

075059

# 电子技术基础

魏之馨主编



电子工业出版社

## 内 容 提 要

《电子技术基础》是根据科技发展等新形势的需要编写而成的。一套共两册，第一册是《电工技术基础》，第二册是《电子技术基础》。

本书共七章，计：基本放大电路、集成运算放大器、直流电源、可控硅电路、门电路及组合逻辑电路、触发器及时序逻辑电路、自动控制系统。每章在讲述之外均有小结、习题，书后附有常用半导体器件的参数及逻辑代数运算法则等。为了帮助读者检查演算的习题是否正确，将部分习题答案写在书的末尾。

本书可作为工程技术人员系统学习电子技术的参考书，也可供高等工科院校非电专业师生学习使用。

## 电 子 技 术 基 础

魏之驊 主编

责任编辑 苏魁武

电子工业出版社 北京万寿路

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

长春大学印刷厂印刷

开本：850×1168毫米1/32 印张：11.625 字数：260千字

1987年7月第一版 1988年8月第二次印刷

印数：13001—28000册 定价：2.90元

统一书号：ISBN7-5053-0010-5/TN·6

## 前 言

《电子技术基础》是《电工技术基础》的姊妹篇，两本书都是根据科学技术发展的需要，由原机械工业部部属高等院校《电工学》课程协作组组织编写的。这是一本学习过《电工技术基础》之后继而学习电子技术基础的较好读物。

在编辑本书时，总结了多年的经验，尤其注意了提高起点、更新内容和增强实用性。为便于学习，书内编有较典型的例题、习题，每章均做了小结，并对书中一些习题做了解答。为有利于培养读者分析问题和解决问题的能力，书中还编写了自学内容和选学的参考资料。

本书第1、2章由湖南大学魏之馨编写；第3、4章由湖南大学吴振富编写；第5、6章由江苏工学院陈正传编写；第7章§7—1~§7—3由洛阳工学院常通义编写，§7—4~§7—5由洛阳工学院阎保定编写，全书由魏之馨主编。沈阳工业大学范振铨副教授担任主审，第1、2、章由安徽工学院罗会昌审阅，第3、4、章由太原重型机械学院张婕玲审阅，第5、6章由陕西机械学院王炳实审阅、第7章由吉林工学院肖元恺审阅。主审和审稿各位同志认真审阅书稿，提出许多宝贵意见，编者谨致以诚挚的谢意。

吉林工业大学张纯宝为本书绘制了全部插图，王汇平、王幼林、张淑琴、徐勇同志为本书的出版均作了很多工作，在此表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，书中必然存在不少错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

# 目 录

|                  |        |
|------------------|--------|
| 第一章 基本放大电路       | ( 1 )  |
| § 1—1 PN 结       | ( 1 )  |
| § 1—2 半导体二极管     | ( 3 )  |
| 一、二极管的特性         | ( 4 )  |
| 二、二极管的主要参数       | ( 6 )  |
| 三、二极管的应用举例       | ( 8 )  |
| § 1—3 专用二极管      | ( 11 ) |
| 一、稳压二极管          | ( 11 ) |
| 二、变容二极管          | ( 15 ) |
| 三、发光二极管          | ( 17 ) |
| § 1—4 半导体三极管     | ( 17 ) |
| 一、特性曲线           | ( 18 ) |
| 二、主要参数           | ( 22 ) |
| 三、参数与温度的关系       | ( 25 ) |
| § 1—5 晶体管放大电路    | ( 26 ) |
| 一、放大器的一般概念       | ( 26 ) |
| 二、放大器的组成         | ( 27 ) |
| 三、放大过程的图解分析      | ( 29 ) |
| 四、放大器的性能分析       | ( 41 ) |
| § 1—6 射极输出器      | ( 53 ) |
| § 1—7 互补对称功率放大电路 | ( 55 ) |
| * § 1—8 场效应管放大电路 | ( 61 ) |
| 一、绝缘栅场效应管        | ( 61 ) |

