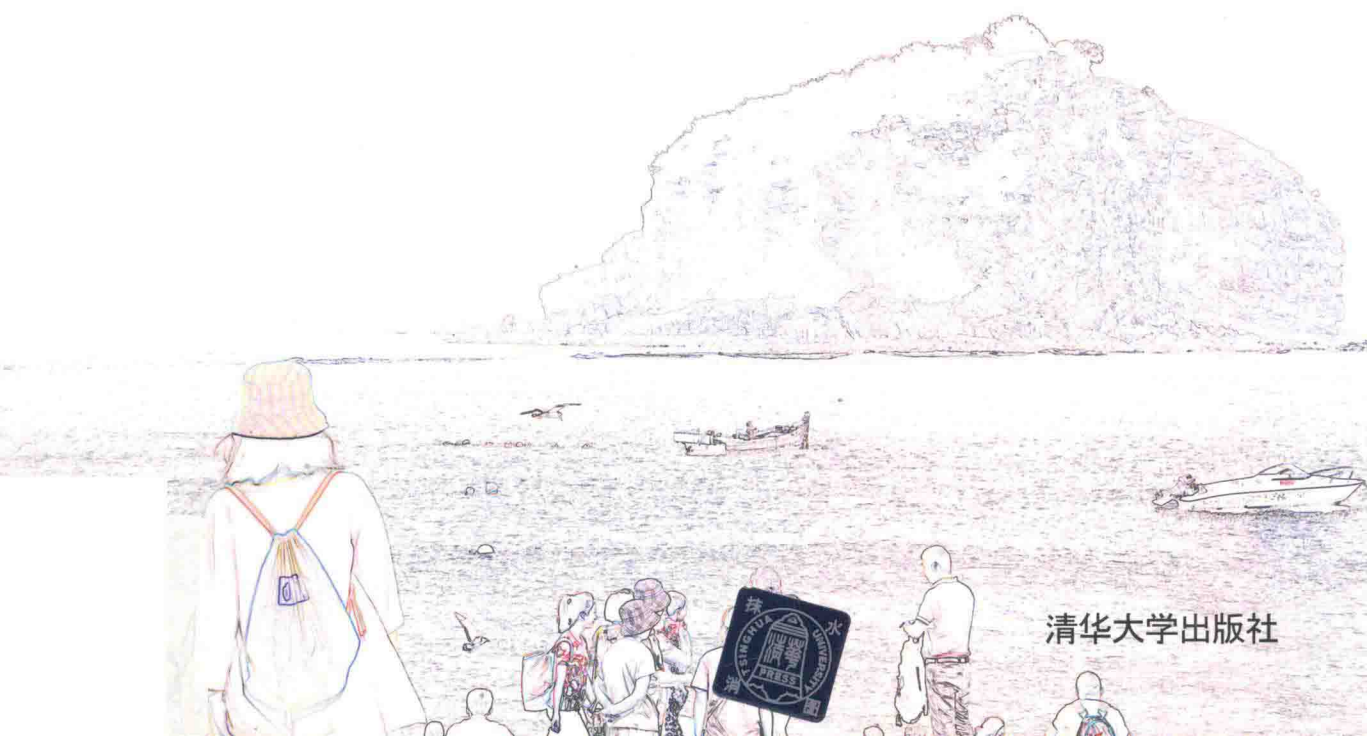


全国普通高校
电子信息与
电气学科
基础规划教材

模拟电路实验综合教程

王鲁云 于海霞 等 编著



清华大学出版社

全国普通高校电子信息与电气学科基础规划教材

模拟电路实验综合教程

王鲁云 于海霞 等 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是根据多年来在完善模拟电子电路课程学习和相关实验教学效果的实践基础上编写而成的,除用于模拟电子电路实验课教学之外,还可作为模拟电子电路课程设计的辅助用书。

本书包括了二极管电路、三极管电路、场效应管电路、功率放大电路、集成运放电路、负反馈电路、振荡电路、稳压电源电路以及 Multisim 仿真等单元,在内容设计上充分注意了针对读者学习中遇到的实际问题,同时在实验介绍和预习思考上做了较多工作,以帮助读者能够在理解有关实验原理的基础上开展实验,这方面的工作对实验预习环节的落实也将发挥很好的帮助作用。

本书适用于面向应用型人才培养目标的本科院校,以培养扎实的模拟电路基础知识和过硬的实践能力为目标的教学使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路实验综合教程/王鲁云等编著. —北京:清华大学出版社,2017

