

普通高等工科教育机电类规划教材

电子技术

徐晓光 主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等工科教育机电类规划教材

电 子 技 术

主编 徐晓光

参编 焦素敏 常晓玲

主审 张 钢

机 械 工 业 出 版 社

本书是根据“电子技术”课程的发展状况,集具有丰富教学经验教师的心得而编撰的新版教材。作者在内容编写与习题上均进行了精心设计。本书可以作为高等院校各相关专业“电子技术”课程教材。也可以供工程技术人员和教师参考。

全书内容包括:半导体和半导体器件、交流放大电路、集成运算放大电路、功率放大器、正弦波振荡电路、门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、可编程逻辑器件、直流电源电路、晶闸管及其应用、附录。各章后均附有小结、思考题与习题。书末还附有部分习题参考答案和中英文名词对照表。

本书文字简练,概念清楚,循序渐进,内容全面,理论联系实际,启发性强,便于自学。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/徐晓光主编. —北京:机械工业出版社, 2004.8

普通高等工科教育机电类规划教材

ISBN 7-111-14840-1

I. 电... II. 徐... 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 (2004) 第 064333 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 苏颖杰 责任编辑: 贡克勤 版式设计: 冉晓华

责任校对: 张媛 封面设计: 陈沛 责任印制: 李妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm $1/16$ ·16.25 印张·398 千字

定价: 24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

当今时代,电子技术的发展日新月异。新技术不断涌现,其应用也日益广泛。因此我们组织编写了这一本能够反映电子技术新发展的“电子技术”教材。

本教材充分考虑了“电子技术”课程教学的要求,在内容安排上既涵盖了课程必需的基本内容,又增加了许多能反映电子技术最新成就的相关内容。如:可编程逻辑器件、开关电源和电力电子晶体管等。

本教材适用于各类高校各类专业“电子技术”课程的教学需要。内容上包括了模拟电子技术和数字电子技术两大部分。书中带*的内容为选修内容,适合于对电子技术要求较高专业的教学需要,如:机电一体化专业、计算机类专业、数控技术专业等。

本教材由教学和科研经验丰富的教师编写完成,力图做到取材精炼、富有新意。整本教材在内容安排和习题选择上都精心进行了设计。

各教学班级可以根据自己的学时和教学要求,对教材的内容选择讲解,并挑选和布置适当的课后习题。

目前国内教材上电子元器件的图形符号和字母代号比较混乱。考虑到与国际上接轨,除可编程逻辑器件这一章外,本书采用了 GB/T 4728—1996~2000 年新版符号。

教材的编写情况为:主编徐晓光编写第 1~7、9 章及附录,焦素敏编写第 8 章,常晓玲编写第 10 章。

本书由张钢副教授担任主审。他对教材进行了认真的审阅,并提出了许多很有价值的修改建议,在此表示由衷的谢意。

本教材的编写过程中得到了学校各级领导的大力支持,在此向他们表示衷心的感谢。另外,教材的编写还参考了大量的参考文献与资料,在此向相关书籍和文章的作者表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处。敬请广大读者提出批评和修改意见。

作者 Email: Xuxiaoguang01@163.com

编 者

目 录

前言

第 1 章 半导体和半导体器件 1

- 1.1 半导体的基本知识 1
- 1.2 PN 结及其特性 2
- 1.3 半导体二极管 5
- 1.4 特殊二极管 10
- 1.5 双极型晶体管 13
- 1.6 场效应晶体管 19
- 本章小结 24
- 思考题与习题 25

第 2 章 交流放大电路 31

- 2.1 基本交流放大电路的组成 31
- 2.2 放大电路的分析 31
- 2.3 静态工作点的稳定 34
- 2.4 微变等效分析法 36
- 2.5 射极输出器 40
- 2.6 多级放大电路 42
- 2.7 场效应晶体管放大电路 45
- 2.8 负反馈放大电路 48
- *2.9 负反馈放大电路的近似估算 52
- 本章小结 57
- 思考题与习题 57

第 3 章 集成运算放大器 67

- 3.1 概述 67
- 3.2 差动放大器 68
- 3.3 运算放大器及其主要参数 70
- 3.4 运算放大器的基本应用电路 72
- 3.5 运算放大器的线性应用 74
- 3.6 运算放大器的非线性应用 79
- 3.7 运算放大器的实际应用问题 81
- 本章小结 83
- 思考题与习题 83

