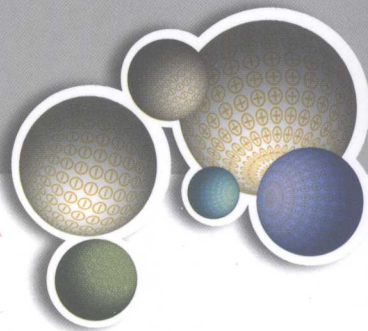
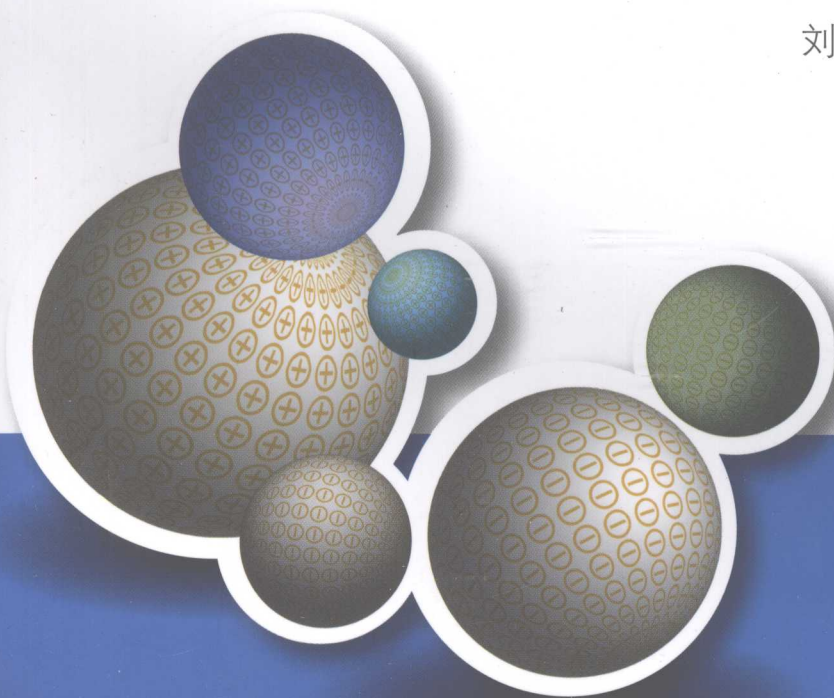


“十一五”高等院校规划教材



电子技术 实用教程

刘海英 戴丽萍 主编



北京航空航天大学出版社

“十一五”高等院校规划教材

电子技术实用教程

刘海英 戴丽萍 主编

（CIP）数据

北京：机械工业出版社，2007.11

ISBN 978-7-81134-311-9

1. 电… II. 刘… III. 电子技术—高等学校—教材

IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第142482号

© 2007, 北京航空航天大学出版社, 版权所有。

未经许可, 不得以任何形式复制或传播本书内容。

电子技术实用教程

主编 戴丽萍 刘海英

责任编辑 宁 贵

北京航空航天大学出版社

北京市昌平区学院路27号(100022) 发行部电话: 010-82317081 传真: 010-82328028

http://www.buaapress.com.cn E-mail: buapress@263.net

北京市版权局印刷厂印刷 北京航空航天大学出版社

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 18.75 字数: 375千字

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是依据国家教育部颁布的“电子技术基础”课程教学要求编写的。

全书分为9章,主要内容有:半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、放大电路中的反馈、直流电源、数字电路基础知识、组合逻辑电路、触发器及时序逻辑电路、转换电路等。

本书内容适当,教材篇幅与课程学时相适应,突出工程应用,加强理论与实践的结合,适用于38~55学时。

本书是高等工科院校非电类本科教材,广泛适用于机械、化工、制药、焊接、材控、光信等多种非电类专业的电子技术基础教学,也适用于机电、自控、电气及计算机等电类专业的专科、高等职业教育和成人教育的电子技术基础教学,同时也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实用教程/刘海英,戴丽萍主编. —北京:
北京航空航天大学出版社, 2007.11
ISBN 978-7-81124-211-9

I. 电… II. 刘… III. 电子技术—高等学校—教材
IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 145425 号

© 2007, 北京航空航天大学出版社, 版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书内容。
侵权必究。

电子技术实用教程

刘海英 戴丽萍 主编

责任编辑 贾 宁

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×960 mm 1/16 印张:16.75 字数:375 千字

