



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电子线路

(提高版·实践部分)

张志广 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

中等职业教育国家规划教材

电子线路

(提高版·实践部分)

张志广 主编

赖荣宗 责任主审

沈振宇 高国升 审稿

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书与《电子线路(提高版·模拟与脉冲数字电路)》一书配套使用。本书是在理论教学的基础上,通过一系列的实验,使学生掌握电子线路中各种基本电路的工作原理、基本功能、性能特点及其应用实例;熟悉常用电子仪器的正确使用方法;具备测试常用电子线路、性能及排除简单故障的能力;初步具有使用集成电路的能力。实践部分包括基本实验和选用实验两部分,实验内容分为基础实验、拓宽实验和选用实验三个模块。实验1至实验11为基础实验内容,实验12至实验15为拓宽实验内容,实验16以后为选用实验内容。

本书根据教育部面向21世纪中等职业学校电子线路教学大纲编写,重点突出,通俗易懂。突出职业教育的特点,特别注重基本电路原理与功能的理解以及基本测量方法的训练,适宜中等职业学校信息技术类专业的学生使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路(提高版·实验部分)/张志广主编. - 北京:电子工业出版社,2001.6

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5053-6327-1

I. 电… II. 张… III. 电子电路-专业学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 041163 号

丛 书 名: 中等职业教育国家规划教材

书 名: 电子线路(提高版·实践部分)

主 编: 张志广

责任主审: 赖荣宗

审 稿: 沈振宇 高国升

责任编辑: 陈晓莉

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京大中印刷厂

装 订 者: 三河市双峰装订厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 9.5 字数: 250 千字

版 次: 2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-6327-1
TN·1412

印 数: 6 000 册 定价: 10.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1 号)的精神,教育部组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从 2001 年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲编写而成的,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为教材选用提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 5 月

前 言

本书根据教育部 2000 年颁布的《中等职业学校电子线路教学大纲(试行)》编写,是中等职业学校信息技术、电子电路专业基础实践教材,为电子线路教材的配套实验用书。本书着眼于基本技能和能力的培养,力图体现新技术的应用。内容包括模拟电路、数字电路以及电路仿真。其中介绍了电子元器件的基础知识、常用仪器的使用、基本实验和虚拟实验。附录中介绍了易学易用的仿真软件 Electronics Workbench 的使用方法。所用器件包括晶体管和集成电路。

本课程基础实验内容 50 学时,拓宽实验内容 32 学时,选用实验内容 14 学时。为了达到能力培养的目的,进行实验教学时应注重过程,规范操作,严格技能训练,注意培养学生的科学作风和良好的职业道德。

为了培养学生应用所学的理论知识和在实验中所掌握的技术技能解决实际问题的能力,学校可根据实际需要,在本课程的学时外安排 2~4 周的电子线路实习,通过对常用简易电子产品(如多功能直流稳压电源与充电器等)安装调试的实际训练,培养学生的基本技能和综合应用能力,也可以在后续专业课(例如电子整机装配工艺课)后开设的整机装配实习过程中,加强实践练习,培养学生在电子整机的装配、调试方面的工艺水平。学校要积极组织学生开展电子线路课外实践活动,进一步培养学生的综合应用能力、创新能力和创业能力。