第 4 章 功率放大电路 89

- 4.1 概述 89

- 4.2 互补对称功率放大电路 89

- 4.3 集成功率放大器 93

- *4.4 功率放大器实例 94

- *4.5 BTL 功率放大电路 94

- 4.6 大功率晶体管的散热问题 96

- 本章小结 96

- 思考题与习题 97

第 5 章 正弦波振荡电路 100

- 5.1 正弦波振荡的条件 100

- 5.2 RC 正弦波振荡电路 101

- 5.3 LC 正弦波振荡器 104

- 5.4 石英晶体振荡电路 109

- 5.5 LC 正弦波振荡电路应用举例 111

- 5.6 集成函数发生器 111

- 本章小结 112

- 思考题与习题 112

第 6 章 门电路和组合逻辑电路 116

- 6.1 数字电路基础知识 116

- 6.2 基本逻辑门电路 118

- 6.3 逻辑代数 122

- *6.4 卡诺图分析法 125

- 6.5 加法器 128

- 6.6 编码器 130

- 6.7 译码器与数码显示 131

- 6.8 数据选择器与数据分配器 135

- 本章小结 136

- 思考题与习题 136

第 7 章 触发器与时序逻辑电路 140

- 7.1 双稳态触发器 140

- 7.2 寄存器 143

- 7.3 计数器 144

- 7.4 数/模转换与模/数转换 148

- 7.5 集成 555 定时器电路 151

- 7.6 TTL 与 CMOS 数字集成电路概览 152

7.7 数字电路应用举例	152	10.1 晶闸管及其特性	202
本章小结	158	10.2 晶闸管整流电路	206
思考题与习题	158	10.3 单结晶体管触发电路	210
*第8章 可编程逻辑器件	160	10.4 晶闸管的保护	214
8.1 概述	160	*10.5 现代电力电子器件及其应用	216
8.2 PAL 和 GAL	163	本章小结	224
8.3 CPLD 和 FPGA	173	思考题与习题	225
8.4 ISP 技术与 ISP 器件	177	附录	226
本章小结	180	附录 A 半导体器件型号命名法	226
思考题与习题	181	附录 B 常用二极管、晶体管参数表	229
第9章 直流电源电路	182	附录 C 部分数字集成电路品种、型号和管脚引线图	231
9.1 整流电路	182	附录 D 常用线性集成电路参数表	234
9.2 滤波电路	187	附录 E 新旧图形符号对照表	236
9.3 稳压电源电路	190	附录 F 电子技术词汇英汉对照表	237
9.4 集成稳压器	193	部分习题参考答案	249
*9.5 开关电源电路	195	参考文献	252
本章小结	198		
思考题与习题	199		
第10章 晶闸管及其应用	202		

第 1 章 半导体和半导体器件

半导体器件是组成电子电路的重要元件。它们有半导体二极管、双极型晶体管、场效应晶体管和半导体集成电路等。学习半导体器件的基本知识，掌握半导体器件的应用，是本课程的重要内容。

本章将介绍半导体的基本知识和半导体二极管、晶体管的结构、工作原理、特性曲线、主要参数等，为学习后续内容提供必要的基础知识。

1.1 半导体的基本知识

1.1.1 本征半导体

半导体是导电能力介于导体与绝缘体之间的一类物质。实际上，除了导电能力之外，半导体还具有许多与其他物质不同的特点。如受到外界光和热的刺激时，其导电性能将发生显著的变化。又如在纯净的半导体中加入微量的杂质，其导电能力会明显地增强。另外，半导体对许多别的外界因素也十分敏感。如：磁场、应力、辐射等。总之，半导体是一类非常特殊的物质。它可以制成各种半导体器件，用于科技、工业、生活等各个领域。

目前常用于制造半导体器件的半导体材料有：硅（Si）、锗（Ge）和砷化镓（GaAs）等。

所谓本征半导体是指纯净、完美的半导体。硅、锗都是四价元素，其原子核最外层有四个价电子。它们的晶体为共价键结构，如图 1-1 所示。

本征半导体中每个硅原子最外层的价电子在被共价键束缚时，不能自由运动，称为束缚电子。当价电子全部为束缚电子时，本征半导体是不导电的。

但是，当温度升高或受到外界激发（如光照）时，共价键中的某些电子就会获得能量，摆脱共价键的束缚，成为自由电子。这时，在原来的共价键中留下空位。这些空位很容易被邻近共价键中的价电子填补掉，并在邻近的共价键中产生出新的空位，所以，空位也是可以运动的。这种可以自由运动的空位称为空穴，如图 1-2 所示。

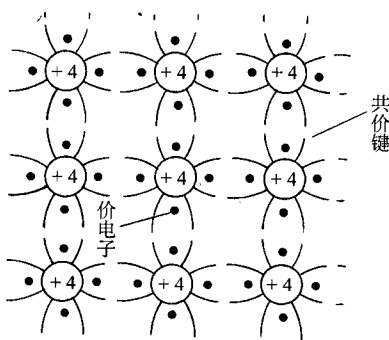


图 1-1 硅或锗晶体中的共价键

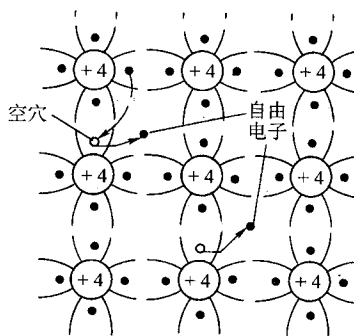


图 1-2 本征激发产生电子和空穴

空穴运动虽然是带负电的价电子运动造成的，但其效果却相当于带正电荷的粒子的运动。可以认为，空穴是一种带正电荷的载流子。因此，半导体中有两种载流子，它们是：带负电荷的自由电子（简称电子）和带正电荷的空穴。

本征半导体中的载流子——电子和空穴，是成对产生的，称为电子-空穴对。两种载流子都可以传导电流。在常温下，本征半导体中的载流子浓度很低，导电能力较差。但当温度升高时，半导体中的载流子浓度按指数规律增加。因此，半导体的导电能力将随温度的增加而显著增加，这是半导体的一个重要特性。

1.1.2 P型半导体和N型半导体

为了制造半导体器件，人们在纯净的半导体中掺入特定的杂质。如果在纯净半导体中掺入微量的三价元素，如：硼（B）等，由于硼原子比半导体原子少一个价电子，所以在形成共价键时，就产生了一个空穴。所以掺入微量的三价元素后，就会使半导体中的空穴浓度大大增加，半导体的导电能力明显提高。这种空穴（多子）浓度高于电子（少子）浓度、主要靠空穴导电的半导体，称为P型半导体。反之，如果在纯净半导体中掺入微量的五价元素，如磷（P）等，由于磷原子比半导体原子多一个价电子，所以在形成共价键时，就会产生一个自由电子。所以掺入微量的五价元素后，就会在半导体中产生许多自由电子。这种多子为自由电子，少子为空穴、主要靠电子导电的半导体，称为N型半导体。