2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-211-9 定价:24.00 元

前言

进入 21 世纪以来,知识的膨胀和不断更新,给学习者带来了巨大的压力,特别对于高校非电类专业的学生,一本深入浅出、实用性强的电子技术基础教材是十分必要的。本书的编写就考虑到了这种情况,在编写的过程中,力求文字简明,概念清晰,条理清楚,讲解到位,插图规范,使之易教易学。

本书是遵照原国家教委“高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求”(四年制本科)的精神编写的,共有两大部分。

第一部分是模拟电子技术,其中:

第 1 章主要介绍几种常见的半导体器件,主要是器件本身,没有涉及电路;

第 2 章是基本放大电路,包括三极管放大电路、功率放大电路、差分放大电路等,这部分重在让学生掌握放大电路的原理;

第 3 章是集成运算放大器,重在放大电路的应用;

第 4 章是放大电路中的反馈,包括负反馈放大电路和正反馈放大电路;

第 5 章是直流电源。

第二部分是数字电子技术,其中:

第 6 章介绍的是数字电路基础知识,包括逻辑函数基础知识和逻辑门电路,其中逻辑门电路重点强调外部特性;

第 7 章是组合逻辑电路,包括小规模和中规模的组合电路分析和设计;

第 8 章主要是时序逻辑电路的分析和设计;

第 9 章是数字信号和模拟信号相互转换的电路。

本书各章节均配有适量的习题,供学生课后复习巩固使用。教学中要注意各个教学环节的配合,必须切实安排好习题课与实验课,这对于培养应用型人才尤为重要。

参加本书编写的有刘海英(第 1~5 章)、戴丽萍(第 6~9 章)、陈柳(6.2.4 小节、6.3 节和 8.1 节)、郑宽磊负责了本书部分图表的绘制,全书由武汉工程大学电子学教研室汪学典副教授统一审稿。武汉工程大学电子学教研组在本书的编写过程中提出了很多宝贵意见。胡卫兵、胡立荣、李海琦、陈新华、张虎、胡金丽、余映红、余峰等同学也做了部分工作。在此向他们一并表示最衷心的感谢。

由于时间仓促且作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请同行专家和读者予以指正。

作者

2007 年 4 月 于武汉

1.1 半导体二极管	1
1.1.1 PN 结的形成及特性	1
1.1.2 半导体二极管的结构、特性及参数	3
1.1.3 半导体二极管的应用	5
1.1.4 几种特殊的二极管	6
1.1.5 如何用万用表判别二极管的极性及性能	8
1.2 晶体三极管	9
1.2.1 晶体三极管的结构和分类	9
1.2.2 晶体三极管的特性	10
1.2.3 晶体三极管的主要参数	12
1.2.4 晶体三极管性能、管脚和类型的检测	14
1.3 场效应管	15
1.3.1 结型场效应管	15
1.3.2 绝缘栅型场效应管的工作原理	17
1.3.3 场效应三极管的参数和型号	21
习 题	21
2 基本放大电路	
2.1 单级共射极放大电路	25
2.1.1 三极管组成的基本共射放大电路	25
2.1.2 共射放大电路的工作原理	26
2.2 放大电路的基本分析方法	27

目 录

2.2.1 图解分析法	27
2.2.2 微变电路等效法	29
2.3 放大电路的工作点稳定问题	34
2.3.1 温度对静态工作点的影响	34
2.3.2 分压式偏置电路	35
2.4 共集电极放大电路	36
2.4.1 静态分析	36
2.4.2 动态分析	37
2.5 场效应管放大电路	39
2.5.1 共源组态基本放大电路及静态分析	39
2.5.2 共源极场效应管放大电路的动态分析	40
2.6 多级放大电路	41
2.6.1 多级放大电路的耦合方式	41
2.6.2 多级放大电路的分析	43
2.7 差分式放大电路	45
2.7.1 直接耦合放大电路的零点漂移	45
2.7.2 差分式放大电路	46
2.7.3 差分式放大电路的分析计算	47
2.8 功率放大电路	49
2.8.1 功率放大电路的特点	50
2.8.2 互补对称功率放大电路	51
习 题	53
3 集成运算放大电路	
3.1 集成运算放大电路简介	63
3.1.1 电路的说明	63
3.1.2 主要参数	64
3.1.3 理想运算放大器及其分析依据	65
3.2 信号的运算电路	65
3.2.1 比例运算电路	65
3.2.2 加减法运算电路	66
3.2.3 积分与微分运算电路	67
3.3 信号的处理电路	69
3.3.1 有源滤波电路	69

