

794117

5094

高等学校试用教材

54254

# 电子技术基础

成都科技大学电工技术教研室



成都科技大学出版社

# 电子技术基础

成都科技大学电工技术教研室编

成都科技大学出版社

高等学校试用教材

## 电子技术基础

成都科技大学电工技术教研室编

责任编辑 宋远智

---

成都科技大学出版社出版、发行

四川石油管理局机关青年印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/32 印张52

1983年6月第1版 1986年6月第1次印刷

印数1—6000 字数26万字

统一书号：15475·2 定价1.9元

## 内 容 简 介

本书为电子技术基础试用教材，可供高等院校非电专业本科电子技术基础教学用书，亦可作电类专业大学专科和非电专业电视大学参考书。全书讲课时数约为60学时，实验约10学时。

本书主要内容有：半导体器件的外特性和动态电路模型；交流放大电路的放大原理及静态、动态分析计算；负反馈放大电路的判别和计算；振荡器；集成运算放大器的主要特点及线性、非线性应用；逻辑代数、逻辑门电路及组合逻辑电路的分析设计、组合逻辑部件；触发器及其它逻辑部件；直流稳压电源及可控整流电路。每章均附有一定数量的例题、习题及思考题。书末附有半导体器件型号命名方法及部分常用半导体器件参数供查阅。

## 前 言

近年来,电子技术已经和正在发生迅速而深刻的变化,应用范围深入到各个技术领域。在科研和生产中,人们已普遍采用各种线性和数字集成电路来替换各种电子线路。我国微型计算机的推广和应用,又给电子技术基础提出了新的要求。我们参考了过去几种自编讲义,重新编写了这本《电子技术基础》教材,以期能够跟上技术发展的步伐,适应教学改革的需要。

本书削减了一些行将过时的旧内容,加深、加宽了一些急需的新内容。编写中,我们的基本指导思想是:突出器件的外特性;运用电路分析中的方法来分析、计算小信号放大电路中的动态性能;引入单级和多级深度负反馈的计算;加强集成运算放大器的线性和非线性应用;增大脉冲数字电路的份量;加入微机中的电子线路。

全书共分六章,其中:第一章、第二章、第六章由陈玉华同志编写,第三章由孙先杰同志编写,第四章由董宝文同志编写,第五章由李兆孚同志编写。范新光同志负责汇总和整理。何开杰同志担任主审。

本书在编写过程中,得到了有关方面的大力支持。在此我们表示感谢!由于水平有限,错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

一九八六年四月

# 目 录

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| <b>第一章 半导体器件</b>      | 1   |
| 1-1 半导体               | 1   |
| 1-2 PN结               | 3   |
| 1-3 半导体单向导电器件——半导体二极管 | 5   |
| 1-4 硅稳压二极管            | 8   |
| 1-5 半导体控制元件——晶体管和场效应管 | 11  |
| 习题及思考题                | 32  |
| <b>第二章 交流放大电路</b>     | 35  |
| 2-1 放大电路的偏置方法         | 35  |
| 2-2 小信号放大电路的动态分析      | 45  |
| 2-3 功率放大电路            | 76  |
| 2-4 放大电路中的负反馈         | 91  |
| 2-5 正弦波振荡器            | 114 |
| 习题及思考题                | 122 |
| <b>第三章 集成运算放大器</b>    | 132 |
| 3-1 直接耦合放电路及其特殊问题     | 132 |
| 3-2 集成放大器简介           | 149 |
| 3-3 集成运算放大器的线性应用      | 157 |
| 3-4 集成运算放大器的非线性应用     | 178 |
| 习题及思考题                | 184 |
| <b>第四章 逻辑代数及逻辑电路</b>  | 193 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 4-1 数字电路概述.....             | 193        |
| 4-2 逻辑代数.....               | 194        |
| 4-3 逻辑门电路.....              | 201        |
| 4-4 组合逻辑电路的分析设计及组合逻辑部件..... | 228        |
| 习题与思考题.....                 | 249        |
| <b>第五章 触发器及其它逻辑部件</b> ..... | <b>254</b> |
| 5-1 双稳态触发器.....             | 254        |
| 5-2 寄存器.....                | 264        |
| 5-3 计数器.....                | 269        |
| 5-4 数字显示.....               | 275        |
| 5-5 单稳态触发器.....             | 281        |
| 5-6 多谐振荡器.....              | 288        |
| 5-7 施密特触发器.....             | 292        |
| 5-8 数字量与模拟量的相互转换.....       | 296        |
| 习题与思考题.....                 | 303        |
| <b>第六章 半导体直流电源</b> .....    | <b>308</b> |
| 6-1 不控整流电路.....             | 308        |
| 6-2 滤波电路.....               | 316        |
| 6-3 稳压电路.....               | 321        |
| 6-4 可控整流电路.....             | 330        |
| 6-5 单结晶体管触发电路.....          | 351        |
| 习题及思考题.....                 | 360        |
| 附录一 半导体器件型号命名方法.....        | 362        |
| 附录二 常用半导体器件的参数.....         | 364        |
| 附录三 集成电路型号命名.....           | 374        |