本书编排结构上分为基本实验和选用实验两部分。带有 * 号的为选用实验,各校可根据具体教学情况选用。

本书由张志广、袁慧梅、姚玉琴、刘凯平编写,张志广负责全书的统稿,李锦萍、李永刚负责审订。同时,通过教育部特邀赖荣宗、沈振宇、高国升等对全书进行了审定。

本书在编写过程中参阅了大量的有关书籍,在此对有关书籍的编著者表示真诚的感谢。

由于我们水平有限,时间仓促,书中难免存在一些问题,恳切希望得到专家同行的批评指正,也希望听到广大学生的意见和建议,以便今后不断改进。

编 者

2001 年 5 月

目 录

绪论	(1)
实验 1 二极管、三极管的简单测试	(4)
实验 2 常用电子仪器的使用	(13)
实验 3 电路静态工作点的分析、调整与测试	(21)
实验 4 放大电路的调测(一)——放大电路幅频特性的测量	(24)
实验 4 放大电路的调测(二)——负反馈对放大电路性能的影响	(26)
实验 4 放大电路的调测(三)——负反馈对放大器输入、输出电阻的影响	(29)
实验 4 放大电路的调测(四)——集成功率放大器的功率与效率	(32)
实验 5 集成运放的应用	(35)
实验 6 直流稳压电源	(41)
实验 7 仪器使用练习	(45)
实验 8 数字集成电路的简单测试	(48)
实验 9 组合逻辑电路(一)——组合逻辑电路的功能测试	(54)
实验 9 组合逻辑电路(二)——计数、译码、显示的综合应用	(57)
实验 10 时序逻辑电路(一)——时序电路的测试方法	(60)
实验 10 时序逻辑电路(二)——集成移位寄存器	(64)
实验 10 时序逻辑电路(三)——中规模集成计数器的应用	(69)
实验 11 数字集成电路接口实验	(72)
实验 12 数/模、模/数电路	(75)
实验 13 脉冲波形产生电路(一)——多谐振荡器、单稳态触发器	(82)
实验 13 脉冲波形产生电路(二)——集成单稳态触发器、555 定时器	(86)
实验 14 模拟电路、脉冲数字电路仿真实验(一)——学习“串并联”电路	(91)
实验 14 模拟电路、脉冲数字电路仿真实验(二)——学习“电容器的充放电”和“电感 中的过渡过程”	(94)
实验 14 模拟电路、脉冲数字电路仿真实验(三)——学习“NPN 三极管分压偏置电路” 与“射极跟随器”	(98)
实验 14 模拟电路、脉冲数字电路仿真实验(四)——“组合逻辑电路分析”与“单稳态 触发器和多谐振荡器”	(103)
实验 15 模拟电路、脉冲数字电路自命题实验	(108)
* 实验 16 宽带放大器、调谐放大器	(110)
* 实验 17 调幅与检波	(114)
* 实验 18 调频、鉴频电路	(119)
* 实验 19 高频功率放大电路	(125)
附录 Electronics Workbench 软件使用	(129)
参考文献	(145)

绪 论

一、电子线路实验课的目的和意义

电子线路实验按性质可分为验证性和训练性实验、综合性实验以及设计性实验三类。

依照中等职业学校现行教学大纲要求,电子线路实验课是一门实践必修课,以验证性和训练性实验为主,综合性实验作为拓宽和选用。实验课的任务是使学生通过实验进一步理解电子线路的基本知识和分析方法,掌握电子线路在实际应用中的基本操作技能,为形成综合职业能力打下基础。

电子线路实验课是和电子线路理论课紧密相结合的。通过这门课程的学习,一方面可以验证理论课上所学到的定理和公式,另一方面可以提高学生的动手能力,养成良好的工作习惯,锻炼发现问题、解决问题的能力。

通过本课程的学习,学生应初步了解常见电子仪器仪表的构造,掌握所用仪器仪表进行测量的基本原理和正确使用方法;掌握基本电路、器件性能指标和分析测试方法及相关的应用技术。

二、电子线路实验课的基本要求

(1) 预习实验

进入实验室之前,必须预习理论课有关的章节和相关的实验指导书,明确实验目的、主要公式、实验步骤及应注意的问题。实验前要认真听实验指导老师讲解主要实验步骤,对于不懂的地方,必须及时向老师提问,切忌不懂装懂,盲目操作。实验过程中要严格遵守实验室规则。

(2) 实验操作过程

a. 摆放实验仪器

根据实验内容和要求,在实验台上摆好相关仪器和实验装置,摆放位置要合理恰当。读数仪表应置于易见之处,测量仪器应置于便于调节之处,既要保证连线不相互交叉干扰,又要便于数据读取和操作调试,避免台面杂乱无章。

b. 接通实验电路

一般先根据实验内容和要求选择电路、器件,按照接线图连接电路,从输入端开始向输出端依次连接主回路。对照电路检查无误后接入辅助回路,最后接入电源和仪表。连接要准确牢固,走线要尽量短,避免导线过长和相互交叉。测量仪器转换开关、旋钮等都要准确置于正确位置。在同一个接线端子上接线不宜多于三根。电路连接要井然有序,连接后应易看、易查和易操作。经仔细检查无误后方可通电。实验中要随时注意观察异常现象。如果发生故障,必须立即断开电源,并报告指导教师进行检查处理。排除故障后再重新接上电源。

c. 正确读取数值,作好实验记录

首先要弄懂各仪表的正确读数方法,认真准确的读取数据,观测波形。

原始记录中,表格中各个数据项要清楚准确地标出被测量的名称、数值、单位以及测试条件,必要时还应记录实验现象。如果能够根据公式进行计算的数据,应先算出理论值。在测量过程中,

一边测量、一边与理论值相比较,当两者相差过大时,应考虑电路连接或仪表挡位是否正确等。

(3) 实验数据的整理与实验报告

实验报告内容应该尽量做到简明扼要。撰写实验报告首先要求做到字迹端正、图表清晰,并对实验数据进行必要的分析计算,得出相应的实验结论。实验报告的内容一般应包含以下几项:

a. 报告表头

实验名称 _____
班级和学号 _____ 实验日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日
实验人姓名 _____ 实验环境 _____

b. 目的要求

根据实验指导书、实验讲义或是教师要求填写。

c. 实验原理和步骤

尽量用学生自己的语言,简明扼要地写出本次实验所依据的定理和主要公式,其中应包括必须满足的实验条件。要画出实验电路原理图,不必画出实物图。电路原理图中注意应包含元件值,电流、电压的正方向等等。

