

面向21世纪高等学校精品规划教材

MONIDIANZI
JISHU

模拟电子 技术

主 编 章彬宏 吴青萍
副主编 王 琳

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

TN01/104

2008

面向 21 世纪高等学校精品规划教材

模拟电子技术

主 编 章彬宏 吴青萍
副主编 王 琳

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书的主要内容包括：常用半导体器件、基本放大电路、放大电路中的负反馈、集成运算放大电路、功率放大电路、波形产生电路、直流稳压电源、频率变换电路、晶闸管及其应用、模拟电子电路读图及电子虚拟工作台 EWB 的应用等内容。本书每章配有各种类型的练习题，以便学生通过练习从各个角度理解和掌握相关知识，并培养学生利用相关知识解决实际问题的能力。

本教材可作为高等院校的电子、信息、电气、自动化及计算机等相关专业的教材，还可作为自学考试和工程技术人员的学习参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电子技术/章彬宏, 吴青萍主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2008. 1

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1388 - 2

I. 模… II. ①章…②吴… III. 模拟电路 - 电子技术 - 高等学校 - 教材
IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 007046 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 18.75

字 数 / 376 千字

版 次 / 2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2500 册

定 价 / 28.00 元

责任校对 / 张 宏

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前言

模拟电路是由电子元器件构成的具有一定功能的电路，它是各种电子设备的重要组成部分。因此，认真学习和牢固掌握模拟电子技术与技能，是学习各种电子技术专业知识的基础。

本书按照“保证基础，加强概念，精选内容，压缩篇幅，联系实际，便于自学（教学）”的原则，详细讲解模拟电路基础及应用技术。

（1）保证基础

本书是以模拟电子技术的基础知识为主线，对于模拟电路及组成电路中最常用的半导体器件作了较详细的介绍，这些基本知识的掌握，能为今后的进一步学习与提高打下良好的基础。

（2）加强概念

在介绍模拟电路及组成电路的电子元器件时，对于一些基本概念，书中均作了较简略通俗的介绍，以便让读者一目了然，这对电路原理的理解和读懂较复杂的电路都非常有益。

（3）精选内容

模拟电子技术包括的内容很多，涉及面也广。本书精选了当今模拟电子技术应用面较广而且最实用的内容，尤其是加重了集成电路模拟电子技术的比重。

（4）联系实际

本书设置了实训的内容，其目的就是加强实践能力的培养。在实训内容安排上，注重培养读者的实际动手能力和解决实际问题的能力，使上岗或岗位培训的人员获得模拟电子技术的基本知识和初步的实践训练。

（5）便于自学（教学）

本书在内容叙述上力求深入浅出，尽量避免繁琐的数学推导；在内容编排上力求简洁、形式新颖、目标明确，有利于促进读者的求知欲和提高学习的主动性。

本书由章彬宏、吴青萍任主编，王琳任副主编，钱金法担任主审。其中章彬宏编写了第4章、第7章；吴青萍编写了第6章、第8章及第2章2.6节；王琳编写了第1章；张慧敏

编写了第2章的2.1~2.5节、2.7节及第5章；朱小刚编写了第3章、第10章；刘翠梅编写了第9章和附录。全书由章彬宏负责统稿。

由于编者水平有限，书中难免有不妥甚至错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 常用半导体器件	1
1.1 半导体基本知识	1
1.2 半导体二极管	5
1.3 半导体三极管.....	10
1.4 绝缘栅型场效应管.....	17
1.5 实训 常用半导体器件识别与检测	22
本章小结	28
习题1	29
第2章 基本放大电路	32
2.1 共射极放大电路.....	32
2.2 共集电极电路与共基极电路.....	50
2.3 场效应管基本放大电路.....	54
2.4 多级放大电路.....	57
2.5 放大电路的频率特性.....	60
2.6 小信号调谐放大器.....	62
2.7 实训 基本放大电路仿真测试	70
本章小结	76
习题2	77
第3章 放大电路中的负反馈	81
3.1 反馈的基本概念.....	81
3.2 负反馈放大电路的组态和方框图表示法.....	85
3.3 负反馈对放大电路性能的影响.....	89
3.4 实训 负反馈放大器的 Multisim 仿真测试	94
本章小结	97
习题3	97