P型半导体和N型半导体的结构如图1-3、图1-4所示。

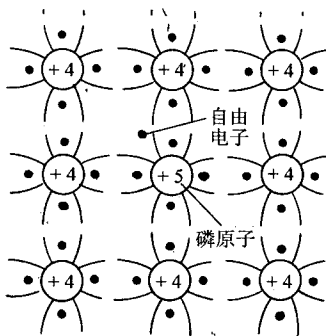


图 1-3 N型半导体晶体结构

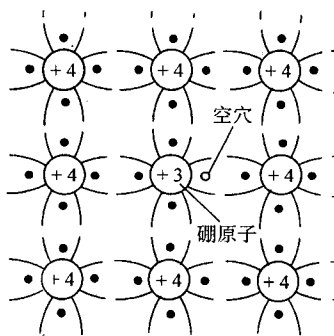


图 1-4 P型半导体晶体结构

无论是P型半导体还是N型半导体，多数载流子的浓度主要由掺入杂质的多少控制，少数载流子的浓度主要由本征激发决定。但整个晶体中的正负电荷数量始终是相等的，是电中性的。

1.2 PN结及其特性

采用特定的制造工艺，使半导体的一边为P型半导体，另一边为N型半导体，则在它们的交界面上就形成了一个PN结。

1.2.1 PN结中载流子的扩散运动

如图1-5所示，在P型半导体中，空穴浓度远远高于电子浓度，而在N型半导体中，电子浓度远远高于空穴浓度。因此，PN结中存在着空穴和电子的浓度差。载流子在浓度差的作用下，必然自发地从浓度高处向浓度低处运动。这种由浓度差引起的载流子运动称为扩散

运动。

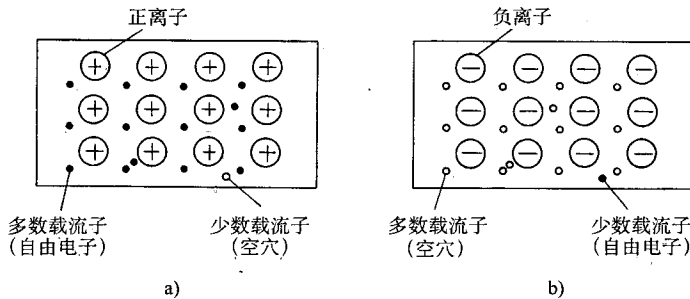


图 1-5 N 型半导体和 P 型半导体

a) N 型半导体 b) P 型半导体

PN 结中扩散运动的结果是：在界面附近的 P 区一侧，失去空穴留下不能移动负离子而带负电荷。在 N 区一侧，失去电子留下正离子而带正电荷。这样，就在交界面的两侧出现了由不能移动的正负离子形成的空间电荷区。空间电荷区中产生了一个从 N 区指向 P 区的电场。该电场是由载流子扩散而形成的，称为内电场。由于空间电荷区中没有载流子，所以空间电荷区也称耗尽层，如图 1-6 所示。

1.2.2 PN 结中载流子的漂移运动

PN 结中的内电场将会使 P 区的电子向 N 区运动，同时使 N 区的空穴向 P 区运动。载流子在电场力作用下的运动称为漂移运动。

扩散运动与漂移运动的方向是相反的，其作用也是矛盾的。但二者又是有联系的。

起初，空间电荷区较小，内电场较弱，扩散运动占优势。以后，随着扩散运动的进行，空间电荷区不断扩大，内电场不断增强，对多数载流子扩散的阻力不断增大，但少数载流子的漂移不断增强。最后，扩散运动与漂移运动达到了动态平衡，空间电荷区的宽度也相对稳定下来。此时，流过 PN 结的扩散电流与漂移电流大小相等，方向相反，总电流保持为零。

1.2.3 PN 结的单向导电性

1. PN 结外加正向电压

通常我们将外加在 PN 结上的电压称为偏置电压。如果 PN 结的 P 区电位高于 N 区电位，称为正向偏置，简称正偏。

当 PN 结正偏时，外加电场与内电场方向相反，使空间电荷区变窄，所以多子的扩散运动增强，形成较大的扩散电流，其方向由 P 区流向 N 区，称为正向电流 I_F 。在一定范围内，外加正向电压 U_F 越大，正向电流 I_F 越大，PN 结呈低阻导通状态。在 PN 结作开关使用

