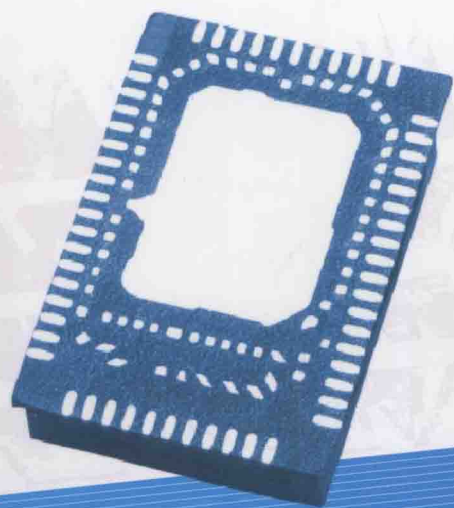


21世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材  
“山东省2009—2010年高等职业院校基础课程教学改革项目”研究成果



# 电子线路分析与应用

主 编 梁玉国 王 平

- 9大任务，由易到难，由简到繁
- 模电与数电的有机整合，全面掌握电子线路设计与制作
- “教、学、做”一体化，易于能力的培养
- “项目导向、任务驱动”的编写模式，适应当前职业教育需求



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材  
“山东省 2009—2010 年高等职业院校基础课程教学改革项目”研究成果

## 电子线路分析与应用

主 编 梁玉国 王 平  
副主编 何彦虎  
参 编 张洪顺 高 健 马叶革 司艳红  
赵英花 刘成芳 陈圣林 李 艳  
刘 琨  
主 审 王 忠



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书是在高等职业教育改革思想的指引下,基于项目导向、任务驱动的教学理念,坚持“必需、够用”的原则和以“学生为中心、能力培养为本位”的职业教育思想,在总结多年教学实践经验的基础上,专门为高职机电类、电子信息类专业编写的电子技术“教、学、做”一体化教材。

本书共有9个实际工作任务,每个任务都有明确的训练目标和详细的任务描述,给出了难度系数不同的3种实现方案供学生讨论、选择。本书以工作任务为核心,提供了任务资讯、任务分析、任务实施、任务评价、任务总结等5部分内容供学生参考,最后是练习与提高,以提高学生的自学能力。

本书可作为高职电气自动化技术、机电一体化技术、应用电子技术、汽车电子技术、电子信息工程技术、通信技术专业的电子线路分析与应用、模拟电子技术、数字电子技术等课程的教材,也可作为机电类、电子信息类专业的培训教材,还可作为电子工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子线路分析与应用/梁玉国,王平主编. —北京:北京大学出版社,2011.7

(21世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材)

ISBN 978-7-301-18520-9

I. ①电… II. ①梁…②王… III. ①电子电路—电路分析—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第015821号

书 名: 电子线路分析与应用

著作责任者: 梁玉国 王 平 主编

策 划 编 辑: 赖 青 张永见

责 任 编 辑: 李娉婷

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-18520-9/TH·0068

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787mm×1092mm 16开本 18.25印张 420千字

2011年7月第1版 2011年7月第1次印刷

定 价: 34.00元

---

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,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 前 言

本书是在新的高等职业教育改革精神的指引下,全面贯彻教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》等有关文件,在总结多年教学实践经验的基础上编写的“教、学、做”一体化教材。本书可作为高职电气自动化技术专业、机电一体化技术专业、应用电子技术专业、汽车电子技术专业、电子信息工程技术专业、通信技术等专业电子线路分析与应用、模拟电子技术、数字电子技术等课程教材,亦可作为机电类、电子信息类专业的培训教材,还可作为电子工程技术人员的参考书。

本书基于项目导向、任务驱动的教学理念,坚持“必需、够用”的原则和以“学生为中心、能力培养为本位”的职业教育思想,将模拟电子技术和数字电子技术的相关内容进行了有机整合和重新序化,融于从简单到复杂、从低级到高级的一系列实际工作任务中。

本书共有9个实际工作任务,每个任务都有明确的训练目标和详细的任务描述,给出了难度系数不同的三种实现方案供学生讨论、选择,以工作任务为核心,提供了任务资讯、任务分析、任务实施、任务评价、任务总结等5部分内容供学生参考,最后是练习与提高,以提高学生的自学能力。

本书建议课时为120学时,各学校可根据具体情况而定,建议学时安排如下:

序号	项目内容	建议课时
1	任务1 设计与制作直流稳压电源	12
2	任务2 设计与制作放大电路	20
3	任务3 设计与制作信号发生器	14
4	任务4 设计与制作功率放大器	12
5	任务5 设计与制作调光台灯	10
6	任务6 设计与制作发声型逻辑笔	16
7	任务7 设计与制作抢答器	12
8	任务8 设计与制作数字钟	16
9	任务9 设计与制作数字电压表	8
	合计	120

本书由梁玉国、王平任主编,何彦虎任副主编,编写分工如下:任务1由梁玉国和李艳编写,任务2由马叶革编写,任务3由高健编写,任务4由王平和司艳红编写,任务5由刘成芳编写,任务6由赵英花编写,任务7由张洪顺编写,任务8由何彦虎编写,任务