第4章 集成运算放大电路	100
4.1 直接耦合放大电路及问题	100
4.2 差分放大电路	101
4.3 集成运算放大器简介	107
4.4 集成运算放大器的应用	110
4.5 实训 集成运算放大器应用 Multisim 仿真测试	121
本章小结.....	126
习题4	126
第5章 功率放大电路	131
5.1 功率放大电路的特点与类型	131
5.2 互补推挽功率放大电路	132
5.3 集成功率放大器	139
5.4 实训 功率放大电路 Multisim 仿真实例	141
本章小结.....	145
习题5	145
第6章 波形产生电路	147
6.1 正弦波振荡器	147
6.2 非正弦波产生电路	160
6.3 集成函数发生器 8038 简介.....	163
6.4 实训 正弦波及非正弦波发生电路 Multisim 仿真实例	165
本章小结.....	168
习题6	168
第7章 直流稳压电路	172
7.1 整流电路	172
7.2 滤波电路	180
7.3 稳压电路	184
7.4 开关型稳压电路	190
7.5 实训 整流滤波电路的 Multisim 仿真测试	194
本章小结.....	196
习题7	196



第 8 章 频率变换电路	199
8.1 信息的传输过程	199
8.2 振幅调制与解调电路	202
8.3 角度调制与解调电路	213
8.4 混频电路与锁相环路	222
8.5 实训 50 型 AM/FM 收音机的安装与调试	227
本章小结	231
习题 8	232
第 9 章 晶闸管及其应用	234
9.1 晶闸管	234
9.2 单相可控整流电路	239
9.3 单结晶体管触发电路	243
9.4 晶闸管应用举例	248
9.5 实训 晶闸管应用电路测试	250
本章小结	253
习题 9	253
第 10 章 模拟电子电路读图	255
10.1 读图的一般方法	255
10.2 读图举例	256
本章小结	260
习题 10	260
附录 Multisim 2001 使用指南	262
部分习题参考答案	286
参考文献	286

第 1 章 常用半导体器件

半导体器件是近代电子学中的重要组成部分。由于半导体器件具有体积小、重量轻、使用寿命长、反应迅速、灵敏度高、工作可靠等优点而得到广泛的应用。本章主要介绍二极管、三极管及场效应管的基本结构、工作原理、特征曲线和主要参数等。

1.1 半导体基本知识

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。在自然界中属于半导体的物质很多，如锗、硅、砷化镓和一些硫化物、氧化物等，其中硅用得最广泛。

1.1.1 本征半导体

完全纯净而且具有晶体结构的半导体称为本征半导体。比较典型的本征半导体有硅和锗晶体，它们都是四价元素，最外层原子轨道上具有 4 个电子，称为价电子，如图 1-1 所示。每个原子的 4 个价电子不仅受自身原子核的束缚，而且还与周围相邻的 4 个原子发生联系，这些价电子一方面围绕自身的原子核运动，另一方面也时常出现在相邻原子所属的轨道上。这样，相邻的原子就被共有的价电子联系在一起，称为共价键结构。如图 1-2 所示。