# 第一章 半导体器件

半导体器件在电子线路中起着支配地位的作用。在过去的二、三十年内，它们的几何尺寸和制造方法已经发生了迅速而深刻的变化。随着科学技术的发展和生产工艺的进步，人们已能把包含有成千上万个元器件集成在一块半导体芯片上。在这一章中，我们只就一些常见的半导体分立元件如二极管、稳压管、三极管（晶体管）和场效应管作一简要介绍。

## 1—1 半导体

半导体器件是由半导体材料作成的。因此在讲器件之前，先对半导体材料作一简略回顾是必要的。

世间一切物质如按其导电性能分类，除了有象金、银、铜、铝一类的导体和象陶瓷、橡胶一类的绝缘体之外，还有一类介于导体和绝缘体之间的物质，它们既不是很好的导体，也不是很好的绝缘体，我们把它叫作半导体。

半导体有着一些独特的性能，最重要的有以下三点：

### 一、导电能力与温度有关

半导体的导电能力与温度的关系极大。在绝对温度零度时，一块纯净的半导体（又称本征半导体）就象一块绝缘体。而在常温下（ $25^{\circ}\text{C}$ ），本征半导体受热激发将产生可供导电的载流子——电子（带负电）和空穴（带正电）。随着温度的升高，电子-空穴对的数目将急剧增加，因而其导电



能力也就随之增加。正是由于这个缘故,用半导体材料作成的器件,对温度是极为敏感的。在实际电路中常利用这一点来实现各种技术目的或采取适当措施来抑制温度对电路正常工作的影响,例如:

1. 利用半导体对温度的敏感性,可制成热敏电阻。热敏电阻是一种负阻器件,即它的阻值随温度的升高而减小,因此常用在温度检测装置和负反馈电路中。

2. 由于半导体器件易受温度的影响,为保证电路工作的稳定性,在安装管子时应使其远离发热元件(变压器、线绕电阻等)。

## 二、 掺杂能使半导体的导电能力显著增强

在一块纯净的半导体中,如果有选择性地加入微量的其它元素(又称杂质),就会使它的导电能力大为改观。人们正是利用半导体的这一特性,而制成了各种有用的半导体器件。根据掺入杂质的不同,可以得到如下两种不同类型的掺杂半导体:

### 1. N型半导体

如果在一块纯净的半导体材料(例如4价元素的硅或锗)中掺入5价元素的磷,就可使自由电子的数量显著增多。很显然,在这种掺杂半导体中,多数载流子(由加入杂质原子的数目决定)是电子,少数载流子(由热激发产生)是空穴。由于电子带负电,所以又常把这种半导体叫N型半导体。

### 2. P型半导体

如果在一块纯净的硅(或锗)半导体中,加入3价元素的硼,就可使空穴的数量显著增多。在这种掺杂半导体中,多

数载流子是空穴，少数载流子是电子。由于空穴带正电，所以又叫P型半导体。

需要指出的是：

(1) 无论是N型半导体还是P型半导体，虽然它们都有一种载流子占多数，但就整个晶体而言，仍然是电中性的。

(2) 在N型或P型半导体中，多数载流子的浓度与掺入杂质的数量有关，掺杂愈多，多数载流子的浓度也就愈大。而少数载流子的浓度则与掺杂无关，仅与温度有关，环境温度越高，由热激发产生的少数载流子也就越多。