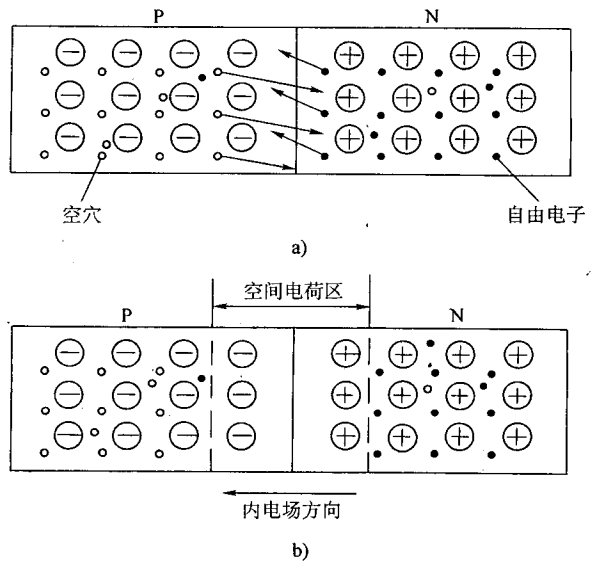


图 1-6 PN 结的形成

a) 载流子的扩散运动 b) PN 结的内电场

时, 相当于开关的闭合。

为了限制过大的 I_F , 回路中串入了限流电阻 R , 如图 1-7a 所示。

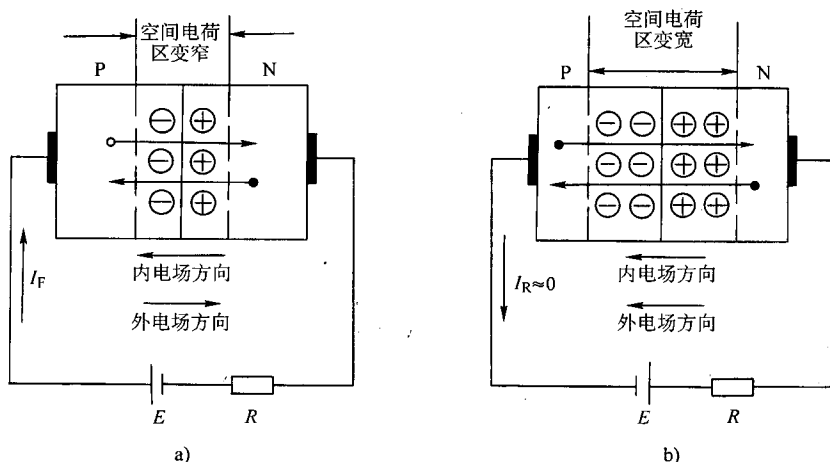


图 1-7 PN 结的单向导电性

a) 正向偏置 b) 反向偏置

2. PN 结外加反向电压

如果 PN 结的 P 区电位低于 N 区电位, 称为反向偏置, 简称反偏。当 PN 结反偏时, 外加电场与内电场方向相同, 使空间电荷区变宽, 所以多子的扩散运动受到抑制, 这时流过 PN 结的电流, 主要是空间电荷区中由本征激发而产生的少子所形成的漂移电流, 其方向由 N 区流向 P 区, 称为反向电流 I_R 。

当温度一定时, 少数载流子的浓度不变, 因此 I_R 的大小几乎不随外加电压而变化。所以, 又称为反向饱和电流。在常温下, 反向饱和电流很小, 一般可以忽略。此时 PN 结呈高阻截止状态, 相当于开关的断开, 如图 1-7b 所示。

PN 结在正偏时, 呈导通状态; PN 结在反偏时, 呈截止状态。所以 PN 结具有单向导电性。

应当注意的是: 当反向电压超过一定数值后, PN 结将发生反向击穿。此时, 反向电流将急剧增大, 单向导电性被破坏。

1.2.4 PN 结的结电容

PN 结还具有一定的电容效应。PN 结的结电容包括势垒电容 C_B 和扩散电容 C_D 两部分。

势垒电容是由空间电荷区引起的。当外加电压变化时, 空间电荷区的宽度随之变化; 空间电荷区中的电荷也相应改变。这种特性就用势垒电容 C_B 来描述。

扩散电容 C_D 是由多数载流子扩散引起的。当 PN 结正偏时, 多子扩散过 PN 结, 且在结的边缘处形成一定的电荷积累。当正向电压增大时, 电荷积累增加; 反之, 电荷积累减少。这种特性, 我们用扩散电容 C_D 来描述。

当 PN 结正偏时, 扩散电容效应远大于势垒电容; 当反偏时, 势垒电容效应远大于扩散电容。

PN 结的结电容是非线性电容, 其大小随外加电压变化而变化。

PN 结的结电容数值较小, 其效应对低频电路影响不大, 但高频电路必须考虑其影响。

1.3 半导体二极管

1.3.1 二极管的结构和类型

半导体二极管是最简单的半导体器件。它由一个 PN 结、两根电极引线并用外壳封装而成。从 PN 结的 P 区引出的电极称为阳极（正极）；从 PN 结的 N 区引出的电极称为阴极（负极）。

几种常见的二极管的外形如图 1-8a 所示，二极管的图形符号如图 1-8b 所示。

二极管的种类很多，按制造材料分，有硅二极管、锗二极管等；按用途分，有整流二极管、开关二极管等；按结构工艺分，有面接触型、点接触型等。

常用的较大功率的整流二极管为面接触型结构的。它的 PN 结面积较大，允许流过较大的电流，同时其结电容也大，适应于工作在较低频率（几十千赫以下）上，其结构如图 1-9b 所示。

点接触型二极管的结构如图 1-9a 所示。它的 PN 结面积很小，结电容也小，适用于高频（几百兆赫）、小电流（几十毫安以下）的场合，主要应用于高频检波、小功率整流等。