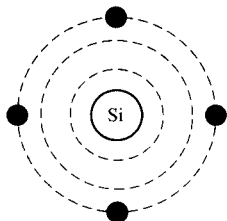


图 1-1 硅原子结构

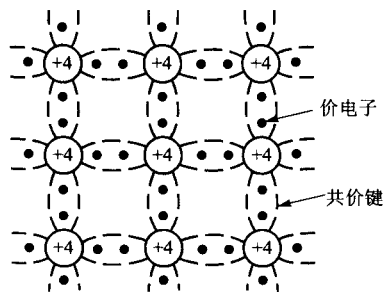


图 1-2 单晶体共价键结构

1. 本征激发

晶体原子间的共价键具有很强的结合力，在绝对温度为零度时，价电子不能挣脱共价键



的束缚,也就不能自由移动,所以共价键内的价电子又称为束缚电子。这样,本征半导体中虽有大量的价电子,但没有自由电子,此时半导体是不导电的。当温度升高或受光照射时,价电子不断从外界获得一定的能量,少数价电子因获得的能量较大而挣脱共价键的束缚,成为自由电子,同时原来的共价键的相应位置留下一个空位,这个空位称为“空穴”,如图1-3所示,其中A处为空穴,B处为自由电子。显然,自由电子和空穴是成对出现的,所以称它们为电子空穴对。我们把在热或光的作用下,本征半导体中产生电子空穴对的现象,称为本征激发。

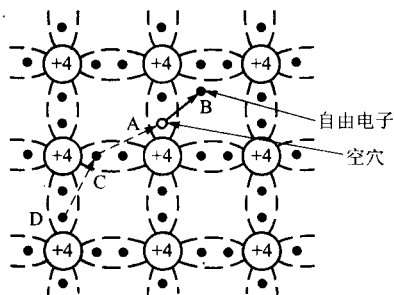


图1-3 本征激发产生电子和空穴及空穴的移动

2. 两种载流子

本征激发产生自由电子和空穴。当共价键中失去一个价电子出现一个空穴时,如图1-3中A处,与其相邻处于热运动状态的价电子很容易填补到这个空穴中来,使该价电子原来所在的共价键中出现一个空穴,如图1-3中C处,这样空穴便从A处移至C处;同样,邻近的价电子(图中D处)又可填补C处的空穴,空穴又从C处移到D处。因此,空穴可以在半导体中自由移动,实质上是价电子填补空穴的运动(二者运动方向相反)。在电场作用下,大量的价电子依次填补空穴的定向运动也形成电流。为了区别于自由电子的运动,我们把这种价电子的填补运动称为空穴运动,认为空穴是一种带正电荷的载流子,它所带电量与电子相等,符号相反。

可见,在本征半导体中存在两种载流子:带负电荷的电子载流子和带正电荷的空穴载流子。

在本征激发产生电子空穴对的同时,自由电子在运动中有可能和空穴相遇,重新被共价键束缚起来,电子空穴对消失,这种现象称为“复合”。显然,激发和复合是矛盾着的双方。在一定的温度下,激发和复合虽然都在不停地进行,但最终将处于动态平衡状态,这时半导体中的载流子浓度保持在某一定值。由于本征激发产生的电子空穴对的数目很少,则本征半导体中载流子浓度很低,其导电能力很弱。

3. 本征半导体的主要特性

(1) 热敏和光敏特性

当温度升高或光照增强时,本征半导体内被束缚在共价键内的价电子将获得更多的动能,因此本征激发产生电子空穴对数目显著增加,其导电能力大大增强。可见,本征半导体的导电性能对温度和光照很敏感,这就是它的热敏和光敏特性。利用半导体的热敏和光敏特性可制成热敏元件(例如热敏电阻)和光敏元件(例如光敏电阻、光电管)。

(2) 掺杂特性



在本征半导体中掺入微量的其他元素，称为掺杂，这些微量元素称为杂质，掺入杂质的半导体称为杂质半导体。虽然本征半导体的导电能力很弱，但掺杂后半导体的导电能力将大大增强，掺入的杂质越多，半导体的导电能力就越强，这就是它的掺杂特性。利用半导体的掺杂特性，可制造出各种类型的半导体器件。当然，掺入杂质的种类和数量是要严格控制的，否则得到的杂质半导体将不是我们所需要的。