# 目 录

<b>任务 1 设计与制作直流稳压电源</b> .....	1
任务实施方案 .....	2
任务资讯 .....	3
任务分析——稳压电源的制作 .....	19
任务实施 .....	20
任务评价 .....	21
任务总结 .....	22
练习与提高 .....	23
<b>任务 2 设计与制作放大电路</b> .....	27
任务实施方案 .....	28
任务资讯 .....	29
任务分析——放大电路的制作 .....	67
任务实施 .....	68
任务评价 .....	70
任务总结 .....	71
练习与提高 .....	71
<b>任务 3 设计与制作信号发生器</b> .....	79
任务实施方案 .....	80
任务资讯 .....	81
任务实施 .....	98
任务评价 .....	100
任务总结 .....	101
练习与提高 .....	101
<b>任务 4 设计与制作功率放大器</b> .....	104
任务实施方案 .....	105
任务资讯 .....	106
任务分析——音响的制作 .....	124
任务实施 .....	125
任务评价 .....	128
任务总结 .....	129
练习与提高 .....	129

# 任务 1

## 设计与制作直流稳压电源

### 任务目标

专业能力	学习整流二极管的特性、集成稳压电路的应用特性，学习电源的基本组成及其参数，学会电源电路的设计，学会焊接技术及元器件识别，学习硬件的调试
方法能力	进一步掌握硬件调试的方法，学习电路板焊接的方法和技巧
社会能力	获取团结协作的能力，获取不怕累的精神，培养持续劳动的毅力

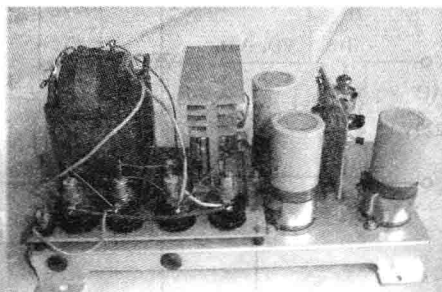
### 任务描述

当今社会人们极大地享受着电子设备带来的便利，但是任何电子设备都有一个共同的电路——电源电路。由于电子技术的特性，电子设备对电源电路的要求就是能够提供持续稳定、满足负载要求的电能，而且通常情况下都要求提供稳定的直流电能。提供这种稳定的直流电能的电源就是直流稳压电源，不同形式的直流稳压电源如图 1.1 所示。

直流稳压电源在电源技术中占有十分重要的地位，直流电源性能的好坏决定着设备能否正常工作，具有一个高质量的稳压电源是电路设计首要考虑的问题，通过直流稳压电源的设计，掌握设计直流电源的基本方法和技巧。



(a) RLD-3010 有流稳压电源



(b) 22V 直流稳压电源

图 1.1 直流稳压电源

## 任务实施方案

### 1. 方案一

直流稳压电源的正负 15V 电压输出电路如图 1.2 所示。

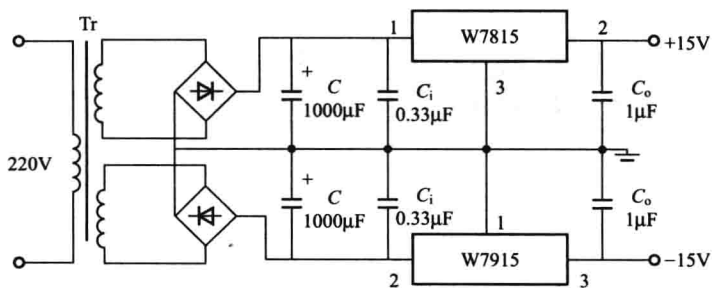
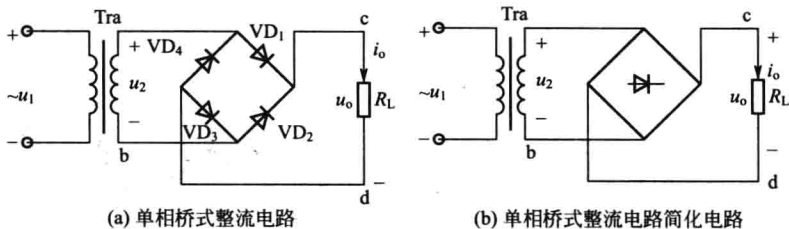


图 1.2 正负 15V 电压输出电路

### 2. 方案二

直流稳压电源的单相桥式整流电路如图 1.3 所示。



(a) 单相桥式整流电路

(b) 单相桥式整流电路简化电路

图 1.3 单相桥式整流电路图

### 3. 方案三

TL431 精密稳压电源的电路图如图 1.4 所示。

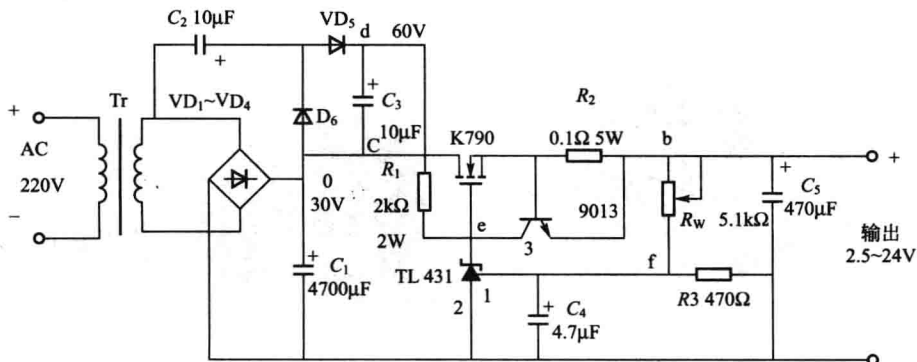


图 1.4 TL431 精密稳压电源

## 任务资讯

### 一、直流稳压电源的组成

直流电源可分为两大类。一类是化学电源，如各种各样的干电池、蓄电池、充电电池等电源，其优点是体积小、重量轻、携带方便等，缺点是成本高、易污染。另一类是稳压电源，它是把交流电网 220V 的电压降为所需要的数值，然后通过整流、滤波和稳压电路，得到稳定的直流电压，这类电源是现实生活中应用比较广泛的一类。