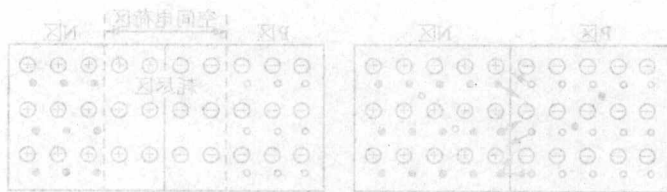
3.3.2 电压比较器	71
3.4 使用集成运放注意的问题	73
3.4.1 选用元件	73
3.4.2 消 振	74
3.4.3 调 零	74
3.4.4 保 护	74
3.4.5 扩大输出电流	74
习 题	74
4 放大电路中的反馈	80
4.1 反馈的基本概念和分类	80
4.1.1 反馈的基本概念和一般表达式	80
4.1.2 反馈的类型及判别	82
4.2 典型的四种负反馈组态及分析	83
4.2.1 电压串联负反馈及其分析	83
4.2.2 电压并联负反馈及其分析	84
4.2.3 电流串联负反馈及其分析	84
4.2.4 电流并联负反馈及其分析	85
4.3 负反馈对放大电路性能的影响	86
4.3.1 稳定放大倍数	86
4.3.2 对输入电阻的影响	86
4.3.3 对输出电阻的影响	87
4.3.4 扩展频带	88
4.3.5 减小非线性失真	89
4.4 正弦波振荡电路	89
4.4.1 概 述	90
4.4.2 RC 正弦波振荡电路	91
4.4.3 LC 正弦波振荡电路	93
4.4.4 石英晶体振荡电路	96
习 题	96
5 直流电源	102
5.1 直流电源的组成	102
5.2 整流电路	102

5.3 滤波电路	104
5.3.1 电容滤波电路	104
5.3.2 其他形式滤波电路	106
5.4 稳压电路	107
5.4.1 稳压二极管稳压电路	107
5.4.2 串联型稳压电路	109
习 题	112
6 数字电路基础知识	
6.1 数制和码制	117
6.1.1 概 述	117
6.1.2 码 制	120
6.2 逻辑函数基础	121
6.2.1 逻辑函数及其表示方法	122
6.2.2 逻辑函数中的公式和定理	124
6.2.3 逻辑函数公式化简	127
6.2.4 卡诺图化简	130
6.3 逻辑门电路	138
6.3.1 由分立器件组成的简单门电路	138
6.3.2 集成逻辑门	145
6.3.3 集成 TTL 门电路	147
6.3.4 集成 CMOS 门电路	151
习 题	156
7 组合逻辑电路	
7.1 组合逻辑电路的分析和设计	159
7.1.1 组合逻辑电路的特点	159
7.1.2 组合逻辑电路的分析	159
7.1.3 组合逻辑电路的设计	161
7.2 常用集成组合逻辑器件及其应用	162
7.2.1 编码器	162
7.2.2 译码器	168
7.2.3 数据选择器	174
7.2.4 加法器	176

7.2.5 数值比较器	178
7.3 组合逻辑电路中的竞争冒险	180
7.3.1 冒险现象的识别	181
7.3.2 消除冒险现象的方法	182
习 题	183
8 触发器及时序逻辑电路	
8.1 双稳态触发器	187
8.1.1 概 述	187
8.1.2 基本 RS 触发器	189
8.1.3 同步 RS 触发器	190
8.1.4 主从触发器	195
8.1.5 边沿触发器	201
8.1.6 不同逻辑功能触发器间的相互转换	204
8.2 时序逻辑电路	205
8.2.1 时序逻辑电路的概述	205
8.2.2 同步时序逻辑电路的分析	207
8.2.3 同步时序逻辑电路的设计	210
8.2.4 计数器	214
8.2.5 寄存器	218
8.3 脉冲单元电路	221
8.3.1 概 述	221
8.3.2 单稳态触发器	222
8.3.3 无稳态触发器	224
8.3.4 施密特触发器	224
8.3.5 555 定时器及其应用电路	228
习 题	232
9 A/D 与 D/A 转换电路	
9.1 概 述	238
9.1.1 D/A、A/D 转换器的概念	238
9.1.2 D/A、A/D 转换器的实际举例	238
9.2 D/A 转换电路	239
9.2.1 D/A 转换器的基本原理和转换特性	239