1.1.2 杂质半导体

根据掺入杂质的不同，杂质半导体有 N 型和 P 型两种。

1. N 型半导体

在纯净的硅（或锗）晶体中，掺入少量五价元素，如磷、砷等。由于掺入的元素数量较少，因此整个晶体结构基本上保持不变，只是某些位置上的硅原子被磷原子替代。磷原子五个价电子中的四个与硅原子形成共价结构，而多余的一个价电子处于共价键之外，很容易挣脱磷原子核的束缚成为自由电子。于是半导体中自由电子的数目明显增加，这样就大大地提高了半导体的导电性能。由于磷原子可以提供电子，故称施主杂质。在掺有施主杂质的半导体中，由于空穴数量远少于自由电子数量，故自由电子被称为多数载流子（简称多子），空穴被称为少数载流子（简称少子）。这种杂质半导体主要以电子导电为主，称为电子半导体，也称为 N 型半导体。如图 1-4 所示。

2. P 型半导体

在纯净的硅（或锗）晶体中，掺入少量三价元素，如硼、铝等，硼原子与周围的硅原子形成共价键时，会因缺少一个价电子而在共价键中出现一个空位，这个空位很容易被相邻的价电子填补，而使失去价电子的共价键出现一个空穴。这样在杂质半导体中出现大量空穴。由于硼原子在硅晶体中接受电子，故称为受主杂质。在掺有受主杂质的半导体中，空穴被称为多数载流子，自由电子被称为少数载流子。这种杂质半导体主要靠空穴导电，称为空穴半导体，也称为 P 型半导体。如图 1-4 所示。

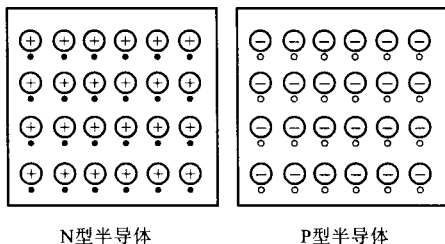


图 1-4 N、P 型半导体结构示意图

由此可见，在本征半导体中掺入杂质形成杂质半导体后，其导电性能显著增强。由于杂质原子在常温下全部处于电离（失去或得到电子而成为正、负离子）状态，所以多子浓度基本上等于杂质原子浓度，与温度无关。少子由本征激发产生，虽然浓度很低，但它对温度非常敏感，直接影响半导体器件的性能。

必须指出的是，不论是 N 型还是 P 型半导体，虽然都是一种载流子占多数，但整个晶体中正负电荷数量相等，呈现电中性。

1.1.3 PN 结

在一块完整的硅片上,用某种特定的掺杂工艺使其一边形成N型半导体,另一边形成P型半导体,那么在两种半导体的交界面附近就形成PN结。PN结是构成各种半导体器件的基础。

1. PN 结的形成

P型半导体和N型半导体结合在一起时,由于该两种半导体多子不同,其交界面两侧的电子和空穴存在浓度差,会出现多数载流子电子和空穴的扩散运动。N区内自由电子多、空穴少,而P区内空穴多、自由电子少,这样,自由电子和空穴都要从浓度高的区域向浓度低的区域扩散,如图1-5所示。扩散的结果是在N区留下带正电的离子(图中用 $\oplus$ 表示),而P区留下带负电的离子(图中用 $\ominus$ 表示),它们集中在交界面两侧形成一个很薄的空间电荷区,这就是PN结。在这个区域内自由电子和空穴成对消失而复合,或者说它们相互耗尽了,没有载流子,所以空间电荷区又可称为耗尽层。

在空间电荷区内,靠N区一侧带正电,靠P区一侧带负电,因此产生一个由N区指向P区的内电场。该电场有两方面的作用:一方面阻挡多数载流子的扩散运动,因此空间电荷区又称为阻挡层;另一方面使N区的少数载流子空穴向P区漂移,使P区的少数载流子自由电子向N区漂移。少数载流子在内电场作用下有规则的运动叫做漂移运动。

在PN结的形成过程中,刚开始时,以扩散运动为主,随着空间电荷区的加宽和内电场的加强,多数载流子运动逐渐减弱,漂移运动逐渐加强,使空间电荷区变窄。而空间电荷区的变窄,又会对扩散运动产生抑制作用。最终,扩散运动与漂移运动会达到动态平衡。此时,空间电荷区的宽度基本稳定下来,扩散电流等于漂移电流,通过PN结的电流为零,PN结处于动态的稳定状态。