|                         |               |
|-------------------------|---------------|
| 二、场效应管放大电路·····         | ( 69 )        |
| 小 结·····                | ( 71 )        |
| 习 题·····                | ( 73 )        |
| <b>第二章 集成运算放大器·····</b> | <b>( 82 )</b> |
| § 2—1 运算放大器的基本概念·····   | ( 82 )        |
| 一、运算放大器的组成·····         | ( 82 )        |
| 二、运算放大器的符号与模型·····      | ( 83 )        |
| 三、运算放大器的基本特性·····       | ( 85 )        |
| § 2—2 差动放大电路·····       | ( 86 )        |
| 一、零点漂移·····             | ( 86 )        |
| 二、差动放大电路原理·····         | ( 87 )        |
| § 2—3 集成运算放大器·····      | ( 94 )        |
| 一、集成电路概述·····           | ( 94 )        |
| 二、集成运放简介·····           | ( 95 )        |
| § 2—4 运算放大器中的负反馈·····   | ( 98 )        |
| § 2—5 基本运算电路和负反馈类型····· | ( 103 )       |
| 一、反相输入运算电路·····         | ( 103 )       |
| 二、同相输入运算电路·····         | ( 108 )       |
| 三、差动输入运算电路·····         | ( 112 )       |
| 四、反相输入与同相输入的区别·····     | ( 115 )       |
| § 2—6 集成运放的应用·····      | ( 115 )       |
| 一、比例器·····              | ( 116 )       |
| 二、积分器·····              | ( 116 )       |
| 三、微分器·····              | ( 119 )       |
| 四、比较器·····              | ( 119 )       |
| 五、RC正弦波振荡器·····         | ( 122 )       |
| 六、电桥放大器·····            | ( 126 )       |

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| 七、精密整流电路.....             | ( 128 ) |
| 八、有源校正电路.....             | ( 129 ) |
| 九、实用举例.....               | ( 132 ) |
| 小    结.....               | ( 135 ) |
| 习    题.....               | ( 137 ) |
| <b>第三章 直流电源</b> .....     | ( 145 ) |
| § 3—1 整流电路.....           | ( 145 ) |
| 一、单相桥式整流电路.....           | ( 146 ) |
| 二、三相桥式整流电路.....           | ( 149 ) |
| § 3—2 滤波电路.....           | ( 155 ) |
| 一、电容滤波.....               | ( 155 ) |
| 二、电感滤波.....               | ( 157 ) |
| 三、复式滤波.....               | ( 158 ) |
| § 3—3 串联型稳压电路.....        | ( 159 ) |
| § 3—4 集成稳压电路.....         | ( 161 ) |
| 一、集成稳压电路的主要参数.....        | ( 162 ) |
| 二、W7800系列三端固定式集成稳压电路..... | ( 163 ) |
| 三、集成稳压电路应用举例.....         | ( 164 ) |
| 小    结.....               | ( 168 ) |
| 习    题.....               | ( 170 ) |
| <b>*第四章 可控硅电路</b> .....   | ( 173 ) |
| § 4—1 可控硅元件.....          | ( 173 ) |
| 一、可控硅的结构.....             | ( 173 ) |
| 二、可控硅的工作原理.....           | ( 174 ) |
| 三、可控硅的主要参数.....           | ( 176 ) |
| § 4—2 可控整流电路.....         | ( 176 ) |
| 一、单相桥式半控整流电路.....         | ( 177 ) |

