习戴维宁定理。

3. 仿真实验内容。

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. 戴维宁定理

戴维宁定理：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，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。

戴维宁定理中开路电压 U_{oc} 的测量方法如下：

(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) 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 1-1-3-1 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} 。

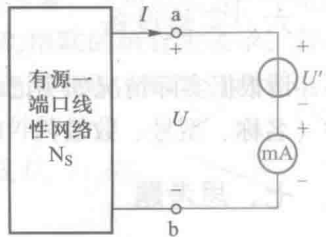


图 1-1-3-1 用补偿法求开路电压

3. 戴维宁定理中等效电阻 R_{eq} 的测量方法

(1) 开路短路法

由戴维宁定理可知 $R_{eq} = U_{oc} / I_{sc}$ ，式中的 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。

(2) 直接测量法

由戴维宁定理可知，等效电阻等于一端口除去独立电源后的输入电阻。把有源一端口线性网络 N_s 中的电压源短路，电流源开路后，用万用表测 a、b 两点间的电阻，如图 1-1-3-2 所示。

(3) 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，如图 1-1-3-3 所示。

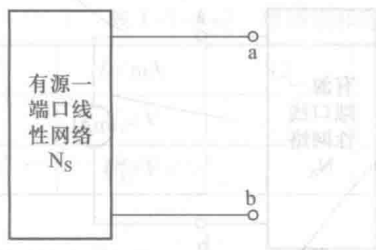


图 1-1-3-2 直接测量等效电阻

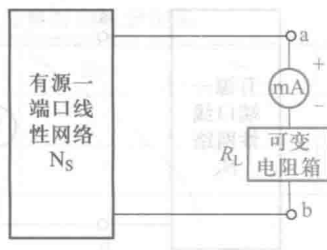


图 1-1-3-3 半偏法测等效电阻

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（阻值 $< 2000 \Omega$ ），接在 a、b 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。如图 1-1-3-4 所示。

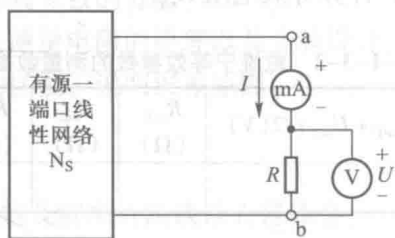


图 1-1-3-4 叠加定理

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。

表 1-1-3-1 验证叠加定理数据表

条 件	电流 I	电压 U
电压源单独作用		
电流源单独作用		
电流或电压代数和		
电压源、电流源同时作用		

2. 验证戴维宁定理

(1) 两种方法测量端口的开路电压 U_{oc}

① 按图 1-1-3-5 (a) 接线，用万用表测量 a、b 两端的开路电压 U_{oc1} ，将数据记入表 1-1-3-2 中。

② 用补偿法测量 a、b 两端的开路电压 U_{oc2} ，将数据记入表 1-1-3-2 中。