### 三、光线照射可改变半导体的导电能力

半导体的导电性能与光照关系也很大，有光照射比无光照射时的导电能力要大得多。为避免光线的影响，一般半导体器件都用金属、塑料、玻璃（外面涂有黑漆）管壳封装。而在自动控制中用的光电二极管、光电三极管和光敏电阻等，恰好就是利用半导体的这种特性作成。

## 1—2 PN结

PN结是构成半导体三极管、二极管、晶体闸流管（简称晶闸管、俗称可控硅）等半导体器件的基础，较好地了解它的性能并灵活地加以运用，这对于今后的学习将带来极大的好处。

利用特殊的半导体制造工艺，使P型材料与N型材料生长在一起，于是在两种半导体材料交界面的附近，就会形成一个宽度一定的空间电荷区，如图1—1所示。我们把这个空

间电荷区叫做PN结。

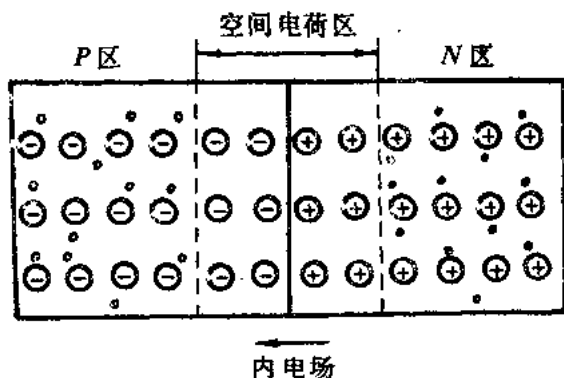


图 1-1 PN结示意图

○ 空穴    • 电子    ⊖ 负离子    ⊕ 正离子

从图上看，在这个区域内没有可供导电的载流子，只有一些不能移动的束缚电荷：靠P区一侧为负，靠N区一侧为正。因此，又把这个空间电荷区叫耗尽区，意思是说，在这个区域内电荷载流子消耗已尽，如同绝缘体一样。

PN结有一个十分可贵的特性——单向导电性：

1. 在PN结两端加正向偏置电压（P区接电源正极，N区经限流电阻接电源负极），这时空间电荷区变窄，正向电阻很小，流过PN结的正向电流近似等于电源电压除以限流电阻；

2. 在PN结上加反向偏置电压（P区接电源负极，N区接电源正极），这时空间电荷区加宽，反向电阻很大，PN结处于不导通（截止）状态，流过PN结的电流为反向电流。由于反向电流是由少数载流子形成的，故其值很小，

在一般情况下，可近似看作零，且具有饱和的特性，即反向电流与所加反向电压的大小无关。

## 1—3 半导体单向导电器件

### — 半导体二极管

二极管是一种单向导电的非线性元件，它广泛用于整流、检波和钳位、限幅电路中。

#### 一、结构和符号

半导体二极管，实际上就是一个 $PN$ 结加上相应的电极引线，并用金属、塑料或玻璃管壳封装而成。图1—2(a)为一只二极管的结构示意图，与 $P$ 区连接的引线为阳极，用 $A$ 表示，与 $N$ 区连接的引线为阴极，用 $K$ 表示。图1—2(b)为二极管的一般图示符号，箭头所指方向为二极管加正向电压时电流的方向。

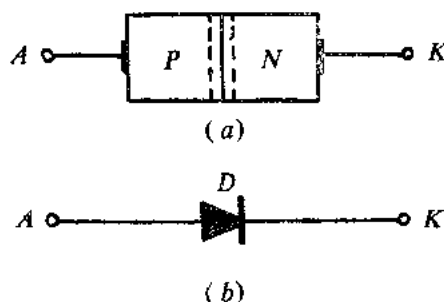


图 1-2 二极管的结构示意图和符号  
(a) 二极管示意图 (b) 二极管的图示符号

## 二、 $v-i$ 特性 (又叫伏安特性)

二极管是一个非线性元件,加在管子两端的电压 $v_D$ 与流过它的电流 $i_D$ 之间的关系,不能直接用欧姆定律来表示,一般是用实验的方法来得到。所谓 $v-i$ 特性曲线,就是将测试的电压、电流值运用作图的方法,在 $v-i$ 平面上连成的一条曲线。图1-3为二极管 $v-i$ 特性测试电路,图1-4为一只硅二极管 $v-i$ 特性曲线的一般化形状。

