



全国高等职业教育规划教材

电子技术基础与实训

黎兆林 许建强 宋和宁 主编



电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

电子技术基础与实训

黎兆林 许建强 宋和宁 主编



机械工业出版社

本书主要包括常用半导体器件、放大电路基础、集成运算放大器、数字电路基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与变换、数字量与模拟量的转换、直流稳压电源(含晶闸管电路)等。

本书集众多优秀教材的特点于一体,充分体现了培养学生的“技术应用能力”为目标的高职教育的特点,将电子技术的技能实训贯穿于课程教学的整个过程。本书图文并茂,内容浅显易学,丰富的技能实训内容可满足不同层次的教学需要。本书还配有电子教案,以便于教学。

本书可作为高职高专院校、高级技工学校和中职中专学校的电子信息、电气自动化、机电一体化以及计算机应用、楼宇智能化、数控技术等相关专业的电子技术课程的教材,也可供有关工程技术人员学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础与实训/黎兆林,许建强,宋和宁主编.—北京:机械工业出版社,2009.8

全国高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-111-27221-2

I. 电… II. ①黎… ②许… ③宋… III. 电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第080762号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:祝伟 版式设计:霍永明

责任校对:陈延翔 责任印制:杨曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2009年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.5印张·381千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-27221-2

定价:27.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是电子技术的教学与技能实训的有机结合,可以满足不同层次的“电子技术基础”课程的教学需要,其主要有以下特点。

在内容设置上,以培养学生的“技术应用能力”为主线,选择了在实际应用中必需的知识和技能作为教学的重点。在强化基础、精选内容的同时,将电子技术的基本技能,如元器件的测试、基本焊接技术、电路的组装和调试、常用电子仪器的使用、实用电路的分析等贯穿于教学的整个过程。每章均设置相应的技能实训,通过“知识+技能实训”达到能力培养的目标。

在教学要求上,充分考虑了高等职业教育的特点,摒弃了繁琐的理论分析、推导过程;简化了(学生颇难理解的)放大电路负反馈的分析;淡化分立元件,突出了集成电路的应用;以典型的应用电路为主线,培养学生理解应用电路、掌握使用器件的初步能力。

本书图文并茂,内容浅显易学,每小节的节首有简明的学习要求、节尾有适当的思考题,有利于来激发、引导学生的学习兴趣和。

本书尝试将电子技术的教学与国家职业资格证书的要求相结合,书中提供的丰富的习题及设置的技能实训,均与相关中(高)级维修电工职业资格证书中的有关内容、形式和要求紧密联系。因此,可供有关方面参考、选择。

本书的建议学时为60~100学时。各校各专业可根据需要及课程设置的学时对书中的内容适当取舍。

为便于教学,本书还配有电子课件,使用本书的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 下载。

本书由黎兆林、许建强、宋和宁主编。其中,许建强编写第6章;王云、张梅合编第7章;宋和宁编写第3章,谭静霓编写第8章;郭伟浩编写第9章;秦海蛟参与了第4章的编写;宁玉红参与了第5章的编写;参与本书编写的还有王铁勇;黎兆林编写了全书的其余部分。全书由黎兆林统稿和修改。

广西师范学院的李平老师作为本书的主审,提出了很多宝贵的修改建议。

本书是作者从事多年电子技术教学和实践的总结。在编写过程中,我们参阅了国内许多优秀教材,查阅了大量相关的文献,直接或间接引用了其中许多学者的研究成果。在此,我们特向他们表示深切的敬意和衷心的感谢!同时,我们要感谢我们的家人对本书编写的充分理解和大力支持!