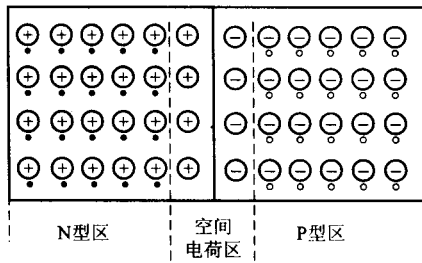


图1-5 平衡状态下的PN结

2. PN 结的单向导电性

(1) PN 结外加正向电压

如图1-6所示,电源的正极接P区,负极接N区。这种接法叫做给PN结外加正向电压,又叫正向偏置,简称正偏。这时外加电压在耗尽层中建立的外电场与内电场方向相反,削弱了内电场,使空间电荷区变窄,使多数载流子的扩散运动大于少数载流子漂移的运动。在电源的作用下,多数载流子就能越过空间电荷区形成较大的扩散电流。这个电

流从电源的正极流入P区,经过PN结由N区流回电源的负极,称为正向电流。PN结处于导通(导电)状态,此时PN结呈现的电阻称为正向电阻。由于多数载流子浓度较大,当外加电压不太高时就可以形成很大的正向电流,所以PN结的正向电阻较小。



(2) PN 结外加反向电压

如图 1-7 所示, 电源的正极接 N 区, 负极接 P 区。这种接法叫做给 PN 结外加反向电压, 又叫反向偏置, 简称反偏。这时外加电压在耗尽层中建立的外电场与内电场方向一致, 增强了内电场, 使空间电荷区加宽, 多数载流子的扩散运动难于进行, 但有利于少数载流子漂移的运动。在外电场的作用下, N 区的少数载流子空穴越过 PN 结进入 P 区, P 区的少数载流子自由电子越过 PN 结进入 N 区, 形成了漂移电流, 这个电流由 N 区流向 P 区, 故称为反向电流。由于少数载流子浓度很小, 即使它们全部漂移, 其反向电流还是很小的, PN 结基本上可认为不导电, 处于截止状态。此时的电阻称为反向电阻, 它的数值很大。

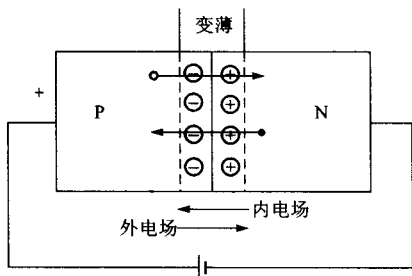


图 1-6 PN 结外加正向电压

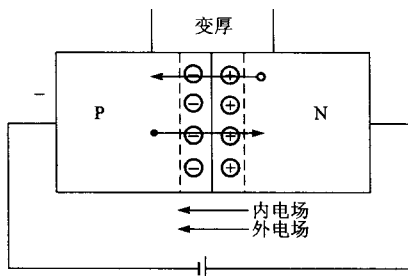


图 1-7 PN 结外加反向电压

由上述分析可知, PN 结加正向电压时处于导通状态, PN 结加反向电压时处于截止状态, 这就是 PN 结的单向导电性。

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的结构和分类

1. 二极管的结构

用一个 PN 结做管芯, 在其 P 区和 N 区各引出一电极, 外加管壳封装, 便构成一个二极管, 如图 1-8 (a) 所示。和 P 区相连的电极称为二极管的阳极 (或正极), 用 A 或 + 表示。和 N 区相连的电极称为二极管的阴极 (或负极), 用 K 或 - 表示。二极管图形符号如图 1-8 (b) 所示。其中三角箭头的方向表示正向电流的方向。