|                  |       |
|------------------|-------|
| 二、三相桥式半控整流电路     | (182) |
| § 4—3 单结晶体管触发电路  | (188) |
| 一、单结晶体管          | (188) |
| 二、单结晶体管触发电路      | (190) |
| § 4—4 可控硅技术的其他应用 | (192) |
| 一、可控硅有源逆变电路      | (192) |
| 二、可控硅无源逆变电路      | (194) |
| 三、可控硅交流开关与交流调压   | (196) |
| 四、可控硅电路应用举例      | (198) |
| § 4—5 可控硅的保护     | (200) |
| 一、过电流保护          | (200) |
| 二、过电压保护          | (201) |
| 小    结           | (202) |
| 习    题           | (203) |
| 第五章 门电路及组合逻辑电路   | (206) |
| § 5—1 数字电路概述     | (206) |
| 一、数字电路和模拟电路      | (206) |
| 二、脉冲信号           | (206) |
| 三、二进制数           | (207) |
| § 5—2 基本逻辑门电路    | (209) |
| 一、与门电路           | (210) |
| 二、或门电路           | (211) |
| 三、非门电路           | (213) |
| 四、与非门、或非门        | (214) |
| § 5—3 TTL与非门     | (216) |
| 一、工作原理           | (216) |
| 二、介绍几个主要参数       | (217) |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| § 5—4 逻辑门电路的组合        | (218) |
| 一、已知逻辑图, 写出逻辑式        | (218) |
| 二、已知逻辑要求, 画出逻辑图       | (222) |
| § 5—5 编码器             | (225) |
| § 5—6 译码器和数码显示        | (227) |
| 一、荧光数码管               | (228) |
| 二、荧光数码管译码显示电路         | (229) |
| * § 5—7 MOS集成门电路      | (230) |
| 一、非门                  | (232) |
| 二、与非门、或非门             | (232) |
| 三、传输门                 | (233) |
| 四、三态门                 | (235) |
| * § 5—8 MOS组合逻辑电路举例   | (236) |
| 一、八通道数据选择器5G14512     | (236) |
| 二、MOS固定只读存储器          | (240) |
| 小 结                   | (242) |
| 习 题                   | (243) |
| <b>第六章 触发器及时序逻辑电路</b> | (250) |
| § 6—1 双稳态触发器          | (250) |
| 一、RS触发器               | (250) |
| 二、JK触发器               | (255) |
| 三、D触发器                | (258) |
| § 6—2 寄存器             | (260) |
| 一、数码寄存器               | (261) |
| 二、移位寄存器               | (262) |
| § 6—3 计数器             | (266) |
| 一、二进制加法计数器            | (266) |

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| 二、十进制加法计数器·····            | ( 268 ) |
| § 6—4 电平转换电路·····          | ( 273 ) |
| 一、晶体三极管接口电路·····           | ( 273 ) |
| 二、集成接口电路·····              | ( 275 ) |
| 三、光电耦合器接口电路·····           | ( 277 ) |
| § 6—5 555定时器·····          | ( 278 ) |
| 一、单稳态触发器·····              | ( 279 ) |
| *二、无稳态触发器·····             | ( 283 ) |
| *三、施密特触发器·····             | ( 284 ) |
| § 6—6 模拟量和数字量的转换·····      | ( 286 ) |
| 小 结·····                   | ( 293 ) |
| 习 题·····                   | ( 295 ) |
| *第七章 自动控制系统·····           | ( 302 ) |
| § 7—1 概述·····              | ( 302 ) |
| § 7—2 传感器·····             | ( 307 ) |
| § 7—3 闭环控制系统·····          | ( 310 ) |
| 一、调速的概念·····               | ( 311 ) |
| 二、转速负反馈系统(有静差调速系统)·····    | ( 313 ) |
| 三、无静差调速系统·····             | ( 314 ) |
| 四、随动系统·····                | ( 316 ) |
| § 7—4 闭环控制系统的传递函数和方框图····· | ( 317 ) |
| 一、元件的传递函数·····             | ( 318 ) |
| 二、控制系统的方框图及其变换·····        | ( 324 ) |
| 三、直流电动机调速系统的方框图和传递函数·····  | ( 327 ) |
| 四、电阻炉炉温控制系统的方框图和传递函数·····  | ( 329 ) |
| 五、位置随动系统的方框图与传递函数·····     | ( 331 ) |
| § 7—5 闭环控制系统的性能指标·····     | ( 333 ) |

|                     |         |
|---------------------|---------|
| 一、过渡过程的基本形式.....    | ( 333 ) |
| 二、系统的性能指标.....      | ( 336 ) |
| 小 结.....            | ( 338 ) |
| 习 题.....            | ( 339 ) |
| 附 录.....            | ( 343 ) |
| 附录一 半导体型号命名方法.....  | ( 343 ) |
| 附录二 常用半导体器件的参数..... | ( 346 ) |
| 附录三 逻辑代数运算法则.....   | ( 356 ) |
| 习题选答.....           | ( 359 ) |