由于编者水平有限,书中定有错误和欠妥之处,恳请各位同行、读者不吝赐教,请发邮件至 gxjmlzl@126.com。

目 录

前言

第1章 常用半导体器件 1

1.1 二极管 1

1.1.1 二极管简介 1

1.1.2 二极管的特性和主要参数 3

1.1.3 二极管的测试及应用 4

1.1.4 特殊半导体二极管 6

1.2 晶体管 8

1.2.1 晶体管简介 9

1.2.2 晶体管的电流放大作用 10

1.2.3 晶体管的特性曲线及工作状态 11

1.2.4 晶体管的主要参数 12

1.2.5 晶体管的测试 13

1.3 场效应晶体管 14

1.3.1 绝缘栅型场效应晶体管的结构 15

1.3.2 场效应晶体管的原理和特性 15

1.3.3 场效应晶体管的主要参数及使用 16

1.3.4 场效应晶体管的测试 17

1.4 技能实训 18

1.4.1 常用半导体器件的识别与测试 18

1.4.2 基本焊接技术 20

1.5 习题 21

第2章 放大电路基础 25

2.1 共射放大电路 25

2.1.1 电路结构 26

2.1.2 放大电路工作状态的分析 26

2.1.3 静态工作点与波形失真 28

2.1.4 静态工作点的稳定与电路的偏置 29

2.1.5 共射放大电路性能指标的估算 31

2.2 共集电极放大电路与共基极放大电路 36

2.2.1 共集电极放大电路 36

2.2.2 共基极放大电路 37

2.2.3 三种基本放大电路的性能比较 38

2.3 场效应晶体管放大电路 39

2.4 多级放大电路 41

2.4.1 多级放大电路的组成 41

2.4.2 级间耦合方式 41

2.4.3 多级放大电路的性能指标估算 42

2.5 功率放大电路 43

2.5.1 功率放大器的概念 44

2.5.2 互补对称功率放大器 44

2.5.3 集成功率放大器 46

2.6 技能实训 49

2.6.1 常用电子仪器的使用 49

2.6.2 基本放大电路的焊接、调试和测试 51

2.6.3 集成功放的应用 54

2.7 习题 55

第3章 集成运算放大器 60

3.1 集成运算放大器简介 60

3.1.1 概述 60

3.1.2 理想运算放大器 62

3.1.3 放大电路中的负反馈 63

3.2 集成运放的线性应用 65

3.2.1 比例运算电路 65

3.2.2 加法运算电路 67

3.2.3 减法运算电路	67	4.2.3 非逻辑、非门	106
3.2.4 测量放大器	68	4.2.4 复合逻辑门电路	107
3.2.5 积分运算电路	69	4.2.5 逻辑代数及逻辑函数 的化简	111
3.2.6 微分运算电路	71	4.3 集成逻辑门电路	116
3.2.7 有源滤波电路	71	4.3.1 TTL 电路	116
3.3 集成运放的非线性应用	73	4.3.2 CMOS 电路	117
3.3.1 单门限电压比较器	73	4.4 技能实训	117
3.3.2 滞回电压比较器	73	4.5 习题	121
3.3.3 双限比较器	75	第5章 组合逻辑电路	124
3.4 集成运放组成的信号 发生器	76	5.1 组合逻辑电路的分析 与设计	124
3.4.1 非正弦波信号发生器	76	5.1.1 组合逻辑电路的分析	124
3.4.2 正弦波信号发生器	79	5.1.2 组合逻辑电路的设计	125
3.5 函数信号发生器	84	5.2 常用的组合逻辑电路	126
3.5.1 集成运放组成的函数 信号发生器	84	5.2.1 加法器和数值比较器	126
3.5.2 集成函数发生器 8038 的应用	85	5.2.2 编码器	129
3.6 集成运放使用常识	86	5.2.3 译码器	131
3.6.1 集成运放的选择	86	5.2.4 数据选择器与数据 分配器	137
3.6.2 单电源供电时的 偏置问题	87	5.2.5 组合逻辑电路中的 竞争-冒险	139
3.6.3 集成运放的调零与 消除自激	87	5.3 技能实训	140
3.6.4 集成运放的保护	88	5.3.1 组合逻辑电路的测试	140
3.7 技能实训	88	5.3.2 多路信号分时传输电路的 设计和测试	142
3.7.1 集成运放的基本应用	88	5.4 习题	143
3.7.2 集成运放组成的信号 发生器	91	第6章 时序逻辑电路	146
3.7.3 函数信号发生器的设计	92	6.1 触发器	146
3.8 习题	94	6.1.1 RS 触发器	146
第4章 数字电路基础	100	6.1.2 JK 触发器与 T (T') 触发器	149
4.1 数字电路基本概念	100	6.1.3 D 触发器	150
4.1.1 数字信号与数字电路	100	6.1.4 同步触发器的类型及 其转换	152
4.1.2 数制及其转换	100	6.1.5 集成边沿触发器举例	154
4.1.3 码制	102	6.2 计数器	157
4.2 逻辑与逻辑电路	103	6.2.1 二进制计数器	157
4.2.1 与逻辑、与门	103	6.2.2 十进制加法计数器	159
4.2.2 或逻辑、或门	104		

6.2.3 集成计数器	159	7.5 习题	193
6.3 寄存器	164	第8章 数字量与模拟量的转换	195
6.3.1 数码寄存器	164	8.1 数/模转换	195
6.3.2 移位寄存器	165	8.1.1 数模转换器的基本原理	195
6.3.3 集成移位寄存器	166	8.1.2 集成数模转换电路	197
6.4 技能实训	167	8.1.3 集成数模转换器的应用	198
6.4.1 集成计数器逻辑 功能与应用	167	8.2 模/数转换	199
6.4.2 移位寄存器的测试 及应用	168	8.2.1 模数转换器的基本原理	199
6.4.3 计数译码显示电路的实验	170	8.2.2 集成模数转换电路	200
6.4.4 步进电动机转速控制电路 的安装与测试	171	8.2.3 集成模数转换电路 的应用	201
6.5 习题	174	8.3 技能实训	202
第7章 脉冲信号的产生与变换	178	8.3.1 锯齿波发生器	202
7.1 施密特触发器	178	8.3.2 A/D 转换电路	203
7.1.1 施密特触发器的组成及 工作原理	178	8.4 习题	203
7.1.2 555 集成定时器的结构和 工作原理	179	第9章 直流稳压电源	205
7.1.3 555 集成定时器组成的 施密特触发器	180	9.1 整流电路和滤波电路	205
7.1.4 施密特触发器的应用	181	9.1.1 整流电路	205
7.2 单稳态触发器	182	9.1.2 滤波电路	208
7.2.1 单稳态触发器的电路组成 及工作原理	182	9.2 稳压电路	211
7.2.2 单稳态触发器的应用	184	9.2.1 串联型稳压电路	211
7.3 多谐振荡器	186	9.2.2 集成线性稳压电路	214
7.3.1 多谐振荡器的电路组成 及工作原理	186	9.2.3 开关型稳压电源	217
7.3.2 多谐振荡器的应用	188	9.3 晶闸管及其应用	220
7.4 技能实训	189	9.3.1 单向晶闸管的基本特性	221
7.4.1 555 定时器应用 电路的测试	189	9.3.2 单相可控整流电路	222
7.4.2 冰箱保护器的组装 与调试	191	9.3.3 单结晶体管触发电路	223
		9.3.4 双向晶闸管	228
		9.4 技能实训	231
		9.4.1 直流稳压电源的 组装和测试	231
		9.4.2 晶闸管整流电路的 安装与调试	233
		9.5 习题	235
		参考文献	240