2. 二极管的分类

半导体二极管按结构可分为点接触型和面接触型两类, 按所用材料的不同又可分为硅二极管 (如 2CP 型) 和锗二极管 (如 2AP 型) 两种。

点接触型二极管由于其 PN 结面积很小, 因而结电容很小, 其高频性能好, 但不能通过大电流, 主要用于高频检波和小电流的整流等。

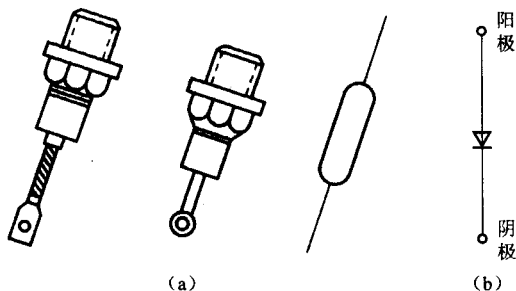


图 1-8 二极管图形及代表符号
(a) 二极管外形；(b) 二极管电路符号

面接触型二极管由于其 PN 结面积大，因而结电容大，其高频性能较差，但允许通过的电流较大，主要用于低频的整流电路。

1.2.2 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性是指加到二极管两端的电压和通过二极管的电流之间的关系曲线。一个典型的二极管伏安特性如图 1-9 所示。可以看出，特性曲线可分为两部分：加正向偏置电压时的特性称为正向特性，加反向偏置电压时的特性称为反向特性。二极管的伏安特性是非线性的，正反向导电性能差异很大。

1. 正向特性

正向特性起始部分的电流几乎为零。这是因为外加正向电压较小，外电场还不足以克服内电场对多数载流子扩散运动的阻力，二极管呈现较大的电阻所造成的。当正向电压超过某一值后，正向电流增长得很快，称为正向导通，该电压值称为死区电压，其大小与材料和温度有关。通常，硅管的死区电压约为 0.5 V，锗管约为 0.1 V。正向导通时，硅管的管压降约为 0.6 ~ 0.8 V，锗管的管压降约为 0.2 ~ 0.3 V。理想二极管管压降可近似认为零。

2. 反向特性

当外加反向电压时，由于少数载流子的漂移运动，形成很小的反向电流。它有两个特点：一是随温度的上升增加很快；二是反向电压在一定的范围内变化，反向电流基本不变。

这是因为少数载流子的数量很少，在一定温度下的一段时间内，只能提供一定数量的载

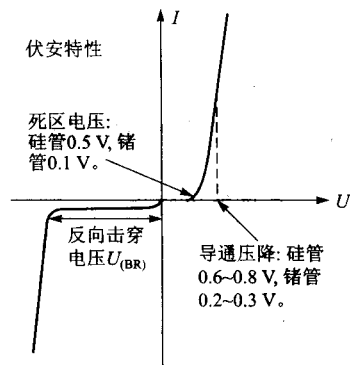


图 1-9 二极管伏安特性曲线



流子, 外加反向电压即使再增加也不会使少数载流子的数目增加。因此, 反向电流又称反向饱和电流。小功率硅管的反向电流一般小于 $0.1 \mu\text{A}$, 而锗管通常为几十微安。理想二极管可认为反向电阻为无穷大。

当外加反向电压过高时, 由于受到外加强电场的作用, 载流子的数目会因为共价键中的部分价电子被自由电子碰击或被外加强电场拉出而急剧增加, 造成反向电流急剧增加, 二极管失去单向导电性, 这种现象称为反向击穿。相应的反向电压称为反向击穿电压。

1.2.3 二极管的主要参数

二极管的特性除了用伏安特性来表示外, 还可以用参数来说明, 二极管的主要参数有:

(1) 最大整流电流 I_F

I_F 是指二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流。它是由 PN 结的结面积和外界散热条件决定的。当电流超过允许值时, 容易造成 PN 结过热而烧坏管子。