在电子电路中，通常都需要电压稳定的直流电源供电。小功率稳压电源的组成可以用图 1.5 表示。它由电源变压器、整流、滤波和稳压电路组成。

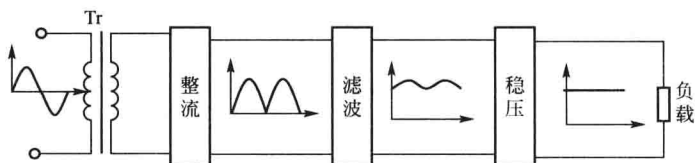


图 1.5 稳压电源的组成

(1) 电源变压器。电源变压器的作用是将较高的交流电网电压变换为较低的、适用的交流电压(电子电路通常需要较低的电压)，同时还可以起到与电网安全隔离的作用。

(2) 整流电路。整流电路的作用是将交流电压变换为单向脉动直流电压，这种电压含有很大的脉动成分，一般不适合电子电路应用。

(3) 滤波电路。滤波电路的作用是将单向脉动电压变得平滑些，但仍含有不少的脉动成分，还不能适应要求较高的电子电路。

(4) 稳压电路。稳压电路的作用是将含有脉动成分的直流电压变换为稳恒的直流电压。

### 二、半导体的基本知识

#### 1. 物质的分类

纵观宇宙，各种物质的导电能力是互不相同的，按照导电能力的强弱，可以分为三大类。

(1) 导体。导电能力特别强的物质。例如，一般的金属、碳、电解液等。

(2) 绝缘体。导电能力特别差，几乎不导电的物质。例如，胶木、橡胶、陶瓷。

(3) 半导体。导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。在电子器件中，常用的半导体材料有：元素半导体，如硅(Si)、锗(Ge)等；化合物半导体，如砷化镓(GaAs)等；以及掺杂或制成其他化合物的半导体材料，如硼(B)、磷(P)、铟(In)和锑(Sb)等。其中硅和锗是最常用的一种半导体材料。

#### 2. 半导体的特性

半导体之所以应用广泛，正是因为它具有一些独特的导电特性，这些特性主要表现为



其导电能力对一些因素的影响很敏感。

(1) 杂敏性。纯净的半导体掺入微量杂质后,电阻率变化很大。例如,在纯硅中掺入百分之一的硼后,电阻率从  $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{m}$  变换为  $2 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ 。变化的数量级达到  $10^6$  之多。这种特性是半导体所特有的。人们利用控制掺杂的方法,精确地控制半导体的导电能力,制造出各种不同性能、不同用途的半导体器件。如普通的半导体二极管、三极管、可控硅。

(2) 热敏性。半导体在受热后,电阻率会显著减小,导电能力明显增强。利用这种特性可制成自动控制系统中的热敏电阻,可以感知万分之一摄氏度的温度变化。把热敏电阻装在机器中各个重要的部位,就能集中控制和测量它们的温度。在农业上,热敏电阻能准确地测出植物叶面的温度和土壤的温度。

(3) 光敏性。半导体在光照射时,电阻率会显著减小,导电能力增强。利用这一特性可以制作光电二极管、光电三极管和光敏电阻等。用这些光电器件可以实现路灯的自动控制,制成火灾报警器等装置。

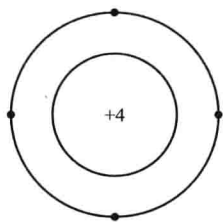


图 1.6 硅和锗的原子结构简化模型

### 3. 半导体的共价键结构

在电子器件中,用得最多的半导体材料是硅和锗。它们的原子结构简化模型如图 1.6 所示。硅和锗都是四价元素,在其最外层原子轨道上具有 4 个电子,称为价电子。半导体与金属和许多绝缘体一样,按照一定的规律很整齐地排列在一起,是一种晶体结构,所以半导体管又称为晶体管。硅和锗晶体的共价键结构如图 1.7 所示。

### 4. 本征半导体

纯净的半导体材料称为本征半导体(顾名思义,具有半导体的本来特征)。在室温下,本征半导体共价键中的价电子获得足够的能量,挣脱共价键的束缚,成为自由电子,在晶体中产生电子—空穴对的现象称为本征激发。共价键中的价电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后,在原来的位置上就留下了一个空位,称之为空穴,如图 1.8 所示。

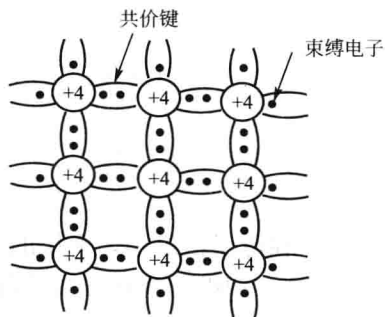


图 1.7 硅和锗晶体的共价键结构示意图

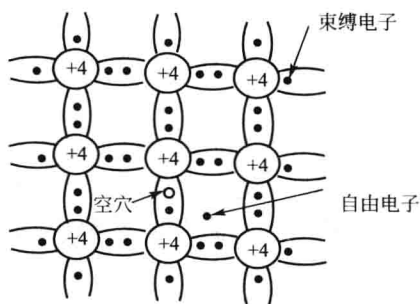


图 1.8 半导体本征激发

在本征半导体中有两种载流子,即空穴和自由电子,这两种载流子的数量相等,称自由电子—空穴对。

### 5. 杂质半导体

在本征半导体中掺入某些微量的杂质原子，形成杂质半导体。杂质半导体的导电性能将发生显著变化，其原因是掺杂半导体的某种载流子浓度大大增加。根据掺入杂质的不同，杂质半导体可分为空穴(P)型半导体和电子(N)型半导体两大类。