(全国普通高校电子信息与电气学科基础规划教材)

ISBN 978-7-302-45523-3

I. ①模… II. ①王… III. ①模拟电路—实验—高等学校—教材 IV. ①TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 277400 号

责任编辑:梁 颖

封面设计:傅瑞学

责任校对:焦丽丽

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:15

字 数:364 千字

版 次:2017 年 2 月第 1 版

印 次:2017 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:35.00 元

产品编号:071824-01

模拟电子电路实验课是模拟电子电路课程学习中的一个重要环节,它体现了模拟电子电路课程工程性的特点,即,它需要通过实践这样一个重要侧面,帮助学生对本课程知识的掌握,而不是仅仅依赖书本上的学习。鉴于这一特点,本书从配合模拟电子电路理论课教学的实际需要出发,设计了较多与理论学习难点有关的基础性实验项目,力求帮助学生解决在基本理论、电路、原理和方法的学习中遇到的困惑,使学生能够得到更加扎实的基础性的训练。基于这样的考虑,本书的编写体现了以下几个方面的特点。

(1) 很好地体现了充分重视问题研究在实验教学中的重要地位,突出了以问题研究为引领、带动实验教学不断深入的新的实验教学理念。在每个实验单元进行了较为充分全面的相关理论介绍之后,都配置数量较充分的预习思考题,这些思考题均针对学生实验中常见问题而设计,并且努力将其延伸到与实验相关的各个方面,以帮助学生在进行实验之前开展充分的实验问题研究,为学生理解实验原理、分析实验现象、排除实验故障、总结实验结果做好充分的实验前研究准备,使学生尽可能地做到在理论指导下开展实验。

(2) 各项实验尽可能用分立元件搭建的电路开展,充分利用分立元件电路可以观察到最基本电路结构的波形和参数的特点,通过对实验过程细节的设计和引导,利用改变元件参数和观察对比的方法,可以较好地帮助学生了解电路原理、设计思路、元件作用、电路调试方法,对提高学生在实际电路调试的过程中分析问题、解决问题的能力有很好的帮助作用。同时,由于分立元件搭建电路的不确定性增加,学生训练面相应拓宽,对培养学生的综合能力将产生非常重要的促进作用。

(3) 编写形式与改善实验预习环节具有密切的内在联系。以往用写预习报告作为实验预习环节的载体的做法存在很多弊端,造成很多情况下实验预习流于形式、名存实亡,直接导致学生实验能力和质量的严重下降。在本书的使用中,用编排大量的涉及实验中各方面问题的预习思考题并对其测试的方法,替代学生写预习报告的方法,取得了非常明显的改进效果。可借鉴的操作形式之一是,上课后将分别打印有2道预习思考题的A、B题纸条发给学生,预习较好的学生一般只需1~2分钟便可答完,而未预习的学生则无法完成。这样得到的预习检查结果真实有效,激励作用明显,可以把实验预习工作落到实处。

(4) 与实践类课程相比较,对于实验项目相对较小、重复周期快的基础类实验课,我们认为其实验总结的形式应有所区别。因此在本书实验总结环节的编写中,可以根据教学要求的不同,不一定非要每次都写格式化较强、重复性较高的总结报告,而是适当兼容了将学生的精力引导到对实验数据和现象分析上来的功能设计。为此本书在每个实验数据记录表中都另增加了一些实验数据分析栏目,把需要引起关注和总结的问题在实验数据分析栏中提出来,学生直接把分析的答案填入其中即可;教师可以在下次实验课中,根据指定的考核办法和所掌握的情况,进行适当的抽查即可。这种形式的优点是,既可以很好地引导学生的思考方向,抓住本次实验的重点,又可以为节省大量重复的格式化的书写时间,有利于学生将这些时间用于对下次实验思考题的研究上。

(5) 本书编入了较为详细的 Multisim 10 仿真软件功能和使用方法的介绍,但考虑到仿真功能是以验证电路设计为主要目标的软件,而不具备电路故障调试等实操能力训练的功能,所以在教学实践中并未把它作为实验教学的课内内容安排,而是作为学生实验的一个重要辅助手段,对某些实验问题的分析提供帮助。另外一个重要考虑是,充分的 Multisim 10 仿真软件介绍内容,可以为下一阶段的模拟电路课程设计提供重要的帮助作用。