目 录

9.2.2	二进制权电阻网络 D/A 转换器	239
9.2.3	R-2R 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	240
9.2.4	D/A 转换器的主要参数	241
9.2.5	集成 D/A 转换器 DAC0808 及应用	242
9.3	A/D 转换电路	242
9.3.1	A/D 转换的一般步骤	243
9.3.2	并联比较型 A/D 转换器	244
9.3.3	逐次逼近型 A/D 转换器	245
9.3.4	双积分型 A/D 转换器	247
9.3.5	集成 A/D 转换器	247
9.3.6	A/D 转换器的主要参数	248
习 题		249
附录 A	美国标准信息交换码 (ASCII)	252
附录 B	国产半导体集成电路型号命名 (GB 3430—1982)	253
附录 C	常用逻辑符号对照表	254
参考文献		256



1

半导体器件

图 1.1 PN 结的形成

半导体器件是组成各种电子电路的核心元件,本章主要介绍半导体二极管、晶体三极管及场效应管。这些器件都是由半导体材料构成的,也是目前应用最为广泛的半导体器件。它们的基本结构、工作原理、特性及参数是分析和设计电子电路的基础。

1.1 半导体二极管

1.1.1 PN 结的形成及特性

1. PN 结的形成

在本征半导体硅(或锗)中掺入五价元素(如磷),将生成大量的自由电子,构成 N 型半导体;如果掺入三价元素(如硼),将生成许多空穴,构成 P 型半导体。单是一块 N 型或 P 型半导体在电路中的作用,如同一个电阻。若在一片半导体材料上用不同的掺杂工艺形成 P 型半导体和 N 型半导体两部分,于是在两种半导体交界面上就形成了 PN 结,如图 1.1(a)所示。由于 P 区的多数载流子是空穴,少数载流子是电子;N 区多数载流子是电子,少数载流子是空穴,这就使交界面两侧明显地存在两种载流子的浓度差。因此,N 区的电子必然越过交界面向 P 区扩散,并与 P 区交界面附近的空穴复合而消失,在 N 区的一侧留下了一层不能移动的施主正离子;同样,P 区的空穴也越过交界面向 N 区扩散,与 N 区交界面附近的电子复合而消失,在 P 区的一侧留下一层不能移动的受主负离子,如图 1.1(b)所示。扩散的结果,使交界面两侧出现了由不能移动的带电离子组成的空间电荷区,因而形成了一个由 N 区指向 P 区的电场,称为内电场。随着扩散的进行,空间电荷区加宽,内电场增强。由于内电场的作用是阻碍多数载流子(以下简称多子)扩散,促使少量载流子(以下简称少子)漂移,所以,当扩散运动与漂移运动达到动态平衡时,将形成稳定的空间电荷区,称为 PN 结。由于空间电荷区内缺少载流子,所以又称 PN 结为耗尽层或高阻区。

图 1.1 PN 结的形成 (a)

图 1.1 PN 结的形成 (b)

1 半导体器件

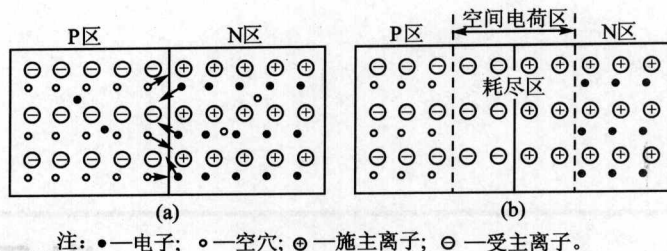


图 1.1 PN 结的形成

2. PN 结的特性

(1) 单向导电性

在 PN 结两端加上正向电压,即 P 区接电源正极, N 区接电源负极,简称正向偏置或正向运用,如图 1.2(a)所示。此时,外加电源产生外电场的方向与内电场的方向相反。在外电场的作用下, P 区中的多子(空穴)进入空间电荷区,与其中的负离子复合; N 区中的多子(自由电子)进入空间电荷区,与其中的正离子复合。结果使交界面上的正负离子数大量减少,空间电荷区变窄,内电场被削弱。于是扩散运动超过漂移运动, PN 结两侧的多子能通畅地越过 PN 结而形成较大的正向电流, PN 结呈现低阻导电状态。正向电流随外加电压的增加按指数规律上升。正向电流包括空穴流和电子流两部分。它们的运动方向相反,但由于空穴和电子带有不同极性的电荷,其电流方向仍然一致,即由 P 区指向 N 区。