N 型半导体——掺入五价杂质元素(如磷)的半导体。

P 型半导体——掺入三价杂质元素(如硼)的半导体。

#### 1) P 型半导体

由于硼原子外层只有 3 个价电子，它与相邻的硅原子组成共价键时，因缺少一个电子而在晶体中产生一个空穴，如图 1.9 所示。本征半导体电子和空穴成对出现的现象也被打破。控制掺入杂质的多少，便可控制空穴的数量。这样，空穴的数目就远大于自由电子的数目，在这种半导体中，以空穴导电为主，因而空穴为多数载流子(多子)，自由电子为少数载流子(少子)。

#### 2) N 型半导体

仿效 P 型半导体，由于磷原子的最外层有 5 个价电子，其中 4 个与相邻的(硅和锗)半导体原子形成共价键，必定多出一个电子，这个电子不受共价键的束缚，所以只要较少的能量就能挣脱磷原子核的吸引而成为自由电子，如图 1.10 所示。控制掺入杂质的多少，便可控制空穴的数量。这样，空穴的数目就远大于自由电子的数目，在这种半导体中，以自由电子导电为主，因而自由电子为多数载流子(多子)，空穴为少数载流子(少子)。

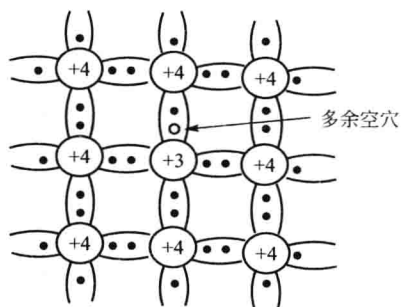


图 1.9 P 型半导体

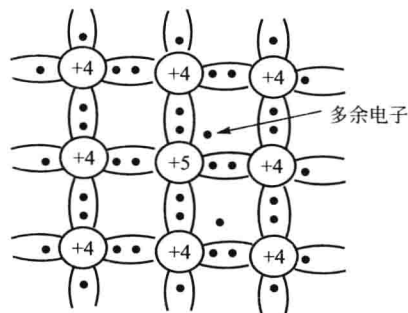


图 1.10 N 型半导体

### 6. PN 结的形成及特性

#### 1) PN 结的形成

当 P 型半导体和 N 型半导体刚结合在一起时，在交界面附近存在着载流子的浓度差，这势必造成载流子从浓度高的一侧向浓度低的一侧扩散。扩散过程中，电子和空穴由于带电性质不同会复合，在交界面附近就出现了由不能导电的带电离子组成的空间电荷区，这就是 PN 结。由于多子都耗尽了，故又称耗尽层，如图 1.11 所示，形成了由 N 区指向 P 区的内电场。

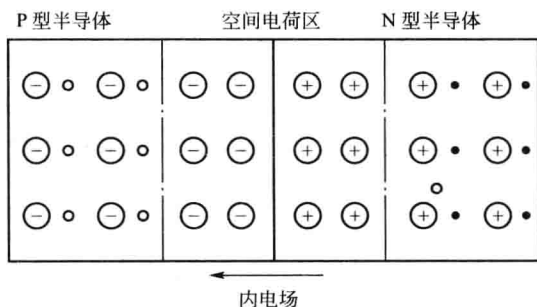


图 1.11 空间电荷区

在电场作用下，自由电子将逆着电场方向移动，而空穴将顺着电场方向移动，所以，电子从N区到P区必须要有一定的能量才能越过空间电荷区，因此又把空间电荷区称为势垒区。

由于内电场阻碍多子扩散，故又将空间电荷层叫阻挡层。少子在电场作用下的定向移动叫漂移运动。可以发现，多子的扩散运动和少子的漂移运动方向正好相反。当多子的扩散运动和少子的漂移运动达到动态平衡时，空间电荷区的宽度不变化的PN结称为平衡PN结。

2) PN结的特性——单向导电性

(1)正偏导通。当P区接电源正极，N区接电源负极时，PN结处于正向偏置状态，如图1.12所示。此时外加电场方向与内电场方向相反，将削弱内电场的作用，即有利于多子的扩散而不利于少子的漂移。PN结处于正向偏置时，其空间电荷区变薄，呈现较小的电阻，称之为导通。在正常工作范围内，PN结的正偏电压只要稍有变化，便能引起正向电流  $I_F$  的显著变化。

(2)反偏截止。P区接电源负极，N区接电源正极时，PN结处于反向偏置状态，如图1.13所示，外加电场方向与内电场方向相同，加强了内电场的作用，即进一步阻碍多子的扩散运动而加强少子的漂移运动。但由于少子的数量有限(在温度一定时，少子的浓度基本不变)，故处于反偏状态的PN结上流过的反向电流  $I_R$  不仅很小，而且基本上不随外加电压变化而变化，故反向  $I_R$  电流又称反向饱和电流  $I_S$ 。PN结处于反向偏置时，其阻挡层变厚，呈很大的电阻，故称之为截止。PN结的正向电阻很小，而反向电阻很大，即PN结具有单向导电性。