第 1 章 常用半导体器件

半导体器件是电子电路的核心元件，常用的分立半导体器件主要有二极管、晶体管和场效应晶体管等。了解它们的内部结构，掌握它们的外部特性、主要参数指标以及正确的使用方法，是学习电子技术和分析电子电路的重要基础。

1.1 二极管

知识点

- (1) 二极管的基本特性、主要参数以及基本应用。
- (2) 稳压二极管、发光二极管和光敏二极管的特性及应用。

技能点

- (1) 掌握二极管、稳压二极管的测试及选用方法。
- (2) 掌握发光二极管、光敏二极管的测试方法。

1.1.1 二极管简介

1. 二极管的结构、符号、外形和类型

二极管是由一个 PN 结加上电极引线封装而成的。由 P 区引出的电极称为阳极或正极，由 N 区引出的电极称为阴极或负极。二极管的结构与符号如图 1-1 所示，常见的二极管外形如图 1-2a 所示。除了在外壳上用二极管的符号来标识正、负电极外，有的二极管用色环（或色点）来标识二极管的负极，而大功率螺栓式二极管带螺纹的一端是负极。

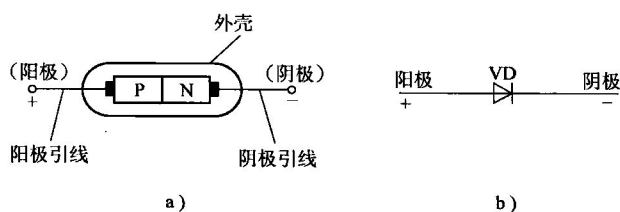


图 1-1 二极管的结构与符号

a) 结构 b) 符号

普通二极管按所用材料可分为硅二极管和锗二极管；按内部结构可分为点接触型二极管和面接触型二极管，如图 1-2b、c 所示，点接触型二极管的频率特性好，适用于高频工作，面接触型二极管能通过较大的电流，适用于整流电路中。

2. 二极管导电特性的演示

按图 1-3 所示电路连接直流电源 U_{CC} 、二极管 VD 和指示灯 L。在图 1-3a 中，电源的正

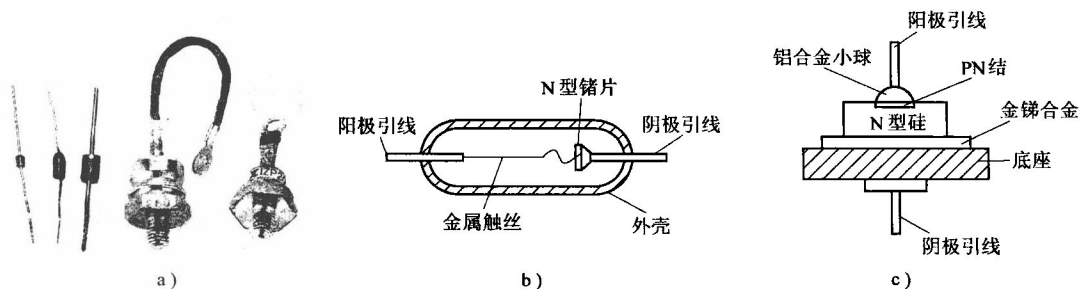


图 1-2 二极管的外形和类型

a) 常见外形 b) 点接触型 c) 面接触型

极连接到二极管的正极，使二极管的正极电位高于负极电位（这种电压偏置称为正向偏置），指示灯亮，表明电路中通过较大的正向电流，二极管的这种状态称为导通；在图 1-3b 中，将二极管的极性对调，电源的正极连接到二极管的负极，使二极管的正极电位低于负极电位（这种电压偏置称为反向偏置），此时指示灯灭，表明电路中无电流通过，二极管的这种状态称为截止。

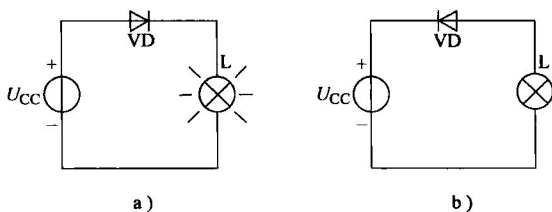


图 1-3 二极管导电特性的演示

a) 导通状态 b) 截止状态

可见，二极管的基本特性是单向导电性，即正向偏置时导通，反向偏置时截止。二极管符号的箭头代表了正向电流的方向，外加电压的方向与箭头方向一致时二极管导通，反之则截止。二极管的核心是一个 PN 结，其单向导电性是由 PN 结的特性决定的。