(6) 本书的内容涉及电路形式较多,由于学生接受程度的不同,一些电路的确会成为部分学生学习中的难点。考虑到学生学习需求的不均衡性,故其中一部分实验内容可用于学生自选。教学操作可以有以下两种形式:一是参考实验课的次数,将实验内容分成相应数量的单元块,再根据实验的难度将单元块内的各项实验给出不同分值,让学生根据自己的实验兴趣和需求,选择本次实验做某个或某些项目的组合,只要达到本次实验要求的下限分值即可;对于有很好的开放实验室条件的教学环境,还可以采取课内统一安排实验项目,对于对其他实验项目感兴趣的学生,可自行选择在开放实验室进行其他实验。为了便于学生基本实验元件的使用,可将电阻等数量多、使用频繁且低耗值的元件下发给学生。为了学生能便利地保管和找到合适阻值的电阻,可在一张 A4 纸上按纵向排序,将电阻阻值和色环分别打印在两侧,将各电阻的两个引脚在中间横向插入相应位置。为使纸张耐用,可在电阻引脚插孔的两列位置上预先粘上塑料透明胶带,然后再戳孔即可。不用电阻时,将 A4 纸左右两边向后折包住中间的引脚部分,再将 A4 纸向前对折将电阻完全包住放入塑料袋。这种方法很好地解决了发放到学生手中元件的有效管理问题,很值得推广。

本书是编者十多年来对模拟电子电路实验教学和教材编写经验总结的基础上编写而成的。本书由王鲁云编写第 1~4 单元,于海霞编写第 5 和第 6 单元,刁立强编写第 7 和第 8 单元,许少娟编写第 9 单元,全书由王鲁云统稿。本书的编写还得到了其他许多教师的帮助和指导,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者学术水平和教学经验有限,在本书的编写中难免存在各种错误,敬请有关专家和广大读者多加指正。

编 者

2016 年 8 月

符号说明

一、几点原则

1. 电流和电压(以基极电流为例)

$I_{B(AV)}$	表示基极电流的平均值
I_B	参数字母(第一个)大写,对象字母(第二个)也大写,表示纯直流量
i_B	参数字母(第一个)小写,对象字母(第二个)大写,表示包含直流量的瞬时总量
i_b	参数字母(第一个)小写,对象字母(第二个)小写,表示纯交流流量
I_b	参数字母(第一个)大写,对象字母(第二个)小写,表示交流有效值
$\dot{I}_b$	表示纯交流信号的复数值
Δi_b	瞬时值的变化量

2. 电阻

R	电路中的电阻或等效电阻
r	器件内部的等效电阻

二、基本符号

1. 电压和电流

I, i	直流电流和瞬时电流的通用符号
U, u	直流电压和瞬时电压的通用符号
A_{p-p}, V_{p-p}	电流、电压的峰峰值
I_f, U_f	反馈电流、电压
$\dot{I}_i, \dot{U}_i$	正弦交流输入电流、电压
$\dot{I}_o, \dot{U}_o$	正弦交流输出电流、电压
I_Q, U_Q	静态电流、电压
i_P, u_P	集成运放同相端输入电流、电压
i_N, u_N	集成运放反相端输入电流、电压
u_{Ic}	共模输入电压
u_{Id}	差模输入电压
$\dot{U}_s, u_s$	交流信号源电压
U_T	电压比较器的阈值电压、PN结电流方程中温度的电流当量
U_{TH}, U_{TL}	双门限电压比较器的高阈值电压和低阈值电压
U_{OH}, U_{OL}	电压比较器的输出高电平和低电平电压值
V_{BB}, V_{CC}, V_{EE}	晶体管基极回路、集电极回路、发射极回路电源
V_{GG}, V_{DD}, V_{SS}	场效应管栅极回路、漏极回路、源极回路电源

2. 电阻、电导、电容、电感

R	电阻通用符号
G	电导通用符号
C	电容通用符号
L	电感通用符号
R_b, R_c, R_e	晶体管基极、集电极、发射极外接电阻
R_g, R_d, R_s	场效应管栅极、漏极、源极外接电阻
R_i	放大电路的输入电阻
R_o	放大电路的输出电阻
R_{if}, R_{of}	负反馈放大电路的输入、输出电阻
R_L	负载电阻
R_N	集成运放反相输入端外接的等效电阻
R_P	集成运放同相输入端外接的等效电阻
R_s	信号源内阻