# 第一章 基本放大电路

## § 1—1 PN结

从物理学中已知，在半导体中参与导电的有两种载流子，电子和空穴。在P型半导体中，空穴是多数载流子，简称多子，电子是少数载流子，简称少子；而在N型半导体，则电子是多数载流子，空穴是少数载流子。如果通过掺杂使一块半导体的一边形成N型半导体，而另一边形成P型半导体中，则在这两种半导体的交界处将形成一个具有特殊性质的称为PN结的薄层，如图1—1所示。PN结虽然只有微米数量级的宽度，但却具有十分重要的导电性能，它是各种半导体器件工作的基础。

### 一、无外加电压时的PN结

由于空穴在P型半导体中是多子（浓度大），而在N型半导体中是少子（浓度小），因此，空穴要从高浓度的P区向低浓度的N区扩散。同样，N区的电子则要向P区扩散，于是在靠近两种半导体交界面左侧的P型半导体将因跑掉了空穴而留下了不能迁移的负离子，右

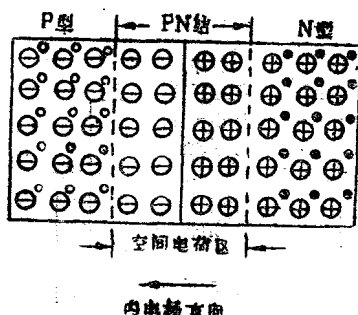


图1—1 PN结

侧的N型半导体则因跑掉了电子而只留下了正离子，这样，在交界面两侧的附近形成了一个不能移动的正、负离子区，叫做空间电荷区。在该区内的正、负电荷形成一个电场，称为内电场，其方向由N区指向P区。内电场对多子的扩散起阻碍作用，故也称空间电荷区为阻挡层，但对于少子则有助于它们越过PN结而进入对方，这种在电场作用下的载流子定向运动称作漂移。显然，此种漂移所形成的电流方向与扩散电流恰好相反，扩散积累了空间电荷，漂移则使空间电荷减少。可见，在半导体中，载流子的运动具有两种形式：扩散和漂移。在PN结中，多子的扩散和少子的漂移是互相联系的。最初是扩散占优势，随着扩散的进行，内电场形成并加强，于是扩散减弱，少子漂移加强。当多子的扩散与少子的漂移数目相等时，两种运动达到了动态平衡，空间电荷区的宽度相对稳定，这就形成了前面所说的PN结。这时的扩散电流和漂移电流大小相等，方向相反，整个半导体的总电流为零。处于平衡状态时，空间电荷区内的多数载流子基本上都扩散走了，或者说消耗尽了，因此，空间电荷区又称为耗尽区。

## 二、外加电压时的PN结

### 1、外加正向电压

将PN结外加正向电压——即外电源的正极接P区，负极接N区，见图1—2所示，这种接法叫做PN结的正向联接，也叫正向偏置。这时，外加电场与内电场的方向相反，削弱了内电场，扩散运动得到加强，动态平衡遭到了

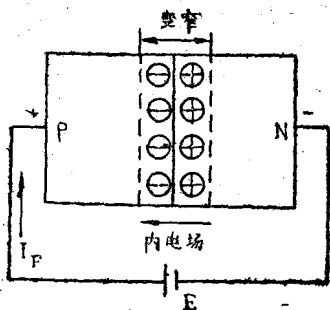


图1—2 PN结外加正向电压

破坏，扩散占优势，在电路中出现了扩散电流，也即正向电流  $I_F$ ，这时称PN结处于导通状态。由于外电场驱使P区的空穴、N区的电子向PN结移动，中和了部分空间电荷，故使阻挡层变窄。

## 2、外加反向电压

如图1—3所示，将外电源的正极接N区，负极接P区——称为PN结的反向联接或反向偏置，此时外电场与内电场同向，漂移得到加强而扩散无法进行下去，动态平衡同样遭到了破坏，电路中只有少数漂移形成的电流，即反向电流  $I_R$ 。