PN 结的单向导电性

掺杂半导体内部包含有两种不同的导电载流子，P 区内的多数载流子是自由空穴，少数载流子是自由电子；而 N 区内的多数载流子是自由电子，少数载流子是自由空穴。在 P 型和 N 型半导体的交界面（即 PN 结）附近，由于 N 区带负电荷的自由电子向 P 区扩散，P 区带正电荷的自由空穴向 N 区扩散，使靠 N 区一侧留下正离子带正电，靠 P 区一侧留下负离子带负电，形成由 N 区指向 P 区的电场，即 PN 结内电场。内电场阻碍多数载流子的扩散，又称为阻挡层。

PN 结正向偏置：PN 结的 P 区接高电位，N 区接低电位。此时外加电压对 PN 结产生的电场与 PN 结内电场方向相反，削弱了 PN 结内电场，阻挡层变薄，使得多数载流子能顺利通过 PN 结，并随着外加电压的升高而剧增，形成较大的正向电流。所以 PN 结正向偏置时处于导通状态。

PN 结反向偏置：PN 结的 P 区接低电位，N 区接高电位。此时外加电压对 PN 结产生的电场与 PN 结内电场方向相同，增强了 PN 结内电场，阻挡层变厚，多数载流子在电场力的作用下难于通过 PN 结，反向电流非常微小（近似为 0），故 PN 结反向偏置时处于截止状态。

1.1.2 二极管的特性和主要参数

1. 二极管的特性

理解和掌握二极管的特性和参数，是正确选择和使用二极管的前提。为了能对二极管的特性有更全面的了解，下面对其伏安特性曲线进行简要的分析。所谓伏安特性是指二极管两端电压和流过二极管电流之间的关系。典型的二极管伏安特性曲线如图 1-4 所示。

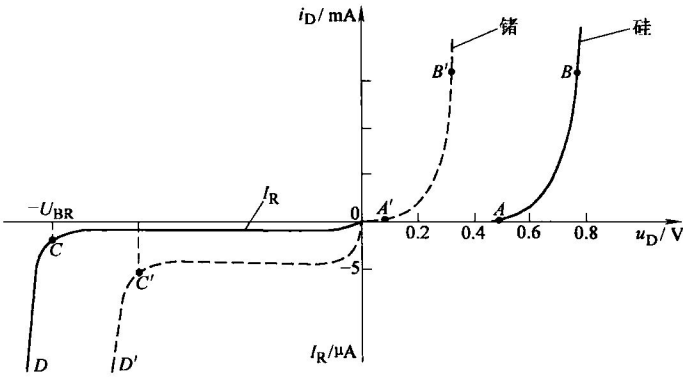


图 1-4 二极管伏安特性曲线

(1) 正向特性 二极管正极接高电位，负极接低电位，二极管为正向偏置（正偏）。

二极管的正偏电压较小时，其正向电流极小（近似为 0），这一区域称为死区，相应的 A(A') 点的电压被称为死区电压（或称为阈值电压）。死区电压与环境温度有关，常温下硅管的死区电压约为 0.5V，锗管的约为 0.1V。

当正向电压超过死区电压后，二极管进入导通状态，正向电流迅速增大，在电流增长很大的范围内，二极管两端电压的变化很小，正向导通电压近似为一个稳定值，如图中 AB(A'B') 段。在工程估算中，通常取硅管的正向导通电压为 0.7V，锗管的为 0.3V。

(2) 反向特性 二极管正极接低电位，负极接高电位，二极管为反向偏置（反偏）。

二极管反偏时，在一个很宽的电压范围内，存在一个很微弱的反向电流，它基本不随反向电压的增大而变化，这个电流称为反向饱和电流 I_R ，如图中 OC(OC') 段。反向电流（又称为漏电流）越小，表明二极管的单向导电性越好。如图所示，硅管的反向特性优于锗管。

反向电压增大到某一值时，反向电流突然增大，这种现象称为反向击穿，此时对应的电压称为反向击穿电压，用 U_{BR} 表示，如图中 CD(C'D') 段。此时，二极管失去了单向导电性，如果没有适当的限流措施，二极管将会过电流损坏。普通二极管不允许工作在反向击穿状态。

可见，二极管正偏导通，具有非线性特征；反偏截止，通过的反向电流极小可以忽略。

2. 二极管的主要参数

最大整流电流 I_{FM} ：是指二极管长时间使用时，允许通过的最大正向平均电流。正常使用时，正向电流必须小于此值。

最高反向工作电压 U_{RM} ：是指允许加在二极管两端的最高反向电压（峰值）。一般元器件手册上给出的 U_{RM} 通常为反向击穿电压 U_{BR} 的一半。

反向饱和电流 I_R ：是指二极管未被击穿时的反向电流。 I_R 会随温度升高而增大，使用二极管时要注意温度的影响。

1.1.3 二极管的测试及应用

1. 用指针型万用表测试二极管

将万用表置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 档。注意：指针型万用表的红表笔是连接到万用表内置电池的负极，黑表笔连接到电池的正极。用红、黑表笔分别对调测试二极管两次，合格的管子两次测量的阻值应当相差极大。所测得的大阻值称为反向电阻（二极管截止），反之则称为正向电阻（二极管导通）；反向电阻越大以及正向电阻越小，管子的质量越好。测量正向电阻时，与黑表笔相连的电极为二极管的正极，另一电极则为二极管的负极，如图 1-5 所示。一般来说，在相同的电阻档下测试不同二极管的正向电阻时，阻值较大的为硅管，阻值较小（通常指针指示在 3 大格以下）且不为 0 的为锗管。