3. 放大倍数、增益

A	放大倍数或增益的通用符号
A_c	共模电压放大倍数
A_d	差模电压放大倍数
$\dot{A}_u$	电压放大倍数的通用符号
A_{uo}	开环电压放大倍数
$\dot{A}_{uu}, \dot{A}_{ui}, \dot{A}_{ii}, \dot{A}_{iu}$	电压放大倍数符号, 第一个输入量, 第二个输出量
$\dot{A}_{ul}, \dot{A}_{um}, \dot{A}_{uh}$	低频、中频、高频电压放大倍数
$\dot{A}_{us}$	放大器对信号源电动势的电压放大倍数
$\dot{F}$	反馈系数通用符号

4. 功率和效率

P	平均功率通用符号
p	瞬时功率通用符号
P_o	交流输出功率
P_{om}	最大交流输出功率
P_T	晶体管耗散功率
P_V	直流电源提供的功率

5. 频率

f	频率通用符号
f_{BW}	通频带
f_c	使放大电路增益为 0dB 时的信号频率
f_H	放大电路的上限截止频率
f_L	放大电路的下限截止频率

f_0 振荡电路的中心频率
 ω 角频率通用符号

三、器件参数符号

1. 二极管

D 二极管
 I_F 二极管最大整流电流
 I_R 二极管的反向电流
 I_S 二极管的反向饱和电流
 r_d 二极管导通时的动态电阻
 $U_{on}, U_{D(on)}$ 二极管的开启电压
 $U_{(BR)}$ 二极管的击穿电压

2. 稳压二极管

D_Z 稳压二极管
 I_Z, I_{ZM} 稳定电流、最大稳定电流
 r_z 稳压状态下的动态电阻
 U_Z 稳定电压

3. 双极型管

T 晶体管
 b, c, e 基极、集电极、发射极
 $\bar{\beta}, \beta$ 共射极电路的直流放大系数和交流放大系数
 C_μ 混合 π 等效电路中集电结的等效电容
 C_π 混合 π 等效电路中发射结的等效电容
 f_β 共射极电路电流放大系数的上限截止频率
 f_T 特征频率, 即共射极电路电流放大系数下降到 1 时的频率
 g_m 跨导
 I_{CBO}, I_{CEO} 发射极开路条件下 b-c 极间的反向电流, 基极开路条件下 e-c 极间的穿透电流
 I_{CM} 集电极最大允许电流
 P_{CM} 集电极允许最大耗散功率
 $U_{(BR)CEO}$ 基极开路时 c-e 极间的击穿电压
 U_{CES} 晶体管饱和管压降
 U_{on} 晶体管 b-e 极间的开启电压

4. 单极型管

T 场效应管
 d, g, s 漏极、栅极、源极
 g_m 跨导
 I_{DO} 增强型 MOS 管 $U_{GS} = 2U_{GS(th)}$ 时的漏极电流
 I_{DSS} 耗尽型场效应管 $U_{GS} = 0$ 时的漏极电流
 P_{DM} 漏极允许的最大耗散功率

$U_{GS(off)}, U_P$	耗尽型场效应管的夹断电压
$U_{GS(th)}, U_T$	增强型场效应管的开启电压

5. 集成运放

A_{od}	开环差模增益
r_{id}	差模输入电阻
I_{IB}	输入级偏置电流
I_{IO}	输入失调电流
U_{IO}	输入失调电压
K_{CMR}	共模抑制比
SR	转换速率

四、其他符号

K	热力学温度
Q	静态工作点
T	周期、温度
η	效率, 输出功率与电源提供功率之比
τ	时间常数
θ	导通角
ϕ, φ	相位角

目 录

第 1 单元 二极管及其电路	1
实验 1-1 二极管极性及好坏的判断	1
实验 1-2 二极管伏安特性曲线的测试	6
实验 1-3 二极管对动态(交流)小信号响应的实验	14
实验 1-4 大信号作用下的二极管模型分析	20
实验 1-5 二极管的应用(一)	26
实验 1-6 二极管的应用(二)	28
实验 1-7 并联型二极管小信号模型控制电路(设计型)	30
实验 1-8 简易调幅信号产生电路(设计型)	31
实验 1-9 逻辑电平检测电路(设计型)	32
实验 1-10 小功率通信设备收发开关的控制电路(设计型)	33
第 2 单元 三极管及其电路	34
实验 2-1 三极管极性及好坏的判断	34
实验 2-2 三极管输出特性曲线和基本工作状态的测试	38
实验 2-3 共射极放大电路及静态工作点调试	48
实验 2-4 射极偏置放大电路设计及主要参数的测试	56
实验 2-5 共集电极放大电路	64
实验 2-6 差分放大器(设计型)	71
实验 2-7 三极管电路的应用(一)——电平指示电路	75
实验 2-8 三极管电路的应用(二)——电子测光电路	78
实验 2-9 多级放大电路的设计(设计型)	80
实验 2-10 简易晶体管特性图示仪的设计(设计型)	81
第 3 单元 场效应管及其电路	82
实验 3-1 场效应管放大电路的参数调试和测量	82
第 4 单元 功率放大电路	86
实验 4-1 乙类功率放大电路	86
实验 4-2 集成功率放大器	95
第 5 单元 集成运算放大器及其应用电路	98
实验 5-1 运算放大器主要参数的估测	98
实验 5-2 反相运算电路	105