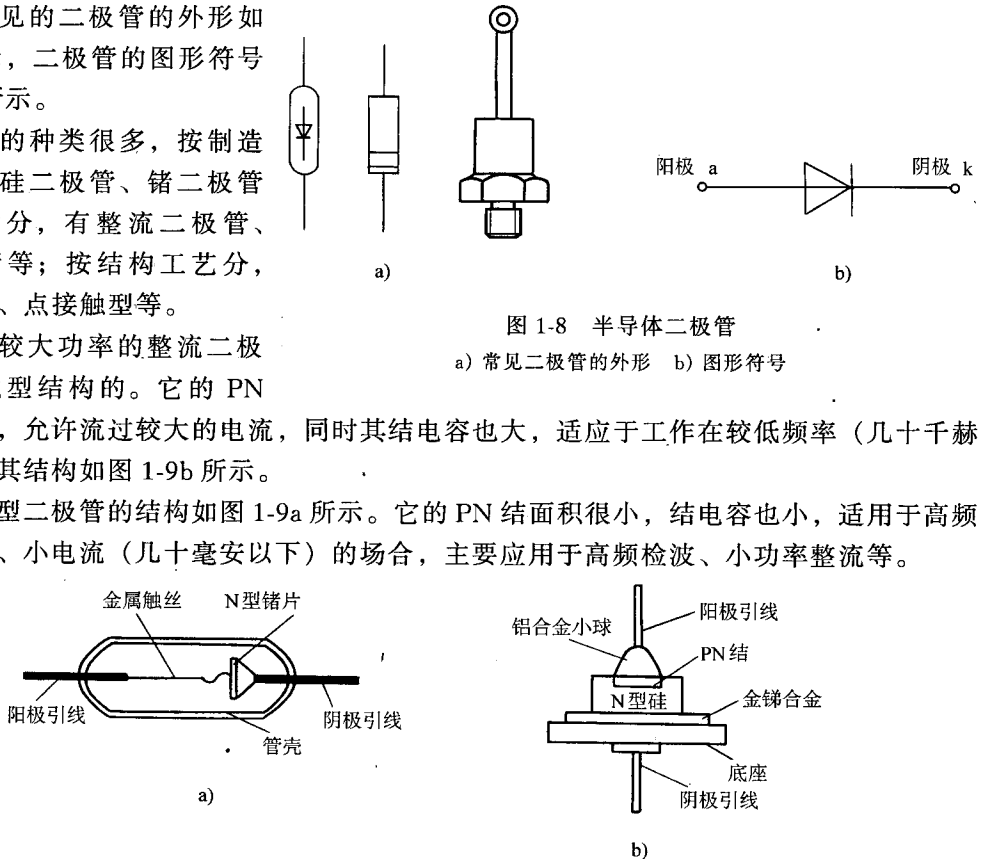


图 1-8 半导体二极管
a) 常见二极管的外形 b) 图形符号

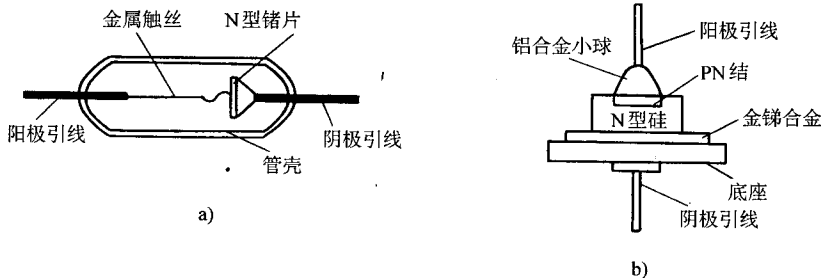


图 1-9 半导体二极管的结构
a) 点接触型 b) 面接触型

1.3.2 二极管的伏安特性

1. PN 结的伏安特性方程

根据理论分析，PN 结两端的电压 U 与流过 PN 结的电流 I 之间的关系可用下面方程表示：

$$I = I_s (e^{\frac{U}{U_T}} - 1) \quad (1-1)$$

式中， I_s 为 PN 结的反向饱和电流； $U_T = kT/q$ 称为温度电压当量，其中 k 为玻耳兹曼常数 ($1.380 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)， T 为热力学温度， q 为电子的电量 ($1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$)；在常温 ($T = 300 \text{ K}$) 时， $U_T \approx 26 \text{ mV}$ 。

式中, U 和 I 的参考方向都是由 P 指向 N 的。

由式 (1-1) 可见, 当 $U=0$ 时, $I=0$; 当 PN 结正偏 ($U>0$) 且 $U \gg U_T$ 时, $I \approx I_s e^{\frac{U}{U_T}}$, I 随 U 按指数规律增大; 当 PN 结反偏 ($U \ll U_T$) 时, 则 $I \approx -I_s$, 其大小与外加电压 U 无关。

二极管的核心是一个 PN 结, 所以它的伏安特性与式 (1-1) 基本相同。但是由于存在引线的接触电阻、半导体的体电阻和表面漏电流等因素, 实际的二极管伏安特性与式 (1-1) 略有差别。

2. 二极管的伏安特性

实际的二极管伏安特性如图 1-10 所示。

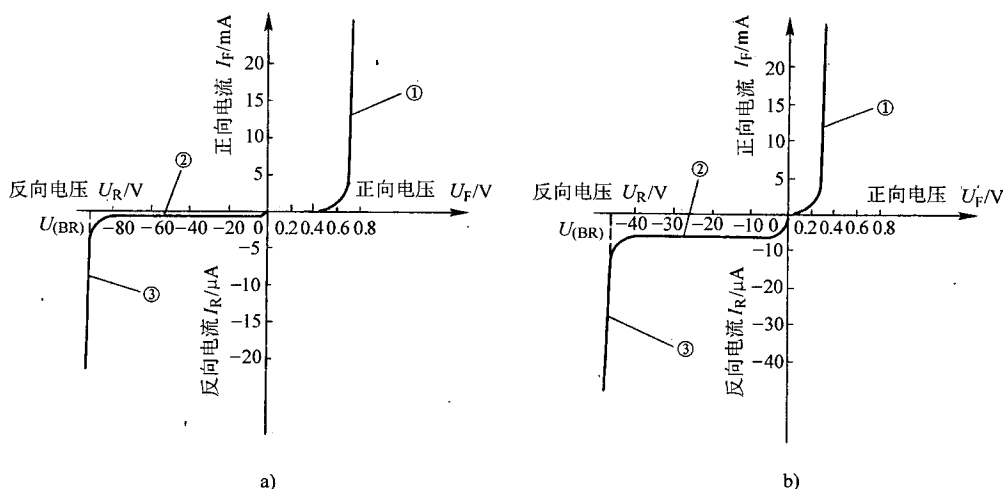


图 1-10 半导体二极管的伏安特性曲线

a) 硅二极管的特性曲线 b) 锗二极管的特性曲线

(1) 正向特性 当外加正向电压时, 二极管导通产生正向电流, 如图 1-10 中曲线①段所示。从图中可以看出: 当正向电压数值较小时, 由于外电场较小, 尚不足以克服内电场对多数载流子扩散运动的阻力, 正向电流几乎为零, 这个区域称为死区 (没有反应的意思)。当正向电压增大超过某一数值后, 二极管导通, 正向电流随正向电压增加而迅速增大。这个电压 U_{on} 称为门坎电压或阈值电压。

二极管导通后, 在正常使用的电流范围内, 其正向电压数值很小, 且基本上恒定。对于小功率硅管约为 $0.6 \sim 0.8V$ (典型值取 $0.7V$), 对于锗管, 约为 $0.2 \sim 0.3V$ (典型值取 $0.3V$)。

(2) 反向特性 当外加反向电压时, 在小于反向击穿电压的范围内, 由少数载流子产生反向饱和电流, 其数值很小。一般硅管的反向饱和电流比锗管的要小得多。小功率硅管的反向饱和电流约为几百纳安, 锗管约为几十微安, 如图 1-10 中曲线②所示。