若两次测得的阻值均很小或为 0，表明管子内部已经短路；若两次测得的阻值都极大，则表明管子内部已经断路或烧坏；若测得的反向电阻与正向电阻相差不大，则说明管子的反向漏电过大，失去了单向导电性。故这三种管子都不能再使用。

对锗二极管来说，由于其反向电流（相对硅管）较大，以致有时无法判别其正、负极，此时可将万用表置于 $R \times 10$ 档进行测试，判别方法同上所述。

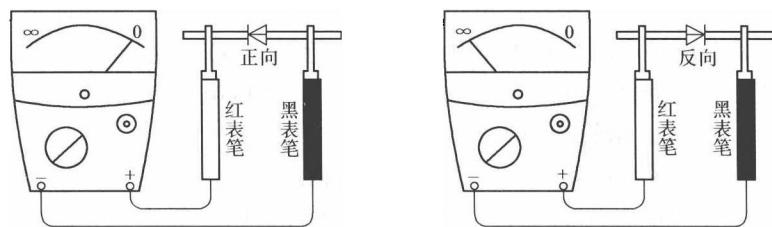


图 1-5 指针型万用表测试二极管

用数字型万用表测试二极管

在数字型万用表的测试笔中，红表笔连接万用表内置电池的正极，黑表笔连接内置电池的负极，与指针型万用表的表笔所连接的内置电池极性正好相反。

测试中，显示屏上显示的是二极管导通或截止时的电压值，以伏(V)或毫伏(mV)为单位。二极管导通时，所测出的是较小的正向导通电压：若显示的为 $0.500 \sim 0.700V$ （或 $600mV$ 左右），则被测管为硅管；若显示的为 $0.150 \sim 0.300V$ （或 $200mV$ 左右），则被测管为锗管。此时红表笔所连接的为二极管的正极，另一电极则为负极。二极管截止时，

反偏截止压降为“无穷大”，屏面显示为“1.”或“OL”。

若测试中显示为“0000”，说明管子内部短路；若两次测试均显示为“1.”或“OL”，表明管子内部已经断路或烧坏。

2. 二极管的应用

利用二极管的单向导电性，可以在电子电路中组成整流、检波、开关、限幅、钳位、保护等多种应用电路。以下介绍应用广泛的整流电路和检波电路。

(1) 整流电路 将低频的交流电变换为直流电的电路称为整流电路。整流电路有多种形式，下面介绍最简单的单相半波整流电路。

图 1-6a 所示的单相半波整流电路由整流二极管 VD 组成，电源变压器 T 提供了整流电路的输入交流电压 u_2 ，在负载 R_L 上得到整流电路的输出电压 u_o ， u_2 、 u_o 的参考极性如图中所示。

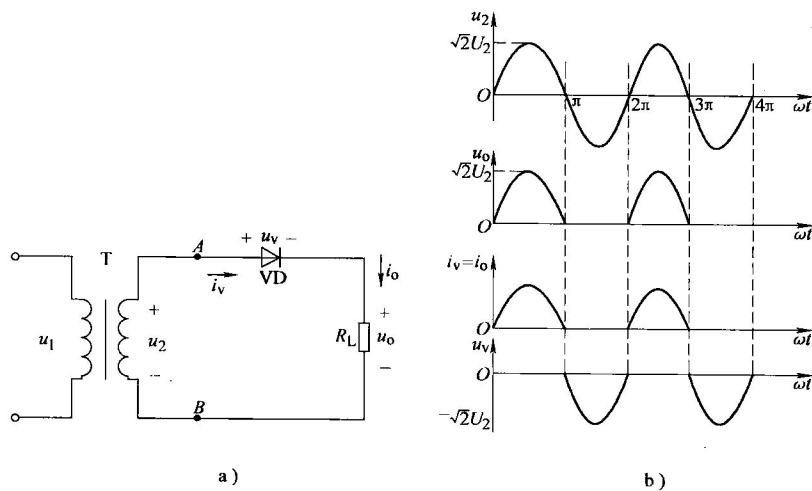


图 1-6 单相半波整流电路与波形图

a) 电路 b) 波形

在 u_2 的正半周，A 端电位高于 B 端电位，二极管正向偏置导通，通过二极管的正向电流 i_v 从 A 端经 VD、 R_L 到 B 端形成回路。若忽略二极管的正向压降（它相当于一个闭合的开关），在 R_L 上得到的正向电压 $u_o = u_2$ ，并随输入电压而变化。

在 u_2 的负半周，A 端电位低于 B 端电位，二极管反向偏置截止（它相当于一个断开的开关），电路中无电流通过，输出电压 $u_o = 0$ 。二极管承受的反向电压 $u_v = u_2$ ，其最大值为输入交流电压 u_2 的峰值 $\sqrt{2}U_2$ 。

可见，在输入交流电压的每个周期内，电路都输出一个正向脉动（大小变化）的直流电压，而每个周期内只有半个周期有输出，故称之为半波整流。有关的波形如图 1-6b 所示。

可以证明，半波整流电路输出的直流电压的平均值为

$$U_O = 0.45U_2 \quad (1-1)$$

式中的 U_2 为交流电压 u_2 的有效值。即输出电压是输入的交流电压有效值的 0.45 倍。

整流二极管一般选用面接触型的硅二极管，它具有工作电流大、反向击穿电压高、允许的工作温度较高等特点。国产的整流二极管的型号有 2CZ、2DZ 等系列硅管，常见的进口整