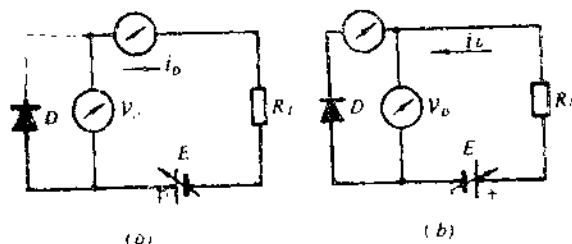


图1-3 二极管 $v-i$ 特性测试电路  
(a) 正向特性测试电路 (b) 反向特性测试电路

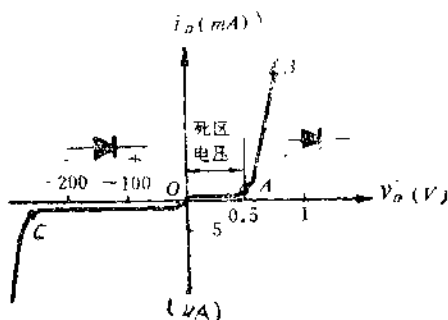


图1-4 硅二极管的 $v-i$ 特性曲线

从 $v-i$ 特性曲线上看,二极管工作时可分为三种情况:

### 1. 正向导通

在二极管两端加上正向偏置电压，如图1-3(a)所示。当 $U_D$ 小于死区电压值（对应于图1-4中的A点，硅管约为0.5伏，锗管约为0.1伏）时，流过管子的电流 $i_D$ 近似为零；而当 $U_D$ 大于死区电压值后， $i_D$ 随 $U_D$ 的增大按指数规律上升。 $U_D$ 愈大，曲线的斜率愈大，即电压的微小变化将引起电流很大的变化。可见，在正向偏置时（超过死区电压），二极管就处于正向导通状态，其正向电阻很小，管压降很低（硅管为0.7伏左右，锗管0.2左右），在电路中如同一个闭合的开关一样。

### 2. 反向截止

在二极管两端施加反向偏置电压，如图1-3(b)所示。当反向电压小于反向击穿电压值（对应于图1-4中的C点）时，管子呈现出很大的反向电阻，流过管子的反向电流很小，近似看作零，且与加在管子两端的反向电压大小无关。因此，工作于图1-4曲线上OC段的二极管处于截止状态，在电路中犹如一个断开的开关一样。

### 3. 反向击穿

当加于管子两端的反向电压达到或超过管子的反向击穿电压值时，管子即被反向击穿，这时流过管子的电流便急剧增大，如不采取措施，这种过大的反向电流与很高的反向电压，将产生很大的管耗，从而使管子过热损坏。无疑，这是我们所不希望的，故在运用中应竭力加以避免。

由上可见，二极管具有单向导电性，即正向偏置时导通，反向偏置时截止。

### 三、 二极管的主要参数

二极管的参数是选择管子的依据。这些参数可从半导体器件手册上查到。其主要参数的意义如下：

#### 1、 最大整流电流 $I_{0M}$

最大整流电流是指管子长期运行、 $PN$ 结温度不超过某一定值（硅管为 $140^{\circ}\text{C}$ ）时，所允许通过的最大正向平均电流。点接触型二极管（一般为锗管）通常为几十毫安（也有大电流的），面接触型二极管（一般为硅管）可达数百安培。当电流超过允许值时，管子性能将变坏，严重时会同因过热而损坏。