实验 5-3	同相运算电路	114
实验 5-4	单电源供电运放电路	120
实验 5-5	有源滤波器	124
第 6 单元	负反馈电路应用及特性测试	127
实验 6-1	电压负反馈与电流负反馈	127
实验 6-2	串联负反馈与并联负反馈电路	133
实验 6-3	设计实现负反馈电路	137
实验 6-4	用集成运算放大器设计实现万用表	142
第 7 单元	电压比较器、信号发生器及振荡电路	145
实验 7-1	电压比较器	145
实验 7-2	方波-三角波发生器	150
实验 7-3	正弦波产生电路	154
实验 7-4*	实验楼道感应灯设计(设计型)	159
第 8 单元	稳压电源	160
实验 8-1	集成直流串联稳压电源	160
实验 8-2	分立件直流串联稳压电源	167
实验 8-3	开关稳压电源	170
第 9 单元	Multisim 10 仿真软件及其应用	180
9.1	Multisim 软件概述	180
9.2	Multisim 10 用户界面及设置	181
9.3	Multisim 10 的元器件库及使用	184
9.4	Multisim 10 仿真仪表及使用	188
9.5	Multisim 10 的分析功能	199
9.6	建立一个仿真电路	202
9.7	放大电路参数测量项目一	207
9.8	放大电路参数测量项目二	221
9.9	预习思考题	226
参考文献		227

第 1 单元 二极管及其电路

实验 1-1 二极管极性及好坏的判断

1. 实验项目

- (1) 用指针式万用表判断二极管的极性和好坏。
- (2) 用数字式万用表判断二极管的极性和好坏。

2. 实验目的

- (1) 掌握判断二极管极性和好坏的方法。
- (2) 了解不同类型二极管导通电压的大致数值。
- (3) 了解万用表测量二极管的原理。

3. 实验原理

3.1 二极管的基本特性

二极管的元件符号、电压与电流的方向定义如图 1-1-1 所示, P 型区规定为二极管的正极, N 型区规定为二极管的负极, 正负极定义的方向不可更换。 $u_D > 0$ 称为正向电压, $u_D < 0$ 称为反向电压, 正极流向负极的电流称为正向电流, 反之称为反向电流。

二极管是典型的非线性器件, 其伏安曲线如图 1-1-2 所示, 它大致分为 4 个区。A-B 段是反向击穿区, 对于不同型号的二极管, 产生反向击穿的电压值是不同的(一般在几十伏到几千伏之间)。二极管发生反向击穿后, 由不导电变成导电, 可形成很大的反向电流, 在使用中应尽量避免; B-O 段是反向截止区, 表示二极管在承受反向电压时几乎没有反向电流(一般在 10^{-10} A 以下); O-D 段是死区(硅管和锗管死区电压分别为 0.5V 和 0.2V), 在死区内, 二极管虽然得到的是正向电压, 但正向电流依然很小几乎为零; D-E 段为正向导通区, 在该区二极管电压 u_D 有微小的变化, 电流 i_D 就会有明显的变化。图 1-1-2 中 D-E 段的特性表明, 二极管电流从 0 到很大的数值区间波动时, 二极管电压 u_D 始终维持在 0.7V 附近, 所以在二极管导通时, 可以把二极管等效成一个 0.7V 的电压源。

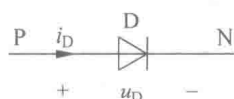


图 1-1-1 二极管的符号及电压电流方向定义

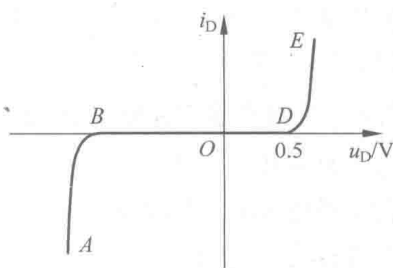


图 1-1-2 二极管的伏安曲线

二极管的伏安特性还可简单地归结为：正向导通、反向截止。

3.2 用指针式欧姆表测量二极管的极性

二极管正向导通、反向截止的特性,反映了在分别给二极管施加正向电压和反向电压时,其电阻值表现出的巨大差异。利用指针式欧姆表测试二极管上这种电阻值的差异,就可以测出二极管的极性和好坏(在实际中,这种方法仅限于指针式万用表,对数字式万用表不适用)。