d. 测量数据和曲线图

实验曲线是根据实验数据表格整理、描绘出来的。测试数据构成的实验表格和描绘的实验曲线是实验报告中最重要的一部分,内容应详实可靠。尤其是实验数据部分,应如实地根据原始数据抄录,切忌胡编乱造。因为受仪器精度的制约,学生在实验中,所测实验数据不可能达到很高的精确度,所以不必刻意追求精确值。只要注意合理选取有效数字即可。

e. 仪器设备

简明扼要地记录实验所使用的仪器设备名称、型号和实验器件。

f. 结论

写出对本次实验的认识、体会,并回答有关问题。

三、电子线路实验的基本测量方法

(1) 直接测量与间接测量

a. 直接测量:即直接得到被测物,例如用电压表测电源工作电压;

b. 间接测量:利用直接测量值与被测量的已知函数关系得到被测值,如测量电压放大倍数 A 。

(2) 直读测量与比较测量

a. 直读测量:用仪器直接从表盘上读取测量结果,如用电流表测量串入回路的电流 I ;

b. 比较测量:将被测量与标准值进行比较而获得的测量结果,例如电桥测量电阻。

需要注意直读法与直接测量、比较法与间接测量并不相同,而是互有交叉,例如用电压、电流表测量功率,是直读法却是间接测量。

(3) 频域测量

测量参数为频域的函数,与时间因素无关,电路处于稳定状态,如测量正弦信号的电压。

(4) 时域测量

通常用来观察瞬时过程,如上升时间和脉冲宽度的测量。

(5) 电压测量

在电子线路中,电压是最基本的参量之一,随时需要监测,对于甚低频和高频信号,使用万用表的电压挡是无法测量的,需用相应的毫伏表。另外,在电子线路中被测信号有时除了存在正弦

电压,还存在非正弦电压或被测电压是交、直流电压并存,甚至有干扰信号作用在其中。此时用普通仪表测量带有非正弦量的电压会有较大误差。

总之,在电子线路中测量各个电量参数时,要根据测量精度的要求全面考虑,选择适合的测量方法和测量仪器。在要求精度不高时示波器是应用最广的测量仪器,它不仅能测量频域信号也可测量时域信号,同学们必须很好地掌握其各功能的使用方法。

实验 1 二极管、三极管的简单测试

一、实验目的

- (1) 熟悉晶体管的测量原理。
- (2) 掌握晶体管的测量方法。

二、实验原理

1. 半导体二极管的检测

(1) 半导体二极管的检测包括极性判断、单向导电性、正向压降和反向击穿电压等。

使用指针式万用表时,万用表的红表笔接表内电池的负极,黑表笔接电池的正极。对外电路来说,红表笔是负极、黑表笔是正极。用指针式万用表测量半导体二极管时,由于普通二极管内部只有一个 PN 结,因此红表笔接“N”,黑表笔接“P”时,PN 结为正向连接。此时流过的电流较大,表针偏转自然也大,而显示的电阻较小。将红黑表笔对调,则情况相反。如果两次测量的差值相差很大,说明二极管性能好;反之,说明二极管性能不好,甚至不能用。如果两次测量的电阻值都很大,说明二极管内部可能已经开路,不能使用。

使用数字式万用表时,在电阻挡位的逆时针方向,都有一个用二极管符号来标识的挡位,是专门用来测量二极管的。数字式万用表的红表笔是正极、黑表笔是负极,这一点与指针式万用表不同,使用时要特别注意。使用该挡位测量二极管,当显示的阻值较小时,例如显示的是“.xxx”,则红表笔接的是二极管正极,为正向连接;如果显示“1”时,表明溢出超量限,红表笔接的是负极,为反向连接。正向连接时,锗管显示应在 0.150~0.300 左右,硅管显示应在 0.500~0.700 左右。

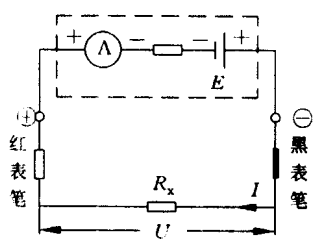


图 1.1 欧姆表原理

另外也可以用“ h_{FE} ”挡的三极管插座检测。使用 NPN 三极管插孔时,“C”孔相对于“E”孔为 +2.8V,取样电阻为 10 Ω 。当二极管正极插入“C”孔,二极管负极插入“E”孔(正向插入)时,二极管导通。流过二极管的电流大于 200mA,显示溢出“1”。当反向插入时,二极管截止,取样电阻上的电压为零,显示为“000”。