在 PN 结上加反向电压,即 P 区接电源负极, N 区接正极,简称反向偏置或反向运用,如图 1.2 (b)所示。此时,外电场的方向和内电场的方向相同。这就导致阻挡层变厚,使多子扩散运动更加难以进行,而只有少数载流子可以穿越 PN 结形成由 N 区流向 P 区的反向电流。由于少子浓度很低,因此,这个电流很小,常称为反向饱和电流。可见,在反向电压作用下, PN 结呈现高阻、近似于不导电状态。

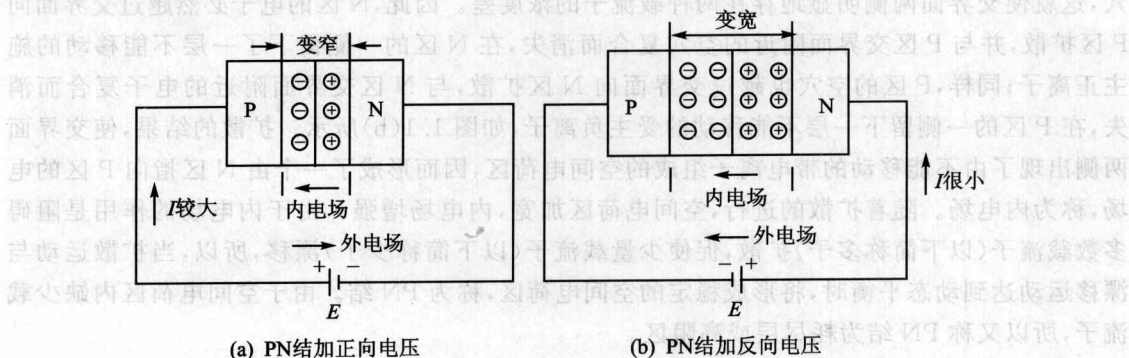


图 1.2 PN 结的特性

综上所述,PN 结加正向电压时导电(或称导通),加反向电压时不导电(或称截止)。即 PN 结具有单向导电性,导电方向从 P 到 N。

(2) 反向击穿特性

当 PN 结上加的反向电压增大到一定数值时,反向电流突然剧增,这种现象称为 PN 结的反向击穿。反向击穿可分为雪崩击穿和齐纳击穿两类。

① 雪崩击穿。当反向电压较高时,PN 结的内电场很强,使得在 PN 结中做漂移运动的少数载流子获得很大的动能。当它与 PN 结中的原子发生直接碰撞时,将原子电离,产生新的“电子—空穴”对。这些新的“电子—空穴”对,又被强电场加速再去碰撞其他原子,产生更多的“电子—空穴”对。如此连锁反应,使 PN 结中的载流子数目剧增,并在反向电压作用下做漂移运动,形成很大的反向电流,这种击穿称为雪崩击穿。显然雪崩击穿的物理本质是磁致电离。

② 齐纳击穿。齐纳击穿通常发生在掺杂浓度很高的 PN 结内。由于掺杂浓度很高,PN 结很窄,这样即使施加较小的反向电压,结层中的电场仍很强。在强电场作用下,会强行促使 PN 结内原子的价电子从共价键中拉出来,形成“电子—空穴”对,从而产生大量的载流子。它们在反向电压的作用下,形成很大的反向电流,出现了击穿。显然,齐纳击穿的物理本质是场致电离。

采取适当的掺杂工艺,将硅 PN 结的雪崩击穿电压可控制在 $8\sim 1000\text{ V}$,而齐纳击穿电压低于 5 V 。在 $5\sim 8\text{ V}$ 之间两种击穿可能同时发生。