(2) 最大反向工作电压 U_{RM}

U_{RM} 是指二极管在使用时所允许加的最大反向电压。超过此值时二极管就有可能发生反向击穿。通常取反向击穿电压的一半值作为 U_{RM} 。

(3) 最大反向电流 I_R

I_R 是指在给二极管加最大反向工作电压时的反向电流值。 I_R 越小说明二极管的单向导电性越好, 此值受温度的影响较大。

(4) 最高工作频率 f_M

二极管的工作频率超过 f_M 所规定的值时, 其单向导电性将受到影响。此值由 PN 结的结电容决定。

此外还有结电容、工作温度等参数, 各参数均可在半导体手册中查得。

二极管的应用主要利用它的单向导电特性, 因此它在电路中常用作整流、检波、整形、钳位、开关元件等。

例 1-1 如图 1-10 (a), 设二极管是理想状态的, 试分析并画出负载 R_L 两端的电压波形 u_o 。

解: 当 u_i 为正半周时, a 点电位高于 b 点电位, 二极管外加正向电压而导通, 负载电阻 R_L 中有电流通过, R_L 两端电压为 u_o 。假设二极管是在理想状态下, 此时 $u_o = u_i$ 。

当 u_i 为负半周时, a 点电位低于 b 点电位, 二极管外加反向电压而截止, R_L 中没有电流通过, 其两端电压为零, 即 $u_o = 0$ 。如图 1-10 (b)。

例 1-2 在图 1-11 电路中, 试分析下列几种情况下二极管的工作状态及输出端 F 的电位 U_F 。设二极管正向压降为 0.7 V 。

(1) $U_A = U_B = 0 \text{ V}$;

(2) $U_A = 0 \text{ V}$, $U_B = 3 \text{ V}$;

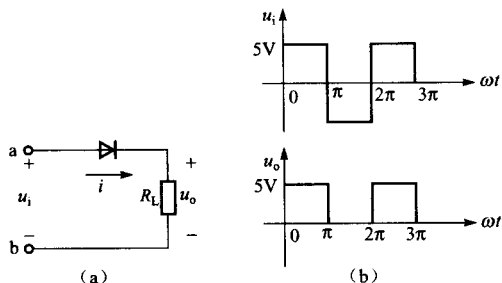


图 1-10 例 1-1 图

(a) 电路; (b) 工作波形

(3) $U_A = 3 \text{ V}$, $U_B = 0 \text{ V}$;

(4) $U_A = U_B = 3 \text{ V}$ 。

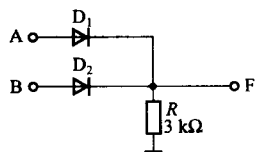


图 1-11 例 1-2 图

解: 分析时, 可先假设二极管截止, 然后判断加在二极管两端的正向电压是否大于导通电压, 若大于导通电压, 则二极管导通, 否则二极管截止。

(1) 当 $U_A = 0 \text{ V}$ 时, 假设两二极管截止, 则 D_1 的正极 A 端对地电位 U_A 为零, 负极 F 端对地电位 U_F 也为零, 故 D_1 两端加的正向电压为 $U_F - U_A = 0$, 小于导通电压, D_1 截止。同理, 当 $U_B = 0$ 时, D_2 也截止。综上所述, 当 $U_A = U_B = 0 \text{ V}$ 时, 图 1-11 电路中, D_1 , D_2 均截止, $U_F = 0$ 。

(2) 当 $U_A = 0 \text{ V}$, $U_B = 3 \text{ V}$ 时, D_1 截止, D_2 导通, F 点电位为 B 点电位减去 D_2 导通时两端的管压降, 即 $U_F = U_B - 0.7 = 2.3 \text{ V}$ 。

(3) 当 $U_A = 3 \text{ V}$, $U_B = 0 \text{ V}$ 时, D_2 截止, D_1 导通, F 点电位为 A 点电位减去 D_1 导通时两端的管压降, 即 $U_F = U_A - 0.7 = 2.3 \text{ V}$ 。

(4) 当 $U_A = U_B = 3 \text{ V}$ 时, D_1 , D_2 同时导通, $U_F = 2.3 \text{ V}$ 。

1.2.4 其他特殊二极管

1. 稳压管

稳压管是一种特殊的面接触型硅二极管。由于它在电路中与适当的电阻串联后, 在一定的电流变化范围内, 其两端的电压相对稳定, 故称为稳压管。其电路符号和伏安特性如图 1-12 所示。