流二极管有 1N4001、1N5401 等型号。整流电路是直流电源的重要组成部分（参见直流电源章节）。

(2) 检波电路 将调制在高频信号中的低频信号提取出来的电路称为检波电路。一个典型的检波电路及相关信号波形如图 1-7 所示，其中的 VD 为检波二极管， C_2 为高频滤波电容， R 为负载电阻， C_3 为低频耦合电容。

检波电路的输入信号是调制有低频信号的高频调幅波，由于检波二极管的单向导电性，通过二极管后的信号波形只有正半周，由 C_2 、 R 组成的高频滤波器又将其中的高频信号滤除，所“检出”的低频信号则由 C_3 耦合到下一级低频放大电路再放大。

检波一般是对高频小信号而言，其特点是工作频率高，所处理的信号幅度小，要求检波二极管的频率特性好、正向压降小、效率高，通常采用点接触型的锗二极管。国产的检波二极管的型号主要有 2AP 系列锗管，常见的进口检波二极管有 1N60 等型号。检波电路广泛应用于音频、视频、图像处理电路以及各种通信设备中。

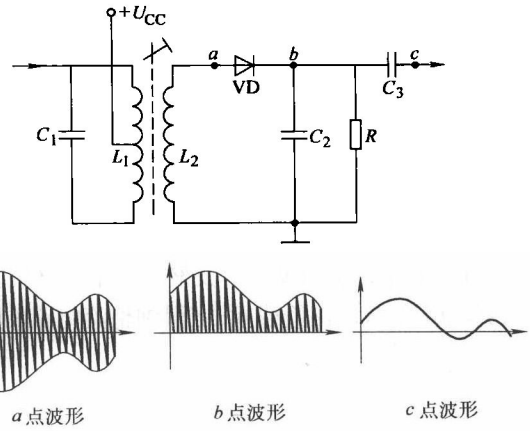


图 1-7 检波电路及相关波形

1.1.4 特殊半导体二极管

二极管的种类很多，从功能来看，除上述的普通二极管外，还有专供特殊用途的二极管，下面介绍其中常用的稳压二极管、发光二极管、光敏二极管。

1. 稳压二极管

(1) 稳压二极管的特性 稳压二极管又称为齐纳二极管，简称稳压管或齐纳管，是一种用于稳压（限压）、工作在反向击穿状态的硅二极管，其用特殊工艺制作，外形与普通二极管相似。稳压二极管的符号、典型应用电路和伏安特性曲线如图 1-8 所示。

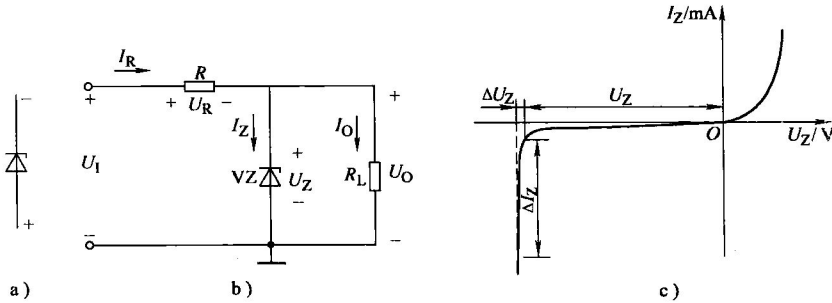


图 1-8 稳压二极管

a) 符号 b) 典型应用电路 c) 伏安特性曲线

从特性曲线可看出，稳压管的正向特性相当于一个正偏的硅二极管，而反向特性曲线在击穿区域比普通二极管更陡直，当反向电流在很大范围内变化时，稳压管两端的电压几乎稳定不变，稳压管工作在反向击穿状态，因而能在电路中起到稳压作用。稳压管的反向击穿是可逆的，只要反向电流不超过其允许的最大稳定电流，就可以长期工作而不致损坏。在实际应用电路中，除了保证稳压管要处于反向击穿状态外，还必须与其串联适当的限流电阻。

稳压二极管的主要参数有稳定电压 U_Z 、稳定电流 I_Z 和最大稳定电流 I_{Zmax} 等。稳压管工作时通过的电流不允许超过其最大稳定电流 I_{Zmax} 。

稳压管的检测和普通二极管相同。所要注意的是，如果万用表的内置电池电压（如 $\times 10k$ 档的内置电池为 9V，有的甚至更高）过高，在测试低稳压值的稳压管反向电阻时，稳压管可能会处于反向击穿状态，因而所测出的反向电阻不会极大，此时应将万用表置于低压（如 $\times 1k$ 档）状态来测试，所得结果才正确；此外，稳压管的正向电阻一般都明显大于功率相当的普通二极管，这也是稳压管检测中的特点。

(2) 稳压管典型应用电路 如图 1-8b 所示， U_1 为输入的直流电压，且 $U_1 = (2 \sim 3) U_Z$ ， R 为限流电阻，稳压管 VZ 与负载 R_L 并联（该电路又称为并联型稳压电路）。由于稳压管工作在反向击穿状态，显然有 $U_0 = U_1 - I_R R_L = U_Z$ 。