利用指针式万用表除了可以判断二极管正反向之外,还可以用来大致了解半导体二极管的伏安特性。当用万用表的电阻挡测量某一负载 R_x 时,可以用图 1.1 来描述。

其中虚线框内表示的是电阻挡的等效电路。A 表示理想电流表, E 表示理想电源——电池, R_0 表示将所有内阻考虑进来的欧姆表内阻, R_x 表示被测元器件的等效电阻。 I_M 表示表笔短路时的满度电流, 则有公式:

$$I_M = E/R_0$$

$$I = (E - U)/R_0 = U/R$$

$$U = E - I R_0 = I R_x$$

表笔开路时:

$$I = 0$$

$$U = E$$

表笔短路时:

$$U = 0$$

$$I = I_M = \frac{E}{R_0}$$

如果直流刻度线的满刻度值用“ n_M ”表示,加上负载以后,表针所在该刻度线的指示值用“ n ”表示。如图 1.2。

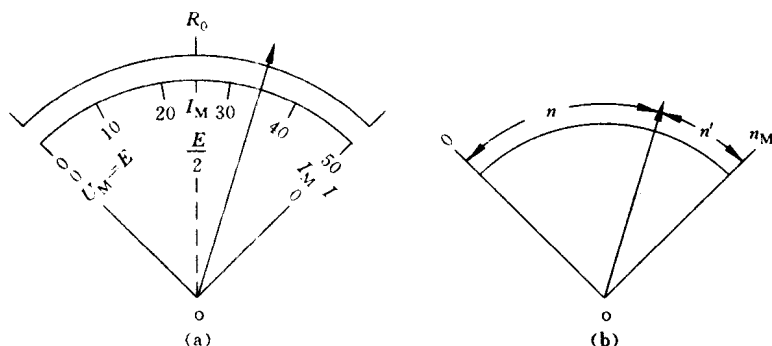


图 1.2 倒数直流电压表的刻度特性

加在负载两端的电压应该等于:

$$U = \frac{n_M - n}{n_M} E$$

流过负载的电流应该等于:

$$I = \frac{n}{n_M} I_M = \frac{n}{n_M} \frac{E}{R_0} = \frac{E}{R_0 n_M} n = Kn$$

利用以上公式,可以知道流过二极管的电流以及此时的正向压降。如果换用不同的电阻挡,重复以上测量,可大致了解二极管的伏安特性。

(2) 检测稳压二极管时,可以用以下两种方法确定其稳压值及工作电流。

第一种办法是用指针式万用表的“ $R \times 10k$ ”挡测量。由于指针式万用表的“ $R \times 10k$ ”挡内部一般都采用电压比较高的叠层电池,例如 9V 或 15V 等。因此利用上述指针式万用表的电阻挡测量二极管的方法,可以测得稳压二极管的稳压值及工作电流。

第二种办法可以按图 1.3 连接电路。

摇动兆欧表的摇把,缓慢加速,使直流输出电压从零缓慢增长,同时用万用表的直流电压挡监测稳压二极管两端的电压。当电源电压增加到某一值时,稳压二极管反向击穿,此时再增加电源电压,稳压二极管两端的电压增长缓慢或不再增长,此时万用表指示的电压值即为稳压值。串入的电流表可以测得流过稳压二极管的正向电流。

(3) 检测变容二极管可以用数字式万用表的电容挡。

首先将变容二极管两管脚短路放电,然后将挡位旋钮拨至“2nF”处,待万用表自动调零后,将电容插入“Cx”孔。由于变容二极管工作在反向电压下,所以将变容二极管的负极插在“Cx”的上面插孔上。接通电源后可以观察到结电

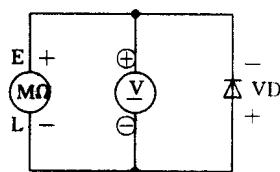


图 1.3 利用兆欧表测量元件的击穿电压

容充电过程,最后显示值为结电容的电容量。

(4) 检测发光二极管时,可以用指针式万用表的“ $R \times 10k$ ”挡。

按照测量二极管正反向电阻的方法检测,正向电阻应小于数十千欧姆,反向应大于1兆欧姆。但发光管的发光检测,由于“ $R \times 10k$ ”挡内阻很高,提供的电流有限,所以不能用该挡。“ $R \times 1$ ”挡、“ $R \times 10$ ”挡和“ $R \times 100$ ”挡虽然内阻低一些,可提供比较大的电流,但电压过低,也不可。根据以上情况,可以在万用表“ $R \times 10$ ”挡外部串一节1.5V的干电池(注意极性),当发光二极管是完好时,就可以正常发光了。用数字式万用表检测发光二极管可以用“ h_{FE} ”挡及三极管插座检测。发光二极管正向插入C孔和E孔时,发光管导通发光,显示“1”。反之不发光,显示“000”。

(5) 光电二极管的检测。

首先仿照上述方法判断光电二极管正反向。将指针式万用表置“ $R \times 1k$ ”挡,表笔接光电二极管,正向电阻应在几千欧姆左右,反向应在几百千欧姆左右。黑表笔接的是光电二极管的正极。正向电阻不会随光照而变化。将光电二极管反向连接,用灯光照射该光电二极管窗口,阻值应减小。光越强,光电二极管的反向电阻应越小甚至能到几百欧姆。关掉光源后,阻值回升。