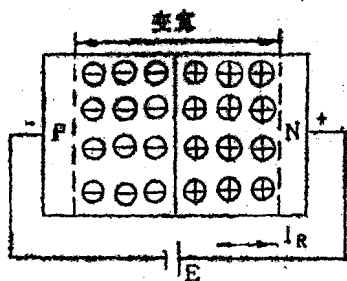


图1—3 PN结外加反向电压

由于少数浓度很小，因而反向电流远小于正向电流， $I_R \approx 0$ ，这时称PN结处于截止状态。由于这时的外电场驱使多子背离PN结而使空间电荷增加，故使阻挡层变宽。

可见，PN结的导电情况与外加电压有密切关系，外加正向电压时，PN结导通，有电流通过，外加反向电压时，PN结截止，几乎无电流通过。这就是PN结的单向导电特性。

## § 1—2 半导体二极管

半导体二极管也叫晶体二极管，简称二极管，它是由一个PN结加上相应的两根电极引线，再由管壳封装而成。接在P型半导体端的电极叫阳极（正极），接在N型半导体端的电极叫

阴极（负极），其图形符号如图1—4所示，实心箭头表示正向电流的方向

## 一、二极管的特性

二极管的性能常用伏安特性来表示，如图1—5所示，它是加到二极管两端的电压 $U$ 与流过管子的电流 $I$ 间的关系曲线，

通常可以通过实验或专用仪器测得。从所示特性曲线知，它可以分为三部分来分析：

（1）在第一象限的曲线是正向特性，与图中①段相对应。当正向电压很小时，正向电流几乎是零，只有在外加电压超过一定数值时，才有明显的正向电流，这个数值的电压称为死区电压，或开启电压，其大小与材料及环境温度有关。硅管的死区电压约为0.5伏左右，锗管约为0.1伏左右。

当外加电压高于死区电压后，电流随电压增长很快，这时二极管处于导通状态。曲线所示正向电流较大时，二极管两端电压变化很小，几乎接近一个常数，因此，通常假定在正向导通时，硅管的压降为0.6~0.7伏，锗管为0.2~0.3伏，而认为



图1—4 二极管的符号

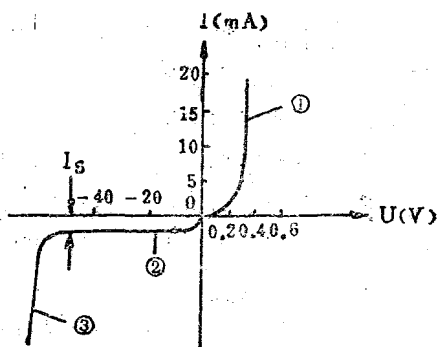


图1—5 锗二极管2AP15的伏安特性

该电压值与流过管子的电流无关。

(2) 在第三象限中对应于②段曲线是反向特性, 当反向电压较低时, 由少数载流子形成了反向电流, 但不论硅管或锗管, 常温下的反向电流都很小, 一般比正向电流小几个数量级。并且在电压的很大范围内基本不变, 称它为反向饱和电流 $I_s$ 。硅管的反向电流比锗管小得多。

(3) 对应于图中③段曲线为反向击穿特性。当反向电压增加到一定数值(反向击穿电压)时, 反向电流将突然激增, 这是外加电压过高, 外电场过强使PN结中的束缚电子也脱离共价键而形成新的电子——空穴对, 它们以及由热激发产生的载流子在强电场作用下加速并重复载流子的倍增过程, 致使反向电流猛增, 这种现象叫做反向击穿。正常使用的二极管不允许出现这种现象, 否则将使管子失去单向导电性而招致破坏。

从以上三个区域的分析看来, 整条特性的外观现象正反映了PN结内部的物理过程。必须注意到此处正、负横坐标刻度的不同: 当管子加上很小的正向电压(零点几伏)时, 就有一个较大的电流(几或十几毫安)通过, 管子呈低阻状态; 而当管子加上较高的反向电压