(3) 反向击穿特性 当外加反向电压增大至某一数值 $U_{(BR)}$ 时, 反向电流急剧增大, 这种现象称为二极管的反向击穿, $U_{(BR)}$ 称为反向击穿电压, 如图 1-10 中曲线③所示。二极管的反向击穿电压一般在几十伏至几千伏之间。

在反向击穿时,只要反向电流不是很大,PN结未被损坏;当反向电压降低后,二极管将退出击穿状态,仍恢复单向导电性。这种击穿也称为PN结的电击穿。

如果在反向击穿时,流过PN结的电流过大,使PN结温度过高而烧毁,就会造成二极管的永久损坏,这称为PN结的热击穿。

一般地,半导体器件在正常工作时,硅管允许的最高结温约为 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$,锗管约为 $75\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。

3. 温度对二极管特性的影响

当温度变化时,二极管的反向饱和电流与正向压降将会随之变化。

当正向电流一定时,温度每增加 1°C ,二极管的正向压降约减少 $2\sim 2.5\text{mV}$ 。

温度每增高 10°C ,反向饱和电流约增大一倍。

温度对二极管特性的影响如图1-11所示。

【例1-1】 二极管电路如图1-12所示,设二极管为硅管,试计算回路中的电流 I_D 。

解: 首先要判断电路中二极管VD是否导通。在此,可先假设把二极管移去,然后对余下的二端线性网络应用戴维南定理,其等效电路如图1-13所示。如果等效的电动势 $E' > 0$,则二极管导通,否则二极管截止。

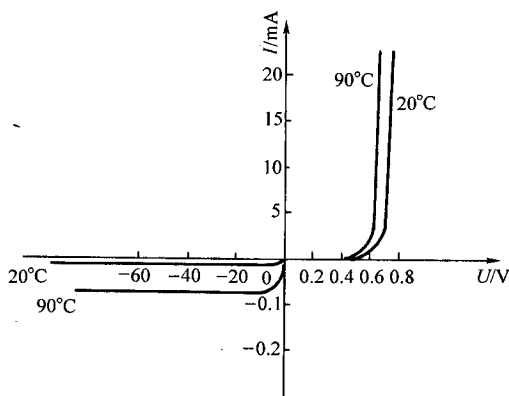


图1-11 温度对二极管特性曲线的影响

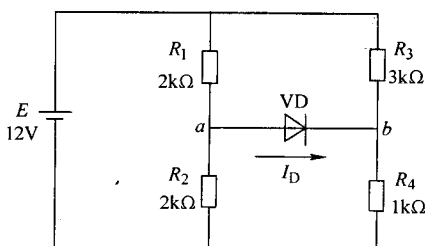


图1-12 [例1-1]的电路

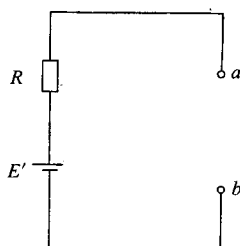


图1-13 戴维南等效电路

根据戴维南定理,有

$$E' = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} - E \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 6\text{V} - 3\text{V} = 3\text{V}$$

$$R = R_1 // R_2 + R_3 // R_4 = \frac{7}{4}\text{k}\Omega$$

所以,二极管导通。

$$I_D = \frac{E' - U_D}{R} = \frac{3\text{V} - 0.7\text{V}}{\frac{7}{4}\text{k}\Omega} = 1.31\text{mA}$$

【例1-2】 试判断图1-14中电路中的二极管是导通还是截止?并求出A0两端的电压 U_{A0} 。(设二极管为理想器件)

解: 首先判断电路中两个二极管的工作状态。

因为二极管导通后,其正向压降基本恒定(理想器件正向压降为零),又由于 VD_1 、 VD_2 所在的两条支路相互并联;故可以看出:在 VD_1 、 VD_2 两者中,只能有一个导通,且只能是 VD_2 导通。

又因为电路满足 VD_2 导通的条件,所以电路的状态为: VD_1 截止、 VD_2 导通。

$$U_{A0} = E_2 = 15V$$

1.3.3 二极管的使用常识

1. 二极管的主要参数

(1) 最大整流电流 I_F I_F 是二极管长期运行允许通过的最大正向平均电流。它由 PN 结的面积和散热条件所决定,使用时不得超过此值,否则会烧坏管子。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM} 它是指允许加在二极管上的反向电压的最大值(峰值)。一般地,最高反向工作电压约为击穿电压的一半。

(3) 反向饱和电流 I_R 它是在室温下,二极管两端加上规定的反向电压时的反向电流。其数值越小,管子的单向导电性越好。它随温度升高而增大。

此外,二极管的参数还有最高工作频率、正向压降、结电容等,不再一一说明。

2. 二极管的应用

二极管在使用时,应考虑不超过 I_F 、 U_{RM} 等极限参数,以保证二极管不致于损坏。一般地,硅管适用于正向电流大、反向电压高、反向电流小的应用场合。锗管适用于正向压降小、工作频率高的场合。下面介绍几种常见的二极管应用电路。

(1) 整流电路 利用二极管的单向导电性,将交流电变换为单向脉动直流电的电路,称为整流电路。常见的有单相半波、全波和桥式整流电路等。

图 1-15 所示的单相半波整流电路的工作原理如下:

设电源变压器 T 二次绕组的电压

$$u_2 = \sqrt{2} U_2 \sin \omega t$$

当 u_2 为正半周时,二极管 VD 正偏导通。电流经 VD、 R_L 、变压器二次侧流通。在 R_L 上得到与 u_2 正半波相同的电压 u_o ,如图 1-16b 中的 $0 \sim \pi$ 段所示。