2. 半导体三极管的测量

用指针式万用表时,将挡位选择钮拨至“ $R \times 1k$ ”的电阻挡,为测量作好准备。

(1) 判断三极管的基极“b”。由于三极管可以等效于两个二极管反向相连,同极性端为基极“b”,另两端为发射极“e”和集电极“c”,如图1.4所示。

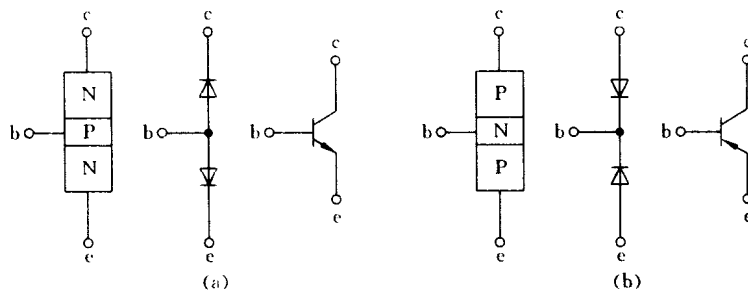


图 1.4 三极管结构示意图

首先假定某一极为基极“b”。然后将黑表笔接至其上,再将红表笔碰触其他两个管脚。如果两次测量结果电阻值很大(几千欧姆~几十千欧姆),而在对换表笔后两次测量结果电阻值又很小(几百欧姆~几千欧姆),根据基极“b”接的是同极性端,就可以断定原来的假设是对的。如果两次测量结果电阻值一大一小,那末就可以断定原来的假设是错的。这时可重新假设新的基极“b”,重复上述过程。

(2) 判断材料类型。由于基极“b”接的是两等效二极管的同性端,该端或者都是正极,或者都是负极。现在假定黑表笔接三极管的基极“b”,红表笔接三极管其他的任意两端。此时若测量的阻值很小,说明该三极管为NPN型。反之则为PNP型。

(3) 最后判断发射极“e”和集电极“c”。用表笔接触除“b”以外的另外两只管脚,正向与反向测两次,两次阻值对于PNP管来说应该不一样,阻值小的黑表笔接的可能是发射极“e”;对于NPN型三极管来说,有可能两次阻值都是无穷大。为进一步确定“e”和“c”,还应做以下测量。我们知道三极管在工作时,若加上正向偏置后,会有很大的放大作用;反向偏置放大作用非常小。对于除“b”以外的另外两只管脚,现在假定某一只为集电极“c”,按照三极管的类型,将表笔接在假定的“c”和“e”(PNP型黑表笔接假定的发射极,红表笔接假定的集电极;NPN型则反之)之间,再

将电阻 R_b (电阻可以用真的电阻、湿布、手等代替) 接触基极“b”和假定的集电极“c”，表针此时会偏转，记下偏转阻值。然后再将电阻 R_b 接到基极“b”和假定的发射极“e”之间，再测一次。最后对调表笔，重复上述测量。那么偏转最大的那种假定是对的。例如 NPN 型管，如果黑表笔接假定的集电极“c”，而红表笔接假定的发射极“e”，表针比另外接法偏转得大，则黑表笔接的是集电极“c”而红表笔接的是发射极“e”；若小，则黑表笔接的是发射极“e”而红表笔接的是集电极“c”。

(4) 测量电流放大倍数 h_{FE} 。将万用表挡位选择钮拨至“ $R \times 100$ ”的电阻挡。取电阻 R_b ，使其大约等于电阻挡中心值的 m 倍(例如 50 倍)。万用表的表笔接“c”和“e”，在“b”和“c”之间，接入电阻 R_b 后，指针会偏转，记下指针在直流刻度线的指示值 n_1 ，然后将电阻 R_b 短路，使“b”和“c”短接，也记下指针在该直流刻度线的指示值 n_2 ，则：

$$h_{FE} = \frac{mn_1}{n_2 - n_1} = \frac{m}{\frac{n_2}{n_1} - 1}$$

(5) 如果用的是数字万用表，可以用二极管挡仿照二极管的检测方法判断基极“b”以及管子材料类型。用“ h_{FE} ”挡和“ h_{FE} ”插座检测判断发射极“e”和集电极“c”。方法是先假定某一极为集电极“c”，那么另一极为发射极“e”，然后按面板上管座的 e、b、c 指示将管脚插进去，测出此时的 h_{FE} 值。再将“c”和“e”两极对调，再重新测一遍 h_{FE} 值。两个 h_{FE} 值中显示较大的那次测量，假定的集电极“c”和发射极“e”是对的。

3. 场效应管

常见的场效应管为结型场效应管、MOS 型场效应管和 VMOS 型场效应管。

(1) 结型场效应管检测，可以用万用表“ $R \times 100$ ”挡，黑表笔接某一极，红表笔分别接另外两极。若两次测量的阻值都很小，则黑表笔接的是栅极“G”。源“S”和漏极“D”的判断可以利用检测半导体三极管放大倍数的方法来判断。