当稳压电路的输入电压 U_1 升高（或负载电阻 R_L 增大），使输出电压 U_0 升高时，则稳压管两端电压 U_Z 上升，电流 I_Z 将迅速增大，流过 R 的电流 I_R 随之增大，导致 R 上的压降 U_R 增大，从而使输出电压 U_0 下降，保持了输出电压 U_0 的相对稳定。即有以下过程：

$$U_1 \uparrow (\text{或 } R_L \uparrow) \rightarrow U_0 \uparrow \rightarrow I_Z \uparrow \rightarrow I_R \uparrow \rightarrow U_R \uparrow \rightarrow U_0 \downarrow。$$

同理分析，当稳压电路的输入电压 U_1 下降（或负载电阻 R_L 减小），使输出电压 U_0 下降时，将有以下过程：

$$U_1 \downarrow (\text{或 } R_L \downarrow) \rightarrow U_0 \downarrow \rightarrow I_Z \downarrow \rightarrow I_R \downarrow \rightarrow U_R \downarrow \rightarrow U_0 \uparrow。$$

由此可见，不管是何种原因使输出电压 U_0 发生微小的变化，都会引起稳压管电流 I_Z 的很大变化，通过限流电阻 R 的电压调整作用，使输出电压 U_0 基本不变，实现稳压功能。

受到最大稳定电流 I_{Zmax} 的限制，稳压管应用电路能输出的电流比较小，而且稳压的精度较低，仅适用于对稳压要求不高的场合。

2. 发光二极管

发光二极管（LED）简称发光管，是一种直接把电能转换成光能的发光器件，正向导通时能发出一定波长（颜色）的光，广泛应用于各种显示、指示电路。其核心是一个由半导体化合物（如磷化镓、砷化镓等）制成的 PN 结，正向导通电压在 1.5 ~ 3.0V 之间，工作电流约 5 ~ 20mA。发光二极管使用时必须正向偏置，同时要串接适当的限流电阻，避免工作时电流过大导致管子损坏。普通发光二极管的外形及符号如图 1-9 所示。

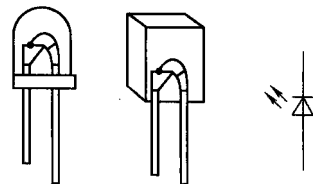


图 1-9 发光二极管的外形及符号

检测发光二极管时，要求万用表的内置电池为 3V 以上，一般选择 $R \times 10k$ 档，合格管子的正向电阻在 $20k\Omega$ 左右，反向电阻无穷大。灵敏度高的管子，在测正向电阻时可看到管

芯发光。

3. 光敏二极管

光敏二极管也称光电二极管，是一种常用的光电转换器件，广泛应用于遥控、测光及光电池等方面。光敏二极管也是由 PN 结构成，工作在反向偏置状态，它的管壳上有一个透镜封闭的窗口，入射光通过透镜照射在 PN 结上，反向电流随光照强度的增加而增大，实现将光信号转换为电信号的功能。光敏二极管的结构及符号如图 1-10 所示。

检测光敏二极管时，首先封闭光敏二极管的窗口（遮光），用测试普通二极管的方法判断管子的正、负极，其正向电阻略大于普通二极管，反向电阻（暗电阻）无穷大；当受到光线照射时，反向电阻随光强增大而显著变小，而正向电阻与光照基本无关。若正、反向电阻都很小或都很大，则表明管子已经击穿或内部断路。

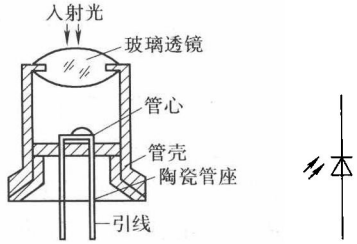


图 1-10 光敏二极管的结构及符号

思考题

- (1) 硅二极管与锗二极管有何区别？
- (2) 如何判定二极管的极性和质量？
- (3) 正常工作时的稳压管、发光管、光敏管应该如何偏置电压（正偏或反偏）？
- (4) 如果将图 1-6 所示电路中的二极管极性对调，输出电压有何变化？
- (5) 将图 1-8a 中的稳压管极性对调，电路能稳压吗？

1.2 晶体管

知识点

- (1) 晶体管的基本特性、工作状态和主要参数。
- (2) 晶体管三种工作状态的偏置条件及判断。

技能点

- (1) 掌握晶体管的测试及选用方法。
- (2) 熟练判断晶体管的工作状态。

除了半导体二极管外，还有一类非常重要的半导体器件，即半导体晶体管。半导体晶体管主要分为两大类：双极型晶体管（BJT）和场效应晶体管（FET）。其中，双极型晶体管简称晶体管，在实际应用中常被称作“三极管”，本书中一律使用简称“晶体管”。

为了能对晶体管有个感性认识，先对一个放大电路的实验进行初步分析。

在图 1-11 中，用双踪示波器同时观测电路的输入信号 u_i 和输出信号 u_o 的波形，实验结果如图中所示，当输入正弦波信号 u_i （1kHz、10mV）时，电路输出一个幅度很大的正弦波信号 u_o （1kHz、1200mV），输出信号是输入信号的 120 倍。这表明电路将输入信号放