1.1.2 半导体二极管的结构、特性及参数

1. 半导体二极管的结构

在一个 PN 结的两端加上电极引线并用外壳封装起来,就构成了半导体二极管。按照内部结构的不同,二极管通常有以下几种类型。

① 点接触型二极管。结构如图 1.3(a)所示,点接触型二极管(一般为锗管)的 PN 结面积很小(结电容小),工作频率高,适用于高频电路和开关电路。

② 面接触型二极管。结构如图 1.3(b)所示,面接触型二极管(一般为硅管)的 PN 结面积很大(结电容大),工作频率低,适用于大功率整流等低频电路中。

③ 硅平面开关管。结构如图 1.3(c)所示,它是用制造平面管的工艺制成的。结面积小的管子,结电容小,适用于脉冲数字电路中作开关管;结面积大的管子,结电容大,可通过较大电流,适用于大功率整流。

二极管的图形符号如图 1.3(d)所示,三角箭头的方向表示其导电方向。

例如二极管 2CW8,“2”表示二极管,“C”表示采用 N 型硅材料为基片,“W”表示稳压管,“8”为产品性能序号。

1 半导体器件

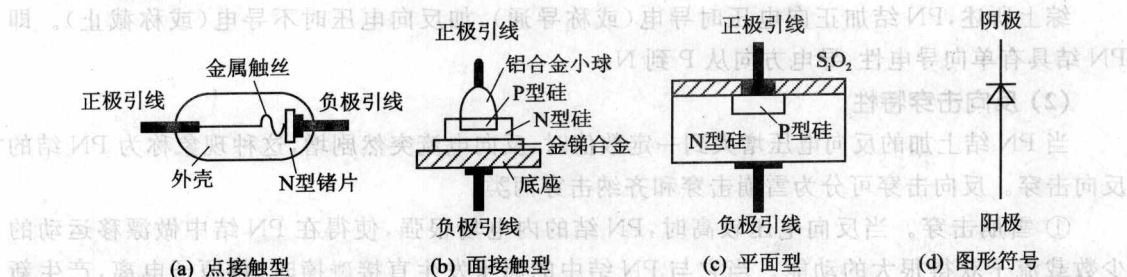


图 1.3 二极管的结构示意图和符号

2. 半导体二极管的伏安特性

二极管就是一个 PN 结, 所以它必然具备 PN 结的特性, 那就是单向导电性, 通常用它的伏安特性来描述, 所谓伏安特性就是外加到二极管两端的电压与流过二极管的电流的关系曲线。它可以通过实验的方法测绘出来, 也可直接用晶体管特性图示仪显示出来。典型的硅二极管伏安特性曲线如图 1.4 所示。

(1) 正向特性

当二极管加上很低的正向电压时, 外电场还不能克服 PN 结内电场对多数载流子扩散运动所形成的阻力, 故正向电流很小, 二极管呈现很大的电阻。当正向电压超过一定数值即死区电压后, 内电场被大大削弱, 电流增长很快, 二极管电阻变得很小。死区电压又称阈值电压, 硅管约为 0.5 V, 锗管约为 0.1 V。二极管正向导通时, 硅管的压降一般为 0.5~0.7 V, 锗管则为 0.1~0.3 V。

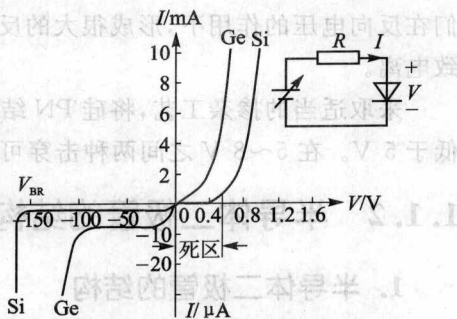


图 1.4 二极管的伏安特性

(2) 反向特性

二极管加上反向电压时, 由于少数载流子的漂移运动, 因而形成很小的反向电流。反向电流有两个特性, 一是它随温度的上升增长很快; 二是在反向电压不超过某一数值时, 反向电流不随反向电压改变而达到饱和, 故这个电流称为反向饱和电流。

当外加反向电压过高时, 反向电流将突然增大, 二极管失去单向导电性, 这种现象称为电击穿, 电击穿一般是可逆的。

二极管发生反向击穿后, 由于其反向电流显著增大, 可能导致 PN 结损坏, 这常称为热击穿, 热击穿是不可逆的。因此, 二极管工作时, 所加的反向电压值应小于其反向击穿电压。反向击穿电压 V_{BR} 是击穿时加在二极管两端的电压。