我们知道电阻的定义是 $R=U/I$,即它是通过电压和电流的比值关系来反映电阻的大小的。依据这个定义,指针式欧姆表测量电阻时,通过红黑表笔给被测元件两端提供一个测试电压,通过指针表指针摆动的大小,反映被测元件流过电流的大小,来实现对元件电阻的测量。指针式欧姆表的电路模型如图 1-1-3 所示,其中 V 是欧姆表内部电池表现在红黑表笔间的开路电压, R_0 是表笔间向内部望进的等效电阻, A 是指针式电流表。指针式欧姆表置于不同挡位时,其端口开路电压 V 和等效电阻 R_0 均有所不同,以 VICTOR-VC3010 型指针式万用表为例,当置于 $R \times 1k\Omega$ 以下的各测量挡位时,红黑表笔间的开路电压为 3V,而置于 $R \times 10k\Omega$ 时,开路电压为 12V。当红黑表笔给二极管提供正向电压时,可把二极管用恒压降模型(0.7V)替代,参考图 1-1-3 所示电路模型,由于欧姆表不同挡位下 R_0 和 V 各不相同,所以流过二极管的电流也就各不相同,表现在测量数值上,是测得的二极管导通电阻值会发生较大的差异。对于非线性器件来说,出现这种现象是完全正常的,它可用图 1-1-4 解释。

在图 1-1-4 中, Q_1 和 Q_2 表示了二极管分别为两个直流电流值的点,其中 Q_2 点的电流大于 Q_1 点电流,其线段 OQ_2 和 OQ_1 的斜率代表了它们的直流电导值(直流电阻 R_D 的倒数),显而易见二极管的电流值越大,直流电阻就越小。

由于万用表内部使用的是干电池,所以显示的电阻值是二极管的直流电压与直流电流的比值,被称为二极管的直流电阻 R_D (也叫静态电阻)。

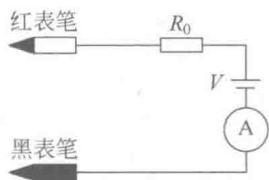


图 1-1-3 指针式欧姆表的电路模型

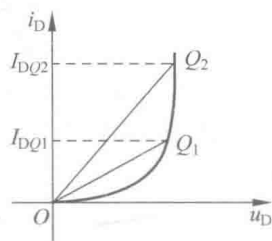


图 1-1-4 二极管静态电流与直流电阻的关系

另外需要注意的是,指针式万用表置于测电阻挡位时,红表笔带负电压、黑表笔带正电压(与数字式万用表相反)。

3.3 用数字表 PN 结测量挡位测量二极管的极性

对于数字式万用表,不能用它的电阻挡来测试二极管的极性和好坏。其原因是它不像指针表需要较大的信号电流驱动指针偏转,数字表所需的信号功率极小,出于降低数字表电池损耗的目的,在测量电阻挡位时,两表笔间电压的设计值取得较低。以 MY-61 型数字万用表为例,在置于 $2k\Omega$ 电阻挡位时表笔间的电压仅为 0.5V。由前面介绍知,当给硅二极管

施加的正向电压在 0.5V 以下(死区电压)时,二极管的正向电阻仍然会非常大。因此对于数字表来说,想通过用电阻挡测量二极管正反向电阻大小来判断二极管的正负极将不会奏效。为此在数字表的设计中,专门为测量 PN 结(二极管)设计了一个专用挡位,仍以 XMY-61 型数字万用表为例,在测二极管挡位时,红黑表笔间的开路电压为 2.63V ,其电路模型如图 1-1-5 所示,图中的电压表 V 表示在测 PN 结挡位上,数字表实际是在执行测量红黑表笔间电压的功能,当红黑表笔间测量的电压值在 $0\sim 2.0\text{V}$ 之间时,数字表则显示该电压值;若红黑表笔间的电压值大于临界电压 2.0V 时,数字表的示数则为“1.”,这个功能是由数字表内部的计算芯片来实现的。当给硅二极管加正向电压(红表笔接二极管正极、黑表笔接二极管负极),二极管处于导通状态,由等效模型知此时二极管相当于约 0.7V 的恒压源,因此在显示屏上会显示出约 0.7V 的电压测量值;把红黑表笔调换后,二极管被加反向电压,处于断开状态,表笔两端相当于未接任何器件,表笔间的测量电压仍为开路电压 2.63V ,大于临界电压 2.0V ,则显示屏上的示数为“1.”,表示二极管不通。