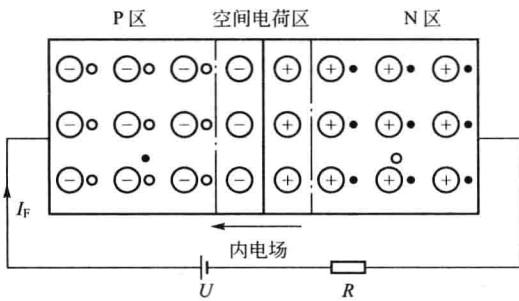


图 1.12 PN 结加正向电压

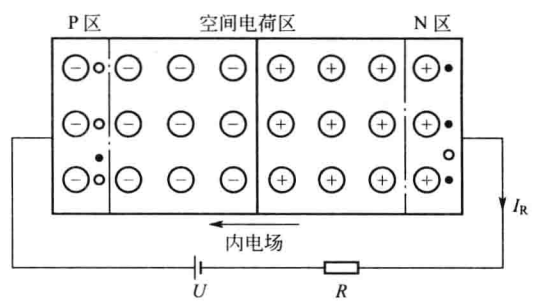


图 1.13 PN 结加反向电压

(3)反向击穿。把PN结上所加的反向电压增大到一定值后，其反向电流会突然增加，这个现象称为PN结的反向击穿(电击穿)。发生击穿所需的反向电压  $U_{BR}$  叫做反向击穿电压。反向击穿后，只要反向电流和反向电压的乘积不超过PN结允许的最大功耗，PN结就不会损坏。减小反向电压后，PN结特性恢复，这种击穿叫电击穿，电击穿具有可逆性。但若反向击穿电流过大，超出PN结允许的最大功率，会导致PN结结温过高而烧坏，这种击穿称为热击穿，热击穿是不可逆的。

PN结电击穿机理可分为雪崩击穿和齐纳击穿两种。雪崩击穿是当反向电压足够大时，发生碰撞电离，连锁反应而使阻挡层中载流子大量增多，类似雪崩。齐纳击穿是由于半导体掺杂浓度很高，空间电荷区很薄，即使不高的反向电压也能在很薄的空间电荷区建立起很强的电场，将价电子从共价键中强行拉出，引起反向电流急剧增加。



PN 结电击穿时,有时很难认定是雪崩击穿还是齐纳击穿,一般认为,高于 6V 的击穿为雪崩击穿,低于 6V 的击穿为齐纳击穿。

### 3) 扩散电容 $C_d$

PN 结的正向电流是由 P 区和 N 区的多子相互扩散形成的。为了能使 N 区的多子——电子能穿过 PN 结到达 P 区形成扩散电流,进入 P 区的电子沿 N 区指向 P 区的方向上必须要有电子的浓度差,而且在 PN 结边缘的浓度大,离 PN 结远的地方浓度小,即在 P 区有电子积累,同理在 N 区有空穴积累。积累在 P 区的电子和积累在 N 区的空穴随外加电压变化的这种电容效应就构成了 PN 结的扩散电容  $C_d$ 。反偏时的扩散电容很小,一般可以忽略。

## 三、半导体二极管

### 1. 二极管的结构

在 PN 结的两侧引出两个电极,并用密封的管壳封装,便成了一个二极管。P 区侧引出的电极叫阳极(正极),用 a 表示,N 区侧引出的电极叫阴极(负极),用 k 表示,图 1.14(a)所示为常见二极管的符号。

二极管根据所用的半导体材料不同,可分为锗二极管和硅二极管。按照管芯结构不同,分类如下。

#### 1) 点接触型二极管

点接触型二极管的 PN 结面积小,不允许有较大电流通过,但结电容小。结构如图 1.14(b)所示。由于其在高频下工作性能很好,适用于收音机中对高频信号的检波和微弱交流电的整流,如国产的锗二极管 2AP 系列、2AK 系列等。

#### 2) 面接触型二极管

面接触型二极管的 PN 结是用合金法或扩散法做成的,其结构如图 1.14(c)所示。由于这种二极管的 PN 结面积较大,允许有较大电流通过,但结电容也大。适用于对电网的交流电进行整流。如国产的 2CP 系列、2CZ 系列二极管都是面接触型的。

#### 3) 平面型二极管

图 1.14(d)是平面型二极管的结构图。它的特点是在 PN 结表面覆盖一层二氧化硅薄膜,避免 PN 结表面被水分子、气分子以及其他离子等玷污。这种二极管的特性比较稳定可靠,多用于高频整流和开关电路中。国产的 2CK 系列二极管就属于这种类型。