(2) VMOS 型场效应管检测，首先判断栅极“G”。用“ $R \times 1k$ ”挡测量三只管脚，若发现一只管脚与其他两只管脚不管表笔怎么接触，阻值都显示无穷大，则此管脚为栅极。由于源极“S”和漏极“D”存有 PN 结，所以源和漏的判断可以利用判断 PN 结的方法来判断。测量时要注意由于栅极在测量后已充满了电荷，而此电荷无处泄放，故每次测量前最好短路一管脚，否则影响准确度。

(3) 单结管检测，首先判断发射极“e”。先假定某一极为“e”，其他两极为“ b_1 ”和“ b_2 ”。用指针式万用表的“ $R \times 100$ ”挡，黑表笔接“e”，红表笔接其他两极，此时为正向连接，应呈现低阻，约为数千欧姆。反之应呈现高阻，约为无穷大。则假定正确。然后再判断“ b_1 ”和“ b_2 ”。在结构上由于发射极“e”比较靠近第二基极“ b_2 ”，所以对于分压比 $\eta > 0.5$ 的单结管“e”对“ b_2 ”的阻值应略小于“e”对“ b_1 ”的阻值。为进一步判断，还可以将黑表笔接“ b_2 ”，红表笔接“ b_1 ”。然后在“e”和“ b_1 ”之间接一能调节的触发信号，随着触发信号的增大，在万用表上应该能观察到 R_{BB} 的变小。这表明单结管是完好的。分压比 η 可以按下式计算：

$$\eta = 0.5 + (R_{EB1} - R_{EB2})/R_{BB}$$

如果用的是数字式万用表，可将红表笔接某一管脚，黑表笔分别接另外的两只管脚，如果红表笔接的是发射极“e”，那么两次测量值应在 1~2 V 之间。如果产生溢出，则表明红表笔接的不是发射极，需要更换管脚。“ b_1 ”和“ b_2 ”的判别可以参照指针式万用表的检测方法。触发能力可以利用“ h_{FE} ”挡和“ h_{FE} ”插座检测。旋钮拨至“NPN”挡，将“ b_1 ”插入“e”孔，“ b_2 ”插入“c”孔，发射极“e”空，显示某一值。然后将发射极插入“b”孔，显示的值应比上述值略大一些。证明单结管完好。

三、实验内容

1. 用指针式万用表测量半导体二极管

选择一定数量的普通二极管、发光二极管和稳压二极管等,用万用表测量半导体二极管的两个管脚,依照表 1-1 将数据填入,并判断其好坏及极性后写出测量结论。

表 1-1 二极管测量

	黑表笔接二极管左端 红表笔接右端的阻值(kΩ)	黑表笔接二极管右端 红表笔接左端的阻值(kΩ)	左端的极性	右端的极性
普通二极管				
发光二极管				
稳压二极管				
结 论				

2. 用指针式万用表测量半导体三极管的特性

选择一定数量的 PNP 和 NPN 普通三极管,管脚按自左至右 1、2、3 编号,按表 1-2 接法测量三极管的三个管脚阻值,填入数据,判断其好坏、管脚“b”及材料类型。

表 1-2 三极管测量

黑表笔	1 脚	1 脚	2 脚	2 脚	3 脚	3 脚
红表笔	2 脚	3 脚	1 脚	3 脚	1 脚	2 脚
阻值(kΩ)						

然后判断发射极“e”和集电极“c”。先假定某一脚为集电极“c”,另一脚为发射极“e”,按照三极管的材料类型,在假定的“e”和“c”之间接好表笔,再在假定的“c”脚和“b”之间接一电阻 R_b ,测量“e”和“c”之间的电阻值。测量结束后,将数据填入表 1-3(或表 1-4)中。接下来对调表笔,将 R_b 接在“b”和“e”之间,再测一遍。将数据也填入表 1-3(或表 1-4)中。最后根据材料类型和数据判断出正确的集电极和发射极。

表 1-3 PNP 型三极管测量(R_b 接在“b”与红表笔之间)

红表笔	黑表笔	阻值(kΩ)
假定的发射极“e”	假定的集电极“c”	
假定的集电极“c”	假定的发射极“e”	
结 论		

表 1-4 NPN 型三极管测量(R_b 接在“b”与黑表笔之间)

红表笔	黑表笔	阻值(kΩ)
假定的发射极“e”	假定的集电极“c”	
假定的集电极“c”	假定的发射极“e”	
结 论		

四、实验仪器及器件

(1) 指针式万用表 1 块

(2) 数字式万用表 1 块

(3) 一定数量的普通二极管、硅稳压二极管、变容二极管、发光二极管和光电二极管等；一定数量的 PNP 三极管、NPN 三极管（包括高频管、低频管、大功率管、小功率管及开关管等）、MOS 管。