大了。

电阻、电容均属无源的线性元件，不具备放大能力，显然，电路中起放大作用的核心元件是晶体管 VT。为了能正确使用晶体管，必须对晶体管有个基本认识。

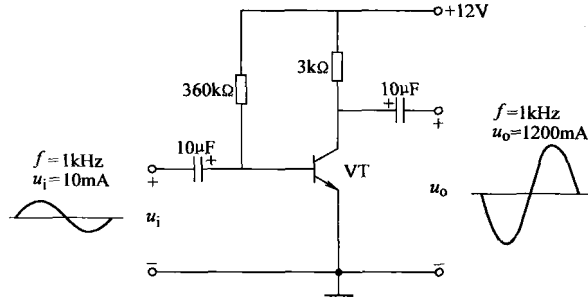


图 1-11 放大电路的实验演示

1.2.1 晶体管简介

晶体管的种类很多，按材料分有硅管和锗管；按工作频率分有高频管、低频管；按功率分有小、中、大功率管；按工作状态分有放大管和开关管；按结构分有 NPN 和 PNP 两种类型。

晶体管的内部结构示意图及符号如图 1-12 所示。NPN 和 PNP 两种类型晶体管的管芯均由三层半导体构成，各层依次分别称为集电区、基区和发射区；三个区之间构成的两个 PN 结分别称为集电结、发射结；每个区所引出的三个电极分别称为集电极 c、基极 b 和发射极 e。

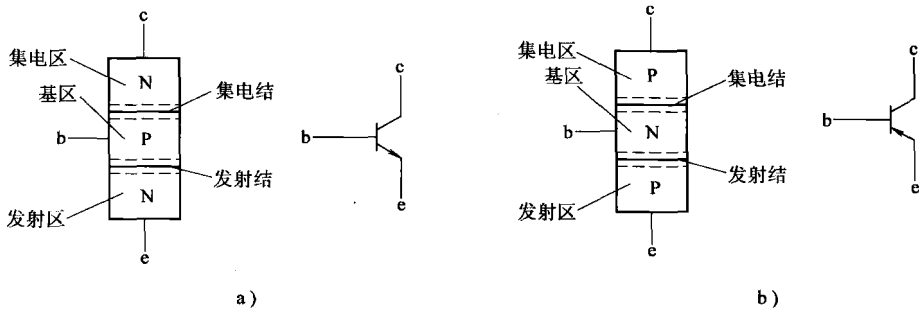


图 1-12 晶体管的内部结构及符号

a) NPN 型 b) PNP 型

晶体管结构的工艺特点是：发射区掺杂浓度很高，基区很薄（微米数量级）且掺杂浓度低，集电结的面积远大于发射结的面积。这是晶体管具有放大作用的内部条件，也是它的三个电极不能混淆使用的原因。

晶体管符号中的箭头用于指示晶体管正向电流的方向，显然，两种类型晶体管的正向电流方向截然不同。一些常见晶体管的外形如图 1-13 所示。

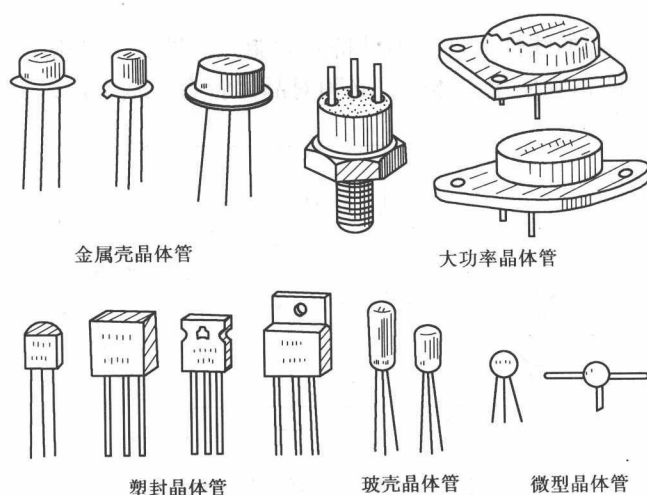


图 1-13 常见的晶体管外形

1.2.2 晶体管的电流放大作用

晶体管的结构决定了具有放大作用的内部条件，而实现放大作用还要具备相应的外部条件，即外加的偏置电压必须使晶体管满足：发射结正偏、集电结反偏，如图 1-14 所示。现以 NPN 型硅管为例，对图中晶体管的各电极电流进行测试，各电极电流方向如图中所示。

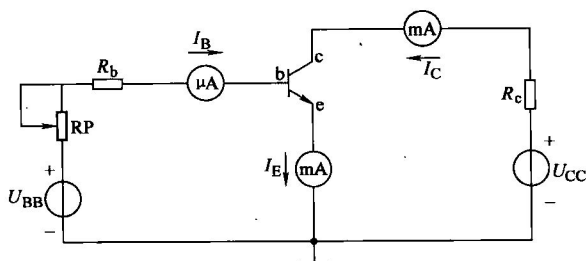


图 1-14 晶体管各极电流关系测试电路

调节可变电阻 RP，由各个电流表可测得相应的 I_B 、 I_C 、 I_E ，实测的数据如表 1-1 所示。

表 1-1 实验测试数据

I_B/mA	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
I_C/mA	<0.001	0.70	1.50	2.30	3.10	3.95
I_E/mA	<0.001	0.72	1.54	2.36	3.18	4.05

分析实验数据，可以看出：

(1) 三个电流符合基尔霍夫电流定律，即

$$I_E = I_B + I_C \quad (1-2)$$

基极电流 I_B 很小，一般可忽略 I_B 不计，因此有 $I_E \approx I_C$ 。