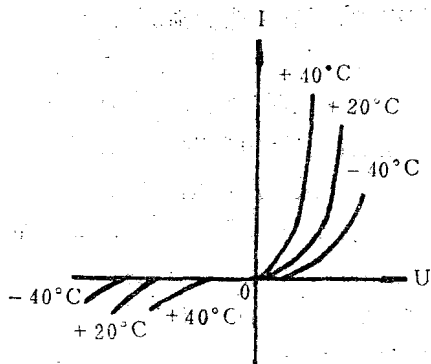


图1—6 温度对二极管特性的影响

(负几十伏)时, 基本上无电流通过, 管子呈高阻状态。这就是二极管的单向导电性能。

二极管的特性还会受温度的影响，因为温度的变化会引起半导体中由热激发而产生的载流子数量的变化。当温度升高时，正、反向电流都增加，反向电流增加得更快，而反向击穿电压则显著下降。图 1—6 为一个二极管在不同温度下的伏安特性曲线。硅二极管允许工作温度为  $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，锗二极管只允许工作在  $100^{\circ}\text{C}$  以下，因此大功率二极管几乎都是用硅制造的。

## 二、二极管的主要参数

二极管的性能除了用伏安特性表示外，还可利用一些称为参数的数据来描述。二极管的主要参数有下面几个：

### 1、最大整流电流 $I_{OM}$

它是指二极管长期使用时，允许流过二极管的最大正向平均电流。二极管使用时的工作电流应小于  $I_{OM}$ ，如果超过此值，将引起 PN 结过热而损坏管子。

### 2、最高反向工作电压 $U_{RM}$

就是保证二极管工作时不被击穿的最高反向电压值，一般它是反向击穿电压的一半或三分之二。

### 3、最大反向电流 $I_{RM}$

它是指在室温条件下，管子加上最高反向工作电压时的反向电流值。该值小，则说明管子的单向导电性能好，且受温度的影响小。硅管的反向电流较小，一般在几微安以下，而锗管则为硅管的几十到几百倍。

### 4、结电容与最高工作频率

二极管具有电容效应，因为在 PN 结内的正、负离子层相当于存储的正、负电荷，并且电荷量是随着外加电压的变化而变化的。PN 结内缺少载流子，电阻率很高，又相当于介质。这与极板带电时所形成的电容器的作用相似，故 PN 结相当于

一个电容，称为结电容，其大小与PN结的面积成正比，与耗尽层的宽度成反比。当外加电压改变时，耗尽层的宽度改变，结电容的大小也相应改变。

结电容的存在限制了二极管的工作频率，因为如果管子所加电压的频率极高，则形成的高频电流将直接从结电容通过而破坏了PN结的单向导电性，故每只二极管使用时都规定有一个最高工作频率。

### 5、二极管的电阻

二极管两端所加的直流电压 $U_D$ 与它所通过的直流电流 $I_D$ 之比，定义为二极管的直流电阻 $R_D$ ，即

$$R_D = \frac{U_D}{I_D}$$

设二极管工作于伏安特性曲线上的Q点。

(称工作点)，只要求出Q点对应的 $U_D$ 、 $I_D$ ，就可得到 $R_D$ 值，见图

1—7所示。通常用万用表测得的二极管电

阻，就是直流电阻，一般其正向电阻值为几十欧到几千欧，而反向电阻值大于几十千欧到几百千欧。

二极管在小信号运用时，还常需用到交流电阻(或称动态电阻、微变电阻) $r_D$ 这一参数，它的定义为特性曲线工作点附近电压的变化量 $\Delta U$ 与相应的电流变化量 $\Delta I$ 之比，即

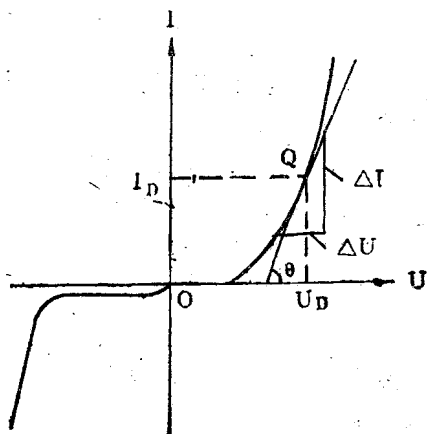


图1—7 由伏安特性求二极管电阻