3. 半导体二极管的主要参数

半导体二极管的质量指标, 常用它的参数来表示。这些参数可以对二极管的特性和极限

应用条件进行定量描述,是设计电路时选择器件的依据。各种参数都可从半导体器件手册中查出,下面只介绍几个常用的主要参数。

① 最大整流电流 I_F 。最大整流电流是指二极管长时间使用时,允许流过二极管的最大正向平均电流。当电流超过这个允许值时,二极管会因过热而烧坏,使用时务必注意。

② 最大反向工作电压 V_R 。它是保证二极管不被击穿而得出的反向峰值电压,一般是反向击穿电压的 $1/2$ 或 $2/3$ 。

③ 反向饱和电流 I_S 。它是指在二极管上加反向峰值电压时的反向电流值。反向电流大,说明二极管的单向导电性能差,并且受温度的影响大。

1.1.3 半导体二极管的应用

二极管的应用范围很广,除用于整流外,还可用作检波、钳位、限幅、稳压、元件保护、温度补偿以及在数字电路中作开关元件等。还有一些具有特殊用途的二极管。本节先举几个例子,后面有关章节还会涉及到二极管的应用问题。

1. 整流电路

整流电路是二极管的主要应用之一,它是利用二极管的单向导电性把交流电变换成方向不变的脉动电压或电流,因而它是直流稳压电源的一个重要组成部分。

在整流电路中,由于二极管的正向电阻比负载电阻小得多,而反向电阻又比负载电阻大得多,因此,下面的讨论中均把二极管看成是理想二极管。

半波整流电路如图 1.5(a)所示。当输入电压 v_i 为正半周时,a 点电位高于 b 点电位,二极管处于正向偏置而导通,电阻 R_L 中有电流通过,输出电压 $v_o = v_i$,二极管相当于短路。当 u_i 为负半周时,a 点电位低于 b 点电位,二极管处于反向偏置而截止,电阻 R_L 中没有电流通过, $v_o = 0$,二极管相当于开路。

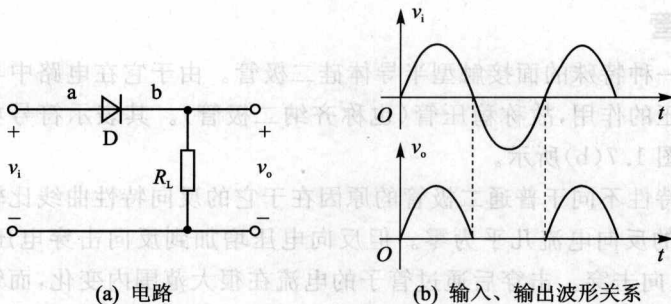


图 1.5 半波整流电路

从图 1.5(b)可见,半波整流电路输出电压为脉动值,方向不变,大小随时间而变,可以用平均值表示其大小。

1 半导体器件

2. 限幅电路

限幅电路能够限制输出电压的幅度,使其不超过某一数值,实质上它是一个波形钳位电路。

图 1.6 是一个二极管双向限幅电路,为分析方便起见,设图中二极管均为理想二极管, $v_i = V_m \sin(\omega t)$, 且 $V_m > E$ 。在 v_i 变化过程中,当 $|v_i| < E$ 时, D_1 和 D_2 都处于反向偏置而截止, $v_o = v_i$ 。当 $v_i > E$ 时, D_1 处于正向偏置而导通,使输出电压 v_o 保持在等于 E 值。当 $v_i < -E$ 时,二极管 D_2 导通,使输出电压 v_o 保持在等于 $-E$ 值。

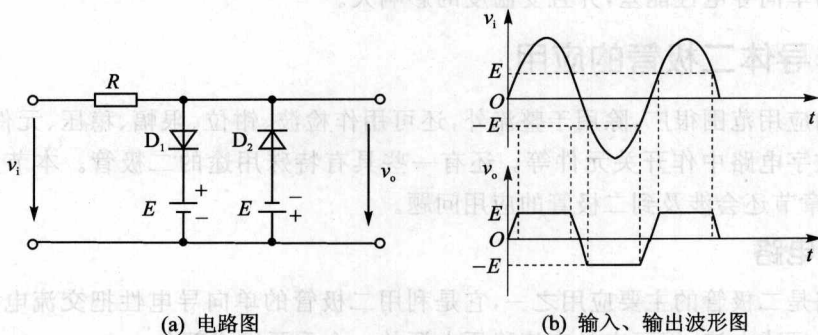


图 1.6 双向限幅电路

二极管的单向导电性,可以把它当作一个开关。二极管正偏时导通,相当于开关的接通;反偏时截止,相当于开关的断开。二极管的这种开关特性常用作对电路中电压的峰值进行限幅或钳位,也用来组成门电路。