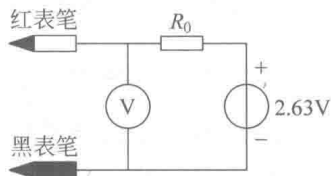


图 1-1-5 数字表测 PN 结挡位的电路模型

数字表用通过测量二极管导通电压的手段来实现极性与好坏的判断,更具有工程实用价值。这是因为二极管在导通状态下等效为一个恒压源,测得该等效电压的大小即可以知道是硅管还是锗管,还可以为设计二极管电路提供导通电压数据,而指针表测得的静态电阻不是一个常数,并不具有代表性,仅仅可供作为通断状态的判断使用(注:数字表在测量电阻和 PN 结时,红表笔带正电压,黑表笔带负电压)。

4. 实验设备与器件

- (1) 指针式万用表和数字式万用表各一块。
- (2) 普通硅整流二极管,稳压二极管 $5\text{V}1$ 、发光二极管各一只。

5. 实验内容与步骤

5.1 用指针式万用表测试二极管的极性和好坏

5.1.1 要点概述

该部分原理介绍请参见本实验 3.2。其核心是利用二极管正反向电阻的巨大差异,来识别二极管的极性。

5.1.2 实验步骤

(1) 将指针式万用表量程置于 $R\times 100\Omega$ 挡,将二极管的一端做个标记(可将该端引脚弯个钩,或记住二极管外部的某个标识特征,通常二极管的负极是用一条横线或圆点来标识的)。

(2) 将红表笔接在二极管的标记端上,黑表笔接另一端,将测量阻值记录于表 1-1-1 中相应处。

(3) 将红黑表笔对调,再次测量二极管的阻值,将数据记录于表 1-1-1 中相应处。

(4) 将万用表的量程置于 $R\times 1\text{k}\Omega$ 挡,重复上述过程,将结果记录于表 1-1-1 中相应处。

表 1-1-1 用指针表测试二极管(1N4148)的测量数据及分析

项 目	R×100Ω 挡测量的阻值	R×1kΩ 挡测量的阻值
标记端接红表笔		
标记端接黑表笔		
测试数据分析		
标记端正负极的判断		
二极管正向导通的电阻值是否恒定		

* 参考图 1-1-4,从两个电阻挡位测量的电阻值来分析,哪一次二极管两端的电压更高一些

5.2 用数字式万用表测量二极管的极性和好坏

5.2.1 要点概述

该部分原理介绍请参见本实验 3.3。其核心是数字表测 PN 结的挡位,是通过测量二极管导通电压来实现的。其示数表示二极管处于导通状态时的电压值,红表笔为正极;若示数为“1.”时,表示二极管不通,红表笔为负极。

5.2.2 实验步骤

- (1) 将数字式万用表量程拨到测量 PN 结的专用挡位上。
- (2) 将红表笔接在二极管的标记端,黑表笔接另一端,如果读数在 0.7V 左右或 0.2V 左右,则可以判断出红表笔接的是二极管正极,黑表笔接的是负极,前者是硅二极管,后者是锗二极管。
- (3) 将红黑表笔对调测量,若万用表的示数和表笔开路时的示数一样,读数仍然是“1.”,说明此时的二极管呈开路状态,黑表笔接的是二极管正极,红表笔接的是负极,据此可判断二极管的极性和好坏。按上述方法,用数字表完成表 1-1-2 的测试数据。