#### 2、 最高反向工作电压 $V_R$

二极管的最高反向工作电压，是在管子的参数变化不超过允许值的条件下所能容许施加的最高反向电压，一般规定为反向击穿电压值的一半或三分之二，以防反向击穿。选用二极管时，必须注意实际加到管子上的最高反向电压，特别是在交流电路中，因一般给出（或测出）的是交流电压的有效值，它的峰值应是有效值的 $\sqrt{2}$ 倍。

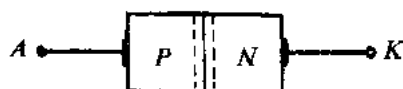
除上述两项主要参数外，还有一些诸如最大反向电流、最高工作频率、结电容等参数，在选用时也要给以注意。

### 1—4 硅稳压二极管

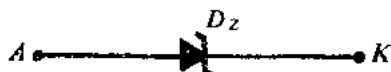
硅稳压二极管，俗称稳压管，它是一种特殊的、高掺杂的面接触型硅二极管，同样只具有一个 $PN$ 结和两个电极，其正向伏安特性与普通硅二极管完全一样。为了与普通硅二极管相区别，在电路中用图1—5（b）所示的符号来表示。

## 一、与硅二极管 的主要区别

1. 稳压管的掺杂浓度比普通硅二极管高，空间电荷区很窄，因而能在较低的反向电压下发生反向击穿；



(a)



(b)

图1-5 硅稳压二极管

(a) 实际硅稳压管

(b) 硅稳压管的图示符号

2. 稳压管工作在反向击穿区。参见图1-6,当加于管子两端的反向电压达到击穿电压值时,管子即被击穿,此时流

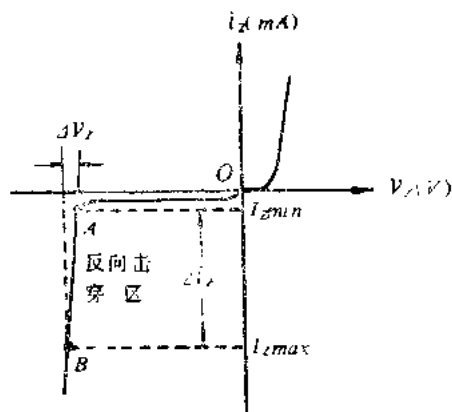


图1-6 稳压管的伏安特性

过管子的电流可以在一个较大的范围内变化,而它两端的电压几乎保持不变。在反向电压消失后,管子又恢复原有特性;

3. 稳压管在电路中的连接方式与普通硅二极管有以下三点不同(参见图1-7):

(1) 电源正端与稳压管的阴极相连,电源负端与稳压管的阳极相连;



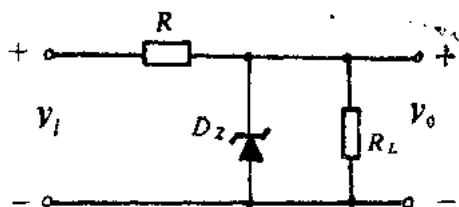


图1-7 硅稳压管稳压电路

(2) 负载电阻与稳压管并联。这样，在输入电压 $U_i$ 和负载发生变化时，利用稳压管的稳压特性，在负载上就可得到一个近似恒定的输出电压；

(3) 由于稳压管是与负载电阻相并联，因此，在稳压管与电源之间必须串接限流电阻 $R$ 。 $R$ 的作用有二：一是限制流过管子的最大电流，使管子不致损坏；二是将稳压管的电流变化转换成 $R$ 两端的电压变化，以维持输出电压稳定。

## 二、 稳压管的主要参数

### 1. 稳定电压 $V_z$

所谓稳定电压，是指稳压管在正常工作下管子两端的电压，通常把稳压管的反向击穿电压视为稳定电压。由于不同型号的管子掺杂浓度不同而有不同的稳压值，就是同一型号的管子，因制造时不可能精确地控制掺杂浓度，其稳压值也有较大的差别，例如2CW15，其稳压值为7~8.5伏。因此，在使用时应以实测的稳压值为准。

### 2. 稳定电流 $I_z$

稳压管具有稳压特性时的工作电流叫稳定电流，其值介于最小稳定电流 $I_{z\min}$ 和最大稳定电流 $I_{z\max}$ 之间（参见图