稳压管的伏安特性与普通二极管的相似, 不同的是反向特性曲线比较陡。稳压管正是工作在特性曲线的反向击穿区域。从特性曲线可以看出, 在击穿状态下, 流过管子的电流在一定的范围内变化, 而管子两端的电压变化很小, 利用这一点可以实现稳压。稳压管的反向击穿特性与一般二极管不一样, 它的反向电击穿是可逆的。但是当反向电流超过允许值时, 稳



压管将会发生热击穿而损坏。

稳压管的主要参数:

(1) 稳定电压 U_Z

U_Z 是指稳压管在正常工作 (流过的电流在规定的范围内) 时, 稳压管两端的电压值。

(2) 稳定电流 I_Z

I_Z 是指稳压管在正常工作时的电流值, 其中 $I_{Z\min}$ 为最小稳定电流, 低于此值时稳压效果差, 甚至失去稳压作用; $I_{Z\max}$ 为最大稳定电流, 高于此值时稳压管易击穿而损坏。当稳压管的电流在 $I_{Z\min}$ 与 $I_{Z\max}$ 之间时稳压性能最好。

例 1-3 图 1-13 中, 稳压管的稳定电流是 10 mA, 稳压值为 6 V, 耗散功率为 200 mW。试问: 若电源电压 E 在 18~30 V 范围内变化, 输出电压 U_O 是否基本不变? 稳压管是否安全?

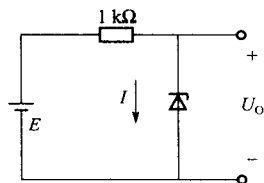


图 1-13 例 1-3 图

解: 稳压管的稳定电流 $I_Z = 10$ mA。

$$I_{Z\max} = \frac{P_Z}{U_Z} = \frac{200}{6} = 33.3 \text{ mA}$$

$$E = 18 \text{ V 时, } I = \frac{E - U_O}{R} = \frac{18 - 6}{1\,000} = 12 \text{ mA}$$

$$E = 30 \text{ V 时, } I = \frac{E - U_O}{R} = \frac{30 - 6}{1\,000} = 24 \text{ mA}$$

当电源电压在 18~30 V 范围内变化时, 稳压管中的电流在 12~24 mA 范围内变化, 即 $I_Z < I < I_{Z\max}$, 所以输出电压 U_O 基本不变, 稳定工作在 6 V。稳压管安全工作。

2. 发光二极管

发光二极管是一种应用广泛的特殊二极管。发光材料不是硅晶体或锗晶体, 而是化合物如砷化镓、磷化镓等。在电路中, 当有正向电流流过时, 能发出一定波长范围的光。目前发光管可以发出从红外到可见波段的光。其电特性与普通二极管类似。使用时, 通常需串接合适的限流电阻。目前市场上有发红、黄、绿、蓝等单色光的发光二极管和变色二极管。其电路符号见图 1-14 (a) 所示。

3. 光电二极管

光电二极管的结构与普通二极管类似, 使用时光电二极管 PN 结工作在反向偏置状态, 在光的照射下, 反向电流随光照强度的增加而上升 (这时的反向电流叫光电流), 所以, 光电二极管是一种将光信号转为电信号的半导体器件, 其电路符号如图 1-14 (b) 所示。另外, 光电流还与入射光的波长有关。在无光照射时, 光电二极管的伏安特性和普通二极管一

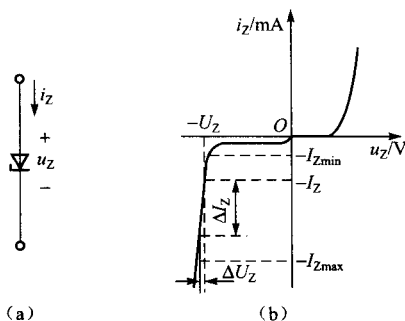


图 1-12 稳压管符号及伏安特性曲线

(a) 稳压管符号; (b) 稳压管伏安特性曲线