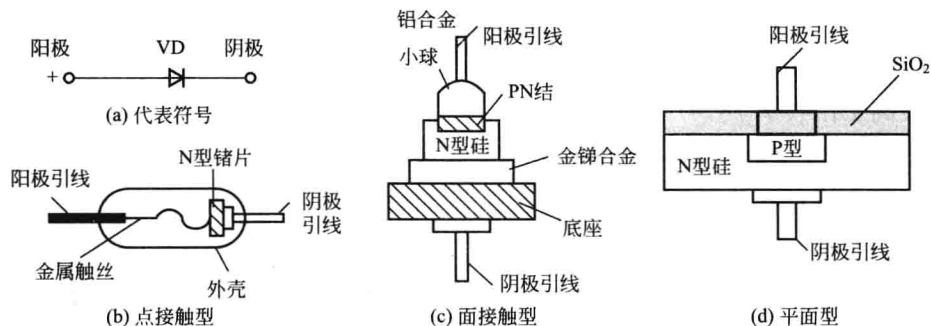


图 1.14 半导体二极管的结构及符号

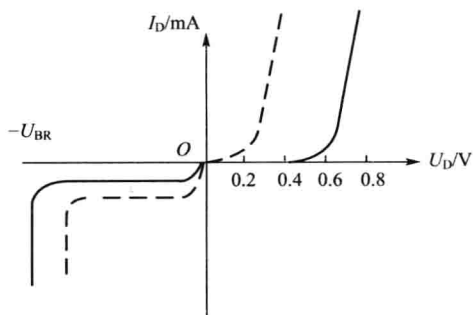


图 1.15 二极管的伏安特性曲线

## 2. 二极管的伏安特性

如图 1.15 所示, 表示二极管两极所加电压  $U$  和流过二极管电流  $I$  之间的关系曲线。当  $U_D=0$  时,  $I_D=0$ 。

### 1) 正向特性

当外加正向电压较小时(小于  $V_{th}$ ), 外加电场还不足以克服内电场的作用, 扩散电流难以形成, 电流很小, 二极管呈现较大的电阻。这个区域称之为正向死区,  $V_{th}$  称为死区电压(门坎电压或阈值电压)。

一般硅管的  $V_{th}=0.5V$ , 锗管的  $V_{th}=0.2V$ 。

正向电压大于死区电压时, 内电场被大大削弱, 多子的扩散加强, 正向电阻减少, 电流呈指数上升, 二极管处于导通状态。导通后二极管两端的电位差(导通压降  $V_D$ )几乎不变, 硅管的导通电压  $V_D=0.6\sim 0.7V$ , 锗管的导通电压  $V_D=0.2\sim 0.3V$ 。

### 2) 反向特性

当加上反向电压时, 内电场得到加强, 阻碍了多子扩散, 而少数数目有限, 只有很小的反向饱和电流  $I_R$  流过, 小功率硅管的  $I_R$  为 nA 数量级, 而锗管的  $I_R$  为  $\mu A$  数量级。如考虑表面漏电流的影响, 则反向电流  $I_R$  随反向电压的增加略有增加。

### 3) 反向击穿

反向电压高于  $U_{BR}$  时, 将造成反向击穿, 此时电流剧增,  $U_{BR}$  叫反向击穿电压, 一般在几十伏以上。反向击穿开始时是电击穿, 是可逆的, 但如不采取适当的限流措施, 就会因电流过大而使温度迅速上升成为热击穿。

## 3. 二极管的主要参数

### 1) 最大整流电流 $I_{FM}$

它是指二极管长期工作时, 允许通过的最大正向平均电流。实际使用时, 流过二极管的平均电流不能超过这个数值, 否则, 将导致二极管因过热而永久损坏。

### 2) 最高反向工作电压 $U_{RM}$

它是指二极管工作时所加的最高反向电压, 超过此值就有被反向击穿的危险。通常手册上给出的最高反向电压  $U_{RM}$  约为击穿电压  $U_{BR}$  的一半。

### 3) 反向电流 $I_R$

它是指二极管未被反向击穿时的反向工作电流, 也称反向饱和电流。此值越小, 二极管的单向导电性越好。

### 4) 最高工作频率 $f_M$ 。

最高工作频率  $f_M$  主要由 PN 结电容大小决定。

## 4. 二极管的型号命名方法及检测

### 1) 命名方法

半导体二极管的参数不直接标注在其外壳上, 而要利用其型号查阅相关半导体手册才能了解它的具体参数。国产半导体的型号命名方法由 5 部分组成。

(1) 第一部分: 表示电极数目, 数字“2”表示二极管。



- (2) 第二部分：表示材料和导电类型，用字母表示。
- (3) 第三部分：表示类型，用字母表示。
- (4) 第四部分：表示序号，用数字表示。
- (5) 第五部分：表示区别代号。

半导体二极管型号中的第二、三部分字母所表达的意义见附录 A。

例如，2CP21 表示由 N 型硅材料制成的，产品序号为 2，区别号为 1 的普通小信号二极管。

## 2) 二极管的检测

用指针式万用表  $R \times 100$  或  $R \times 1k$  挡测其正、反向电阻，根据二极管的单向导电性可知，测得阻值小时与黑表笔相接的一端为正极；反之，为负极。二极管的正、反向电阻相差越大，说明其单向导电性越好。

若二极管的正、反向电阻都很大，说明二极管内部开路；若二极管的正、反向电阻都很小，说明二极管内部短路。



### 特别提示

不能用  $R \times 1$  挡(内阻小，电流太大)和  $R \times 10k$  挡(电压高)测试，否则有可能在测试过程中损坏二极管。

## 5. 特殊二极管

### 1) 稳压二极管

稳压二极管简称稳压管，是用特殊工艺制造而成的面接触型硅半导体二极管，其代表符号如图 1.16 所示。使用时，它的阴极接外加电压的正极，阳极接外加电压的负极，管子反向偏置，工作在反向击穿状态，利用它的反向击穿特性稳定直流电压。稳压管的伏安特性曲线如图 1.17 所示，其正向特性与普通二极管相同，反向特性曲线比普通二极管的更陡。 $U_Z$  表示管子的反向击穿电压，即稳压值。当外加反向电压  $U$  大于  $U_Z$ ，出现齐纳击穿，故稳压管又称齐纳二极管，其击穿特性  $U_Z$  表示管子的反向击穿电压，即稳压值。当电流有较大的增量  $\Delta I_Z$  时，电压只有微小的变化  $\Delta U_Z$ 。曲线越陡，则管子的稳压性能越好。