表 1-1-2 用数字表测试二极管(1N4148)的测量数据

项 目	数字表的示数	示数的含义
标记端接红表笔		
标记端接黑表笔		
标记端的极性判断		

5.3 用数字式万用表测试稳压二极管和发光二极管

参考本实验 5.2 的实验步骤,完成表 1-1-3 和表 1-1-4 要求的测试项目。

表 1-1-3 用数字表测试稳压二极管的测量数据

项 目	数字表的示数	示数的含义
标记端接红表笔		
标记端接黑表笔		
测试数据分析		
稳压二极管与普通二极管的正向导通电压有何区别		

表 1-1-4 用数字表测试发光二极管的测量数据

项 目	数字表的示数	示数的含义
标记端接红表笔		
标记端接黑表笔		
测试数据分析		
标记端的极性		
发光二极管的导通电压		

6. 预习思考题

- (1) 二极管的 P 型区定义为正极还是负极？二极管是线性器件还是非线性器件？电阻是线性器件还是非线性器件？
- (2) 反向电流是指从哪个极流入的电流？
- (3) 线性器件的伏安曲线有什么特征？硅管的死区电压是几伏？锗管呢？
- (4) 硅二极管导通时，等效模型是什么？为什么？
- (5) 二极管的基本特性是什么？
- (6) 用欧姆表测二极管的极性与好坏利用了二极管的什么特性？
- (7) 二极管在导通状态下可等效为一个电压源，也可以等效为一个电阻，两者是什么关系？（提高题）
- (8) 静态电阻是怎样定义的？二极管的静态电阻是不是常数？
- (9) 万用表置于欧姆挡时，端口上为什么会有开路电压？置于电压挡时会有吗？
- (10) 指针式欧姆表的电路模型有哪几部分？各自作用如何？（提高题）
- (11) 二极管静态电流越大，它的端口电压就越大吗？借助二极管伏安曲线，分析二极管静态电流变大后，静态电阻将怎样变化？
- (12) 指针式万用表测电阻时，红表笔带正电还是负电？
- (13) 数字式万用表测电阻时，端口电压大小特点是什么？可以用它测二极管极性吗？
- (14) 数字表测二极管应置于什么挡位？红表笔带什么极性电压？
- (15) 数字表在测二极管挡位时，红黑表笔间测得的是什么物理量？
- (16) 若数字表测二极管时，示数为“0.68”，请问含义是什么？黑表笔接的是二极管的什么极？
- (17) 用数字表和指针表测二极管的极性，哪个示数更有工程实际意义？为什么？

实验 1-2 二极管伏安特性曲线的测试

1. 实验项目

- (1) 测试普通二极管 1N4148 的伏安(V-A)特性曲线。
- (2) 测试稳压二极管 5V1 的伏安(V-A)特性曲线。
- (3) 测试发光二极管的伏安(V-A)特性曲线。

2. 实验目的

- (1) 掌握测试电路端口 V-A 特性的基本方法,并得到实测的普通二极管、稳压二极管及发光二极管 V-A 特性曲线数据。
- (2) 利用实测的 V-A 特性曲线数据,计算二极管在不同的电流下所表现出不同的静态电阻值和动态电阻值;加深对非线性器件所特有的静态电阻和动态电阻概念的了解。
- (3) 了解稳压二极管在反向击穿区其动态电阻的特点,并会正确利用。
- (4) 了解发光二极管的伏安特性,掌握发光二极管电路的设计方法。

3. 实验原理

3.1 关于伏安曲线及测试

对任何一个电路或器件,它的端口电压和电流的函数关系($i=f(u)$)是人们最为关心的问题,但在很多工程应用中,更多的是用电压和电流构成的二维坐标曲线来描述,它的优点是容易获得、表述直观。

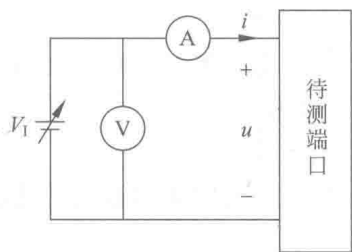


图 1-2-1 测试伏安曲线的一般原理图

获得某个电路或器件伏安曲线的测试电路如图 1-2-1 所示,右边的方框既可以是由若干个元件组成的电路的端口,也可以是单个器件的两端,V 是测量端口电压的电压表,A 是测量端口电流的电流表, V_1 是给端口供电的可调电压源。通过调节 V_1 ,在得到各种端口电压 u 的同时,记录下对应的电流 i ,把这些离散的数据点描绘在由端口电压 u 和端口电流 i 构成的二维平面坐标上,再把这些点连接成曲线,便得到该端口的伏安曲线。

3.2 限流电阻及作用

图 1-2-1 只是对测量端口伏安曲线的测试电路原理性的说明,它在实际测试中存在重要缺陷。以图 1-2-2 所示的二极管伏安曲线为例,当二极管具有一定的正向电流时,它的端口电压 u 基本恒定为 0.7V,在测试二极管的伏安特性时,图 1-2-1 的电路就会等效为图 1-2-3 所示电路,在 V_1 大于 0.7V 的情况下,回路电流 i 就会无穷大,将造成设备或器件的损毁。