五、实验报告及思考题

(1) 用万用表测量晶体管时，为什么忌用“ $R \times 1$ ”、“ $R \times 10$ ”或“ $R \times 10k$ ”挡？

(2) 用万用表的不同电阻挡测量二极管的正向电阻，结果为什么不一样？

(3) 数字式万用表电阻挡工作电流一般都在 $1mA$ 以内，为什么不能用该挡测量二极管？

六、题目扩展

(1) 用指针式万用表测量半导体二极管的伏安特性。

(2) 用万用表检测稳压管、发光管、单结管、可控硅及场效应晶体管等。自拟记录表格。

七、附录

1. 半导体二极管的识别

(1) 半导体二极管简介

半导体二极管种类很多。常用的小功率二极管一般为塑料封装或玻璃封装，常用的大功率二极管为塑料封装或金属封装，大功率的工业用二极管一般为陶瓷平板封装。国产二极管的型号及命名方法为：第一位为“2”，表示二极管；第二位为“A”，表示是 N 型锗材料。以此类推，为“B”表示是 P 型锗材料，为“C”表示是 N 型硅材料，为“D”表示是 P 型硅材料。一般在封装上都印有标记，指明正负极或规格型号。有的标记用箭头指向负极，也有的用圆环指向负极；有的用红点指明正极。较大的二极管的封装，一般印有二极管的符号。用二极管的符号指明正负极。当遇到标记看不清或无标记的二极管时，可以用万用表的电阻挡来帮助判断。半导体二极管常见的有普通二极管、开关二极管、整流二极管、稳压二极管、发光二极管(LED)、光电二极管、变容二极管、快速恢复二极管、肖特基二极管、隧道二极管等等。

(2) 普通二极管可以用做检波或小电流的整流。型号命名的第三位为“P”，常见的以 $2APx$ 和 $2CPx$ (x 为数字，是产品序号) 居多，一般是玻璃封装、塑料封装或树脂封装。普通二极管电路符号如图 1.5 所示。

(3) 开关二极管顾名思义主要作用是做电路的开关。其反向恢复时间仅数纳秒，具有非常良好的高频开关特性，广泛用于控制电路、高频电路。国产型号的命名第三位为“K”，如 $2AKx$ 、 $2CKx$ 等。进口的硅开关二极管典型的有 1N4148、1N4448 等。靠近黑色环的引脚为负极。

(4) 整流二极管的主要作用是整流，国产型号的命名第三位为“Z”。它的封装与普通二极管

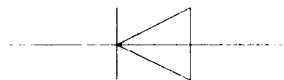


图 1.5 普通二极管电路符号

(5) 稳压二极管能根据电路需要提供稳定的工作电压。它以塑料封装或玻璃封装及金属封装为主。型号命名的第三位为“W”。国产稳压管以 2CW_x、2DW_x 居多。应用中稳压二极管工作电流要在规定范围之内,要通过一只电阻反向连接在电路里。电路符号如图 1.7 所示。

(6) 发光二极管(LED)因其正向通过电流后会发光,所以常用于各种指示灯,例如电源指示灯、报警指示灯、电平指示灯等等。发光二极管可根据掺杂不同,能够发出不同的光。例如:发红光、绿光、黄光或蓝光的。发光二极管材料多为砷化镓、磷化镓等。由于它的工作电压低、功耗小、响应速度快、重量轻、抗冲击、耐震动,所以得到广泛的应用。发光管的封装多为透明环氧树脂或有色环氧树脂。外型根据需要可以作成圆形、方形、长方形,甚至箭头形等等。发光二极管也可以将其制作成数码管。作为发光管,两根管脚不一样长,长者为正,短者为负。发光二极管工作电流一般在 2~10mA 范围选择,随发光的亮度不同而不同。管压降一般多为 1.5~2.5V。所以使用时,一定要注意串联一个电阻,起限流作用。市场上除了有发可见光的发光管之外,还有发红外线的红外发光管以及发紫外线的紫外发光管。发光管的电路符号如图 1.8 所示。

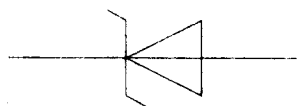
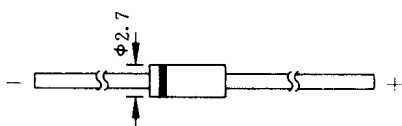
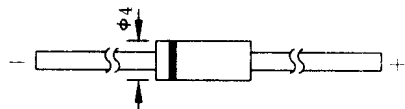