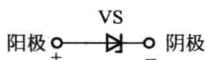


图 1.16 稳压二极管的代表符号

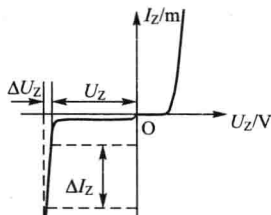


图 1.17 稳压二极管的伏安特性曲线

### 2) 光电二极管

光电二极管(光敏二极管)有一个透明的玻璃窗口以便接受光照。当光线照射到 PN 结时，半导体的导电性提高，在反偏电压作用下产生反向电流。其反向电流随光照强度的增

加而上升, 反向电流的值与光照强度成正比。

光电二极管可用于进行光的测量。大面积光电二极管可作为一种能源, 被称为光电池。图 1.18 所示为光电二极管的代表符号。图 1.19 所示为光电二极管的伏安特性曲线。

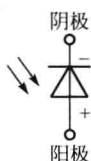


图 1.18 光电二极管的代表符号

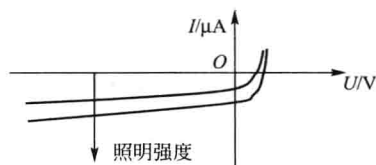


图 1.19 光电二极管的伏安特性曲线

### 3) 发光二极管

发光二极管常由化合物如砷化镓、磷化镓等制成, 当通过电流时, 电子与空穴的复合将放出能量而发光。光谱范围较窄, 其波长由所使用的基本材料决定, 可用作光电传感器、测试装置、遥测遥控设备, 也可以做成显示器件等。

发光二极管在正向电流下工作。使用时, 可在规定的极限正向电流内选择一最佳正向电流, 使输出光功率(发光强度)尽可能大。图 1.20 所示为发光二极管的代表符号。

### 4) 变容二极管

二极管结电容的大小除了与本身结构、工艺有关外, 还随反向电压的大小而变化。人们利用变容二极管的这一特性取代可变电容器的功能, 变容二极管多用于电视机、录像机、收录机的调谐电路和自动频率微调电路, 另外, 扫频仪中还常用变容二极管获得。图 1.21 所示为变容二极管的代表符号。

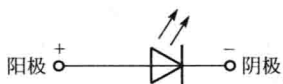


图 1.20 发光二极管的代表符号

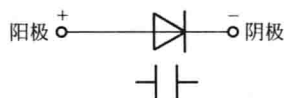


图 1.21 变容二极管的代表符号

## 6. 二极管整流电路

小功率直流电源因功率比较小, 通常采用单相交流供电, 因此, 本任务中只讨论单相整流电路。利用二极管的单向导电作用, 可将交流电变为直流电, 常用的二极管整流电路有单相半波整流电路、单相桥式整流电路、倍压整流电路等。

### 1) 单相半波整流电路

二极管最普遍的应用就是作为整流二极管, 利用其单向导电性, 把交流电源变成直流电源, 供有关设备使用。

图 1.22(a) 是单相半波整流电路, 该电路由变压器  $T_r$ 、整流二极管  $VD$  及负载  $R_L$  组成。

(1) 整流原理。设变压器二次绕组的电压为  $u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$ 。

① 在  $u_2$  正半周, a 端电压为正, b 端电压为负, 此时二极管  $VD$  承受正向电压而导通。负载上有电流通过。忽略二极管的正向压降, 负载上的电压  $u_o = u_2$ 。

② 在  $u_2$  负半周, a 端电压为负, b 端电压为正, 此时二极管  $VD$  承受反向电压而截

止。负载上没有电压和电流。因此在  $R_L$  上得到半波整流电压和电流，如图 1.22 (b) 所示。

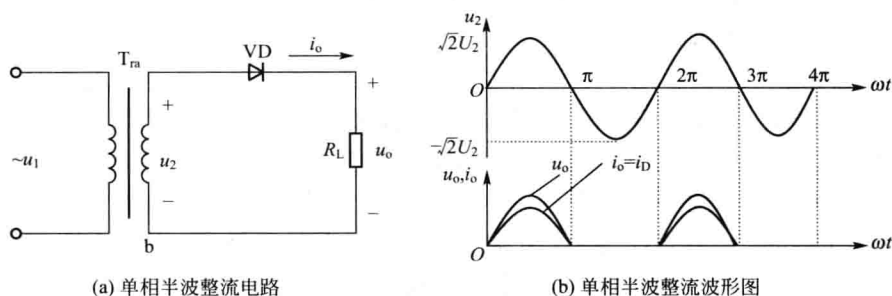


图 1.22 单相半波整流电路图

(2) 负载  $R_L$  上的电压及电流。负载上的输出电压  $U_L$  和电流  $I_L$  都是指一个周期内的平均值。 $U_0$  的计算如式(1.1)。

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_2 \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.45U_2 \quad (1.1)$$

流过电阻负载上的平均电流为

$$I_0 = \frac{U_0}{R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L} \quad (1.2)$$

流过二极管的电流平均值  $I_D$  为

$$I_D = I_0 \quad (1.3)$$

通过负载  $R_L$  的电流  $i_o$  以及电压  $u_o$  的波形如图 1.22(b) 所示。

(3) 选用二极管的原则。在交流电压的负半周，二极管截止，电压  $u_2$  全部加在二极管上，二极管所能承受的最高反向电压  $U_{DM}$  为  $u_2$  的峰值。