1.1.4 几种特殊的二极管

1. 稳压二极管

稳压二极管是一种特殊的面接触型半导体硅二极管。由于它在电路中与适当数值的电阻配合后能起稳定电压的作用,故称稳压管(也称齐纳二极管)。其表示符号如图 1.7(a)所示,其伏安特性曲线如图 1.7(b)所示。

稳压管的伏安特性不同于普通二极管的原因在于它的反向特性曲线比较陡。当反向电压小于 V_Z 时,稳压管的反向电流几乎为零。但反向电压增加到反向击穿电压 V_Z 后,反向电流急剧增加,稳压管反向击穿。击穿后通过管子的电流在很大范围内变化,而管子两端的电压却变化很小,我们就是利用这种特性来进行稳压的。显然,稳压管的正常工作区域是在特性曲线的反向击穿区。稳压管与一般二极管不一样,它的反向击穿是电击穿,是可逆的。当去掉反向电压之后,稳压管又恢复正常。这一特性是由制造工艺来达到的。但是,如果反向电流超过允许范围,稳压管将因发生热击穿而损坏。

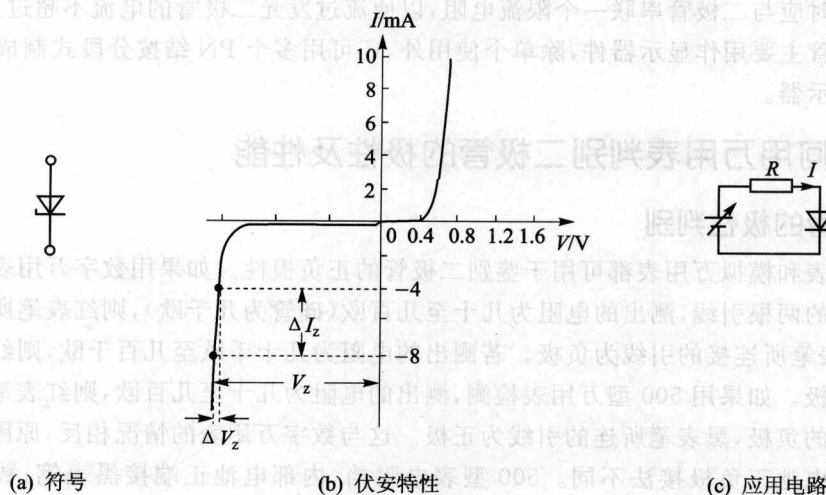


图 1.7 稳压二极管的符号及特性曲线

2. 光敏二极管

光敏二极管又称光电二极管,在其内部也有一个 PN 结。其特点是 PN 结的面积大,结深较浅,管壳上有透光的窗口,光敏二极管的图形符号如图 1.8(a)所示。

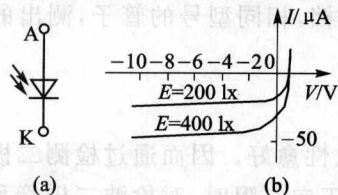


图 1.8 光敏二极管

光敏二极管工作在反向偏置下。当无光照射时,它的伏安特性和普通二极管一样,其反向电流很小,称为暗电流。当有光照时,半导体共价键中的电子获得了能量,产生的电子空穴对增多,反向电流增加,且在一定的反向电压范围内,反向电流随光照度量的增加而线性增加,特性曲线如图 1.8(b)所示。

利用光敏管做成的光电传感器,可以把非电信号转变为电信号,这样才能利用电子技术对非电量进行测量和控制。

3. 发光二极管

发光二极管(简称 LED)是用化学元素周期表中Ⅲ、Ⅳ族元素的化合物[例如,磷砷化镓(GaAsP)、磷化镓(GaP)等]制成。

发光二极管内部的基本单元仍是一个 PN 结。当外加正向电压时,P 区的空穴扩散到 N 区与 N 区中的电子复合,N 区中的电子扩散到 P 区与 P 区中的空穴复合。在电子与空穴复合的过程中,其中有一部分能量以光子的形式放出,因而使二极管发光。单个发光二极管的符号如图 1.9 所示,工作电流一般为几毫安至几



图 1.9 发光二极管的符号