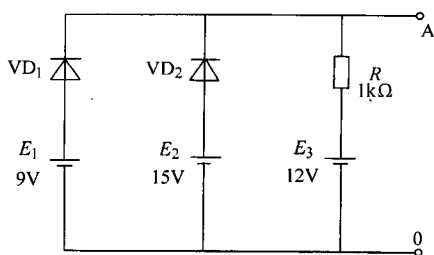


图 1-14 [例 1-2] 的电路

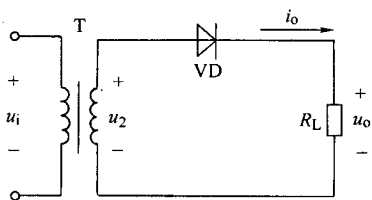


图 1-15 单相半波整流电路

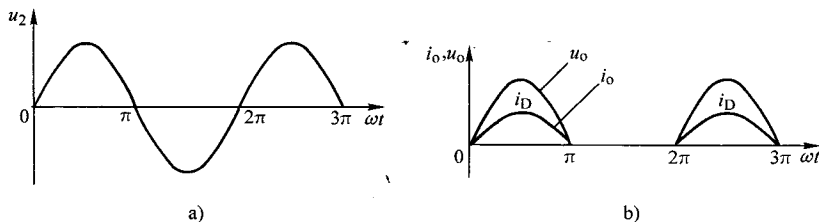


图 1-16 单相半波整流波形

a) 交流电压波形 b) 负载电压波形

当 u_2 为负半周时, 二极管 VD 反偏截止。电压 $u_o = 0$, 如图 1-16b 中的 $\pi \sim 2\pi$ 段所示。由上述可见, 当交流电 u_2 变化一周时, 在负载 R_L 上得到一个单方向的脉动电压 u_o 。

(2) 限幅电路 利用二极管的单向导电性和导通后两端电压基本不变的特点, 可组成限幅(削波)电路, 用于限制输出电压的幅度。

在图 1-17a 所示的电路中, 设 u_i 为幅值大于直流电源电压 E_1 、 E_2 值的正弦波, 二极管为理想器件。

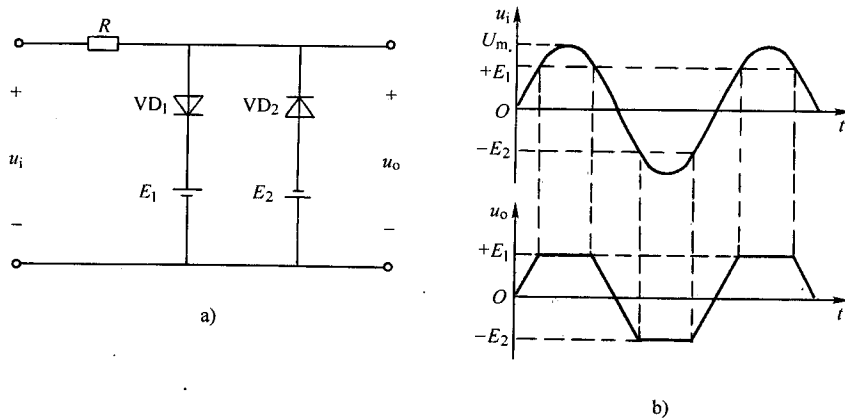


图 1-17 二极管限幅电路

a) 电路 b) 波形

当 $u_i > E_1$ 时, 二极管 VD_1 正偏导通, VD_2 反偏截止, 输出电压 $u_o = E_1$ 。

当 $u_i < -E_2$ 时, 二极管 VD_2 正偏导通, VD_1 反偏截止, 输出电压 $u_o = -E_2$ 。

当 $E_1 > u_i > -E_2$ 时, 二极管 VD_1 、 VD_2 均截止, 输出电压 $u_o = u_i$ 。

u_o 的波形如图 1-17b 所示。可见, 输出电压正负半波的幅度同时受到限制, 故为双向限幅电路。

(3) 续流电路 在具有感性负载(如继电器线圈)的开关电路中, 常常在感性负载上并联一个续流二极管。它在开关闭合时反偏截止, 在开关断开时则导通、使负载中的电流得以泄放。这样可以避免开关通断时产生高压和电弧损坏电路元件。