为了安全使用二极管，选用二极管必须满足以下原则。

① 二极管的最大整流电流  $I_{FM}$  必须大于实际流过二极管的平均电流  $I_D$ 。

$$I_{FM} \geq I_D = \frac{U_0}{R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L} \quad (1.4)$$

② 二极管的最大反向工作电压  $U_{RM}$  必须大于二极管实际所承受的最大反向峰值电压  $U_{DM}$

$$U_{RM} \geq U_{DM} \quad (1.5)$$

**例 1-1** 有一单相半波整流电路如图 1.22(a) 所示，负载  $R_L = 750\Omega$ ，变压器的二次绕组电压  $U_2 = 20V$ ，试求： $U_0$ 、 $I_0$  及  $U_{DM}$ ，并选用二极管。

**解：**  $U_0 = 0.45U_2 = 0.45 \times 20V = 9V$

$$I_0 = \frac{U_0}{R_L} = \frac{9}{750} A = 0.012A = 12mA$$

$$U_{DM} = \sqrt{2} \times 20V = 28.2V$$

$$I_D = I_0$$

查附录 B 可知，选用二极管 2AP4 ( $I_{FM} = 16mA$ ， $U_{DM} = 50V$ )，满足式(1.4)并留有安全余量。

单相半波整流电路的特点是结构简单，但输出电压脉动较大，且只有半波输出，电源利用率较低；由于变压器副边有直流电流通过，故会引起变压器发热而降低效率。



## 2) 单相桥式整流电路

为了克服单相半波整流电路的缺点,常采用单相桥式整流电路。它是由4个二极管接成电桥的形式构成,如图1.3所示。

## (1) 整流原理。

① 在  $u_2$  正半周, a 端电压为正, b 端电压为负, 此时二极管  $VD_1$ 、 $VD_3$  承受正向电压而导通, 二极管  $VD_2$ 、 $VD_4$  承受反向电压而截止, 负载上有电流通过。电流通路为  $a \rightarrow VD_1 \rightarrow c \rightarrow R_L \rightarrow d \rightarrow VD_3 \rightarrow b$ 。负载  $R_L$  上得到一个半波电压。波形如图 1.23 中的  $0 \sim \pi$  段所示。

② 在  $u_2$  负半周, a 端电压为负, b 端电压为正, 此时二极管  $VD_2$ 、 $VD_4$  承受正向电压而导通, 二极管  $VD_1$ 、 $VD_3$  承受反向电压而截止, 负载上有电流通过。电流通路为  $b \rightarrow VD_2 \rightarrow c \rightarrow R_L \rightarrow d \rightarrow VD_4 \rightarrow a$ 。负载  $R_L$  上得到另一个半波电压。波形如图 1.23 中的  $\pi \sim 2\pi$  段所示。

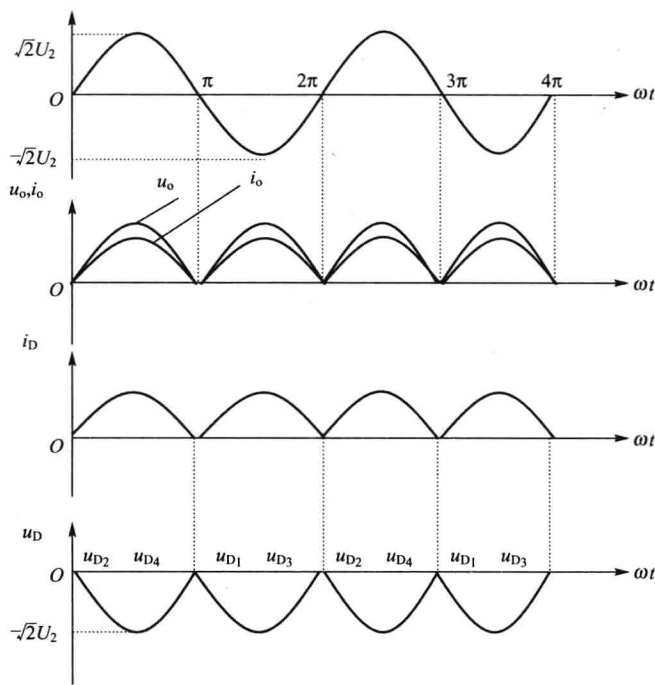


图 1.23 单相桥式整流电路波形图

(2) 负载上的电压及电流。由图 1.23 与图 1.22(b) 比较可以得知, 单相桥式整流电路的平均电压  $U_o$ 。比半波整流电路的平均电压增加了一倍, 所以

$$U_o = 2 \times 0.45U_2 = 0.9U_2$$

$$I_o = 0.9 \frac{U_2}{R_L}$$

(3) 选用二极管的原则。每只二极管只在半个周期内导通, 所以在一个周期内流过每个管子的平均电流只有负载电流的一半, 即  $I_{D} = I_o/2$ 。若  $VD_1$ 、 $VD_3$  两只二极管导通时, 就将  $u_2$  加到了二极管  $VD_2$ 、 $VD_4$  的两端, 使这两只二极管因承受反向电压而截止, 波形如图 1.24 所示, 即二极管承受的最高反向电压  $U_{DM} = \sqrt{2}U_2$ 。在桥式整流电路中, 二极管的选择原则仍然是:  $I_{FM} \geq I_D$ ,  $U_{RM} \geq U_{DM}$ 。