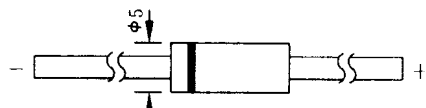
图 1.7 稳压二极管电路符号



(a) 1N4001~1N4007



(b) 1N5391~1N5399



(c) 1N5400~1N5408

图 1.6 塑封硅整流二极管外型

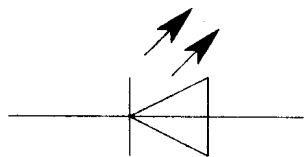


图 1.8 发光管的电路符号

(7) 光电二极管的作用是进行光电转换。外型封装为玻璃。其型号命名的第三位为“U”。国产的光电二极管以 2CU_x、2DU_x 居多。光电二极管工作时,其反向电流随光照强度的加强而增大,因此可以将光照信号转变为电信号。它外型上最大的特点是管壳前端有一玻璃透镜。如果将光电二极管与发光二极管有机地组合在一起,可以制作成一些特殊用途的器件。例如市场上的光电耦合器件、光电传感器等。光电二极管电路符号如图 1.9 所示。

(8) 变容二极管利用加在 PN 结的反向偏压来改变结电容。其在电路中相当于一个可变电容器,主要用在高频电路中。例如在电视机中的高频头中,控制加在变容二极管上的直流电压,可以改变谐振频率,从而来达到改变频道的目的。国产型号命名的第三位为“X”。电路符号如图 1.10 所示。

(9) 快速恢复二极管其反向恢复时间短、正向电流大,适用于高频、大电流的电路,用于整流与续流。广泛用于开关电源、不间断电源、高频加热、交流电机变频调速等。

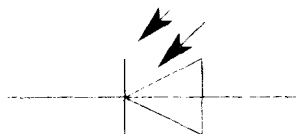


图 1.9 光电二极管电路符号

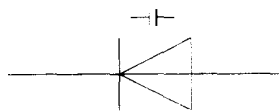


图 1.10 变容二极管电路符号

(10) 肖特基二极管一般采用 TO-220 封装, 为三只管脚, 内部是两只管子反极性连接。肖特基二极管外形和内部结构以及伏安特性如图 1.11 所示。

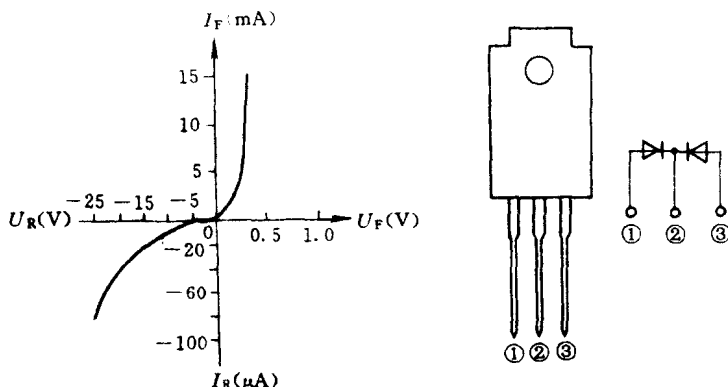


图 1.11 肖特基二极管的伏安特性及外形图

肖特基二极管利用金属与半导体形成的肖特基势垒原理制作而成, 一般以金、银、钼等金属做阳极, 以“N”型半导体材料为阴极。其特点是超高速、大电流、低功耗。反向恢复时间为纳秒级, 正向导通压降仅为 0.4V 左右, 正向电流可达几百至几千安培, 但耐高压性能不及快速恢复二极管, 适用于高频、低压、大电流的电路。

2. 半导体三极管的识别

三极管主要有 PNP 型和 NPN 两大类。国产型号的命名第一位为“3”, 表示是三极管。第二位和第四位的定义与二极管的定义相同。第三位的定义为: X——表示低频小功率; G——表示高频小功率; D——表示低频大功率; A——表示高频大功率; K——表示开关管; BT——表示特殊器件。另外三极管还有一个重要的指标是电流放大倍数 β 。一般在管壳上用带颜色的点来表示 β 值的范围。其定义为: 黄色点表示 β 值在 30~60 之间; 绿色点表示 β 值在 50~110 之间; 蓝色点表示 β 值在 90~160 之间以及白色点表示 β 值在 140~200 之间。进口管或进口管芯由于工艺的一致性比较好且 β 值比较大, 所以一般没有色标。例如 3DG12 表示硅材料的高频小功率三极管; 3DK4 表示硅材料的开关管等等。中小功率三极管的封装一般为金属封装或塑料封装, 例如: TO-5、T-220 等。结构与外形如图 1.12 所示, 电路符号如图 1.13 所示。

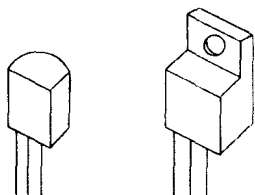


图 1.12 中小功率三极管封装

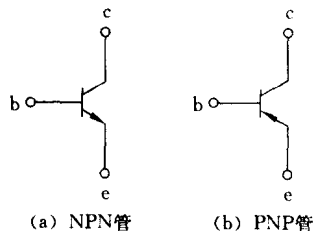


图 1.13 三极管电路符号