二极管续流电路的例子如图 1-18 所示。它是可编程序控制器输出驱动直流电磁阀的电路。

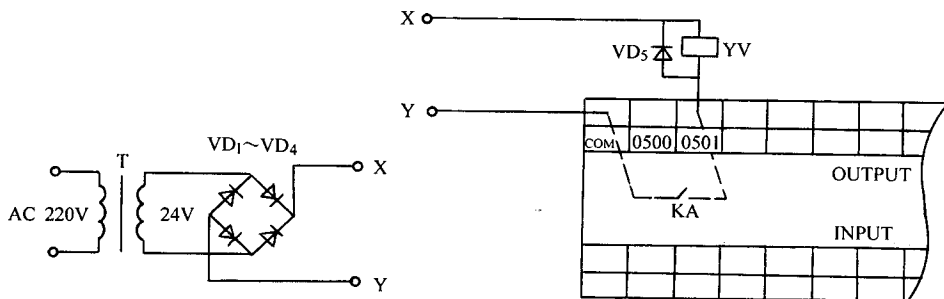


图 1-18 可编程序控制器接线图

图中 YV 为电磁阀的线圈, VD_5 为续流二极管。如图中虚线所示, 在可编程序控制器的

输出公共端 (COM) 和输出端 0501 之间, 接有可编程序控制器的内部继电器触点 KA, 通过它的通断, 控制电磁阀 YV 的动作。

1.4 特殊二极管

1.4.1 稳压二极管

1. 稳压管及其伏安特性

稳压二极管简称**稳压管**, 是一种用特殊工艺制造的面接触型硅二极管。它在电路中能起到稳定电压的作用。稳压管的图形符号与伏安特性曲线如图 1-19 所示。

由图 1-19b 可知, 稳压管的正向特性曲线与普通硅二极管相似; 但是, 它的反向击穿特性较陡。

稳压管通常工作于反向击穿区。只要击穿后的反向电流不超过允许范围, 稳压管就不会发生热击穿损坏。为此, 可以在电路中串接入一个**限流电阻**。

反向击穿后, 当流过稳压管的电流在很大范围内变化时, 管子两端的电压几乎不变, 从而可以获得一个稳定的电压。

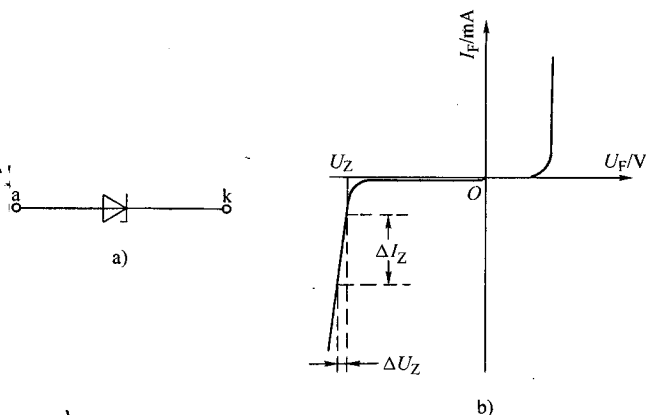


图 1-19 硅稳压管
a) 图形符号 b) 伏安特性

2. 稳压管的主要参数

(1) 稳定电压 U_Z U_Z 指稳压管在反向击穿条件下, 通过规定的测试电流时, 管子两端的电压值。由于制造工艺的原因, 同一型号的管子的稳定电压有一定的分散性。例如 2CW55 型稳压管的 U_Z 为 6.2~7.5V (测试电流 10mA)。目前常见的稳压管的 U_Z 分布在几伏至几百伏之间。

(2) 稳定电流 I_Z I_Z 指稳压管正常工作时的参考电流值。稳压管的工作电流越大, 其稳压效果越好。实际应用中只要工作电流不超过最大工作电流 I_{ZM} , 稳压管均可正常工作。

(3) 动态电阻 r_Z r_Z 定义为稳压管在反向击穿条件下, 两端电压变化量与相应电流变化量的比值, 即

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} \quad (1-2)$$

稳压管的反向特性曲线越陡, 则其动态电阻越小, 稳压性能越好。

(4) 最大工作电流 I_{ZM} 和最大耗散功率 P_{ZM}

最大工作电流 I_{ZM} 指管子允许流过的最大电流。

最大耗散功率 P_{ZM} 指管子允许耗散的最大功率。

$$P_{ZM} = U_Z I_{ZM} \quad (1-3)$$

(5) 稳定电压温度系数 α_Z 这是表征稳定电压 U_Z 受温度影响程度的参数。其定义为:

$$\alpha_z = \frac{\Delta U_z / U_z}{\Delta T} \times 100\% / ^\circ\text{C} \quad (1-4)$$

式中, ΔT 为温度变化量。

一般地, 稳定电压小于 4V 的稳压管的温度系数是负值, 高于 7V 的稳压管的温度系数是正值。

3. 简单的稳压管稳压电路

图 1-20 是一个简单的稳压管稳压电路。它的工作原理为: 当输入电压增大时, 流过限流电阻 R 的电流 I 增大, 稳压管 VS 中的电流 I_z 也相应增大, 维持负载电流 I_o 不变, 从而保证了输出电压的恒定。当负载电阻 R_L 数值变小时, 稳压管中的电流 I_z 也相应减少, 同时 I_o 增大, 维持了输出电压 U_o 的恒定。

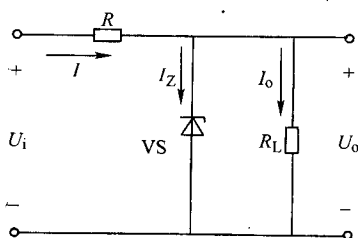


图 1-20 稳压管稳压电路

总之, 当电路状态改变时, 稳压管中的电流相应变化, 而它始终工作于反向击穿区, 两端电压基本恒定。

1.4.2 发光二极管

1. 结构和工作原理

发光二极管是一种将电能转换成光能的发光器件。其基本结构是一个 PN 结, 采用砷化镓、磷化镓、氮化镓等化合物半导体材料制造而成。它的伏安特性与普通二极管类似, 但由于材料特殊, 其正向导通电压较大, 在 1~4V 左右。当管子正向导通时将会发光。

发光二极管简称为 LED (Light Emitting Diode)。发光二极管具有体积小、工作电压低、工作电流小 (10~30mA)、发光均匀稳定、响应速度快和寿命长等优点, 常用作显示器件。除单个使用外, 也可制成七段式或点阵式显示器等。其中以氮化镓为材料的绿、蓝、紫、白光 LED 的正向导通电压在 3~4V 左右。

未来高亮度的 LED 器件可能会取代传统灯泡, 而成为新型的照明装置。

发光二极管的图形符号和外形如图 1-21 所示。图 1-22 是七段 LED 数码管的外形和电路图。

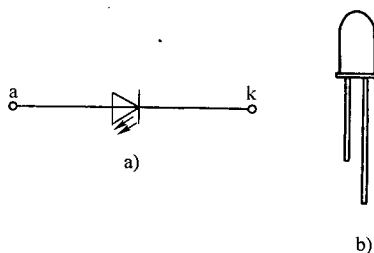
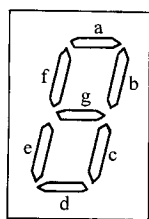
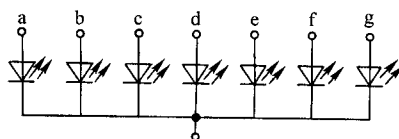


图 1-21 发光二极管
a) 图形符号 b) 外形



a)



b)

图 1-22 LED 数码管
a) 外形 b) 电路图

2. 主要参数

LED 的参数有电学参数和光学参数。

电学参数主要有:

极限工作电流 I_{FM} 、反向击穿电压 $U_{(BR)}$ 、反向电流 I_R 、正向电压 U_F 、正向电流 I_F 等, 这些参数的含义与普通二极管类似。

光学参数主要有: