

DIAN GONG XUE



赵不赟 景 亮 主编

电工学II

电子技术

江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS



赵不貽 景 亮 主编

电工学Ⅲ 电子技术



江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

电工学. 2, 电子技术/赵不贿, 景亮主编. —镇江:
江苏大学出版社, 2011. 8
ISBN 978-7-81130-252-3

I. ①电… II. ①赵…②景… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 163925 号

内容简介

根据电子技术的新发展和多年的教学改革经验, 本书适当精简了内容, 注重突出基本概念、基本原理和基本分析方法, 增加了 Multisim 仿真和电子设计自动化等新技术, 突出实践与工程应用的特点。全书分为 10 章, 分别为: 半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器及其应用、直流电源、电力电子技术、门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、模拟量与数字量的转换、存储器和可编程逻辑器件、电子设计自动化。每章均配有经典例题、练习与思考、小结和习题。本书可作为普通本科院校、高职高专、各类成人高等教育等理工科非电类专业学生的专业教材, 也可供工程技术人员学习参考。

电工学Ⅱ: 电子技术

主 编/赵不贿 景 亮
责任编辑/李经晶
出版发行/江苏大学出版社
地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)
电 话/0511-84443089
传 真/0511-84446464
排 版/镇江文苑制版印刷有限责任公司
印 刷/扬中市印刷有限公司
经 销/江苏省新华书店
开 本/787 mm×1 092mm 1/16
印 张/18.5
字 数/440 千字
版 次/2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷
书 号/ISBN 978-7-81130-252-3
定 价/34.00 元

如有印装质量问题请与本社发行部联系(电话: 0511-84440882)

前 言

电子技术是理工科非电类专业非常重要的一门技术基础课,与工程实际联系紧密,实用性强,应用广泛。本课程的作用与任务是使学生通过学习,获得电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能,了解电工电子技术的发展和应用概况,为今后学习和从事与本专业有关的工作打下一定的基础。

依据教育部高等学校电子信息科学与工程类基础课程教学指导分委员会制定的电工学课程教学基本要求,本着“精选内容、加强基础、培养能力、便于自学、紧密联系工程实际、反映科技发展形势”的编写思路,根据电子技术的发展和多年的教学改革经验,本书适当精简了电子技术的传统内容,注重加强基本概念、基本原理和基本分析方法的介绍,强调电子器件、组件外特性及其应用,增加了 Multisim 仿真和电子设计自动化新技术,突出实践与工程应用的特征,以适应社会对人才的新要求。本书每章均配有经典例题、练习与思考、小结和习题,配套材料丰富,教师可根据各专业需要,适当调整教学内容,适应不同学时要求。

全书共分 10 章。黄丽编写第 1 章;李彦旭编写第 2,3 章;马长华编写第 4 章;谭延良编写第 5 章;景亮编写第 6,7,10 章;白雪编写第 8 章;徐雷钧编写第 9 章。本书由景亮担任主编,负责全书的统筹、修改和定稿等工作。

在本书形成过程中,始终得到江苏大学电气信息工程学院赵不赓教授的热情鼓励和帮助,以及电工电子教研室同事的大力支持。他们认真细致地审阅、校对了全部书稿,并提出了许多宝贵的意见和建议。一定程度上说,本书也是教研室全体教师共同的成果。感谢他们的支持和奉献,感谢长期以来关心、支持电工电子学课程教学改革和实践的江苏大学教务处和电气信息工程学院的领导及相关人员;感谢江苏大学出版社为本书的出版付出的辛勤劳动。编写过程中,作者参考了许多教材和资料,对这些教材和资料的作者表示诚挚的谢意。

真诚地期待并感谢同行教师和读者对书中不妥、不足乃至错误之处提出指正意见。

编 者

2011 年 5 月

目 录

第 1 章 半导体器件

- 1.1 半导体基础 /001
- 1.2 半导体二极管 /005
- 1.3 特殊二极管 /008
- 1.4 晶体三极管 /010
- 1.5 场效应管 /016
- 1.6 半导体器件应用的 Multisim 仿真 /020
- 小 结
- 习 题

第 2 章 基本放大电路

- 2.1 共发射极放大电路 /025
- 2.2 共集电极放大电路 /036
- 2.3 多级放大电路及其频率特性 /040
- 2.4 差分放大电路 /045
- 2.5 互补对称功率放大电路 /050
- 2.6 场效应管放大电路 /054
- 2.7 放大电路的 Multisim 仿真 /057
- 小 结
- 习 题

第 3 章 集成运算放大器及其应用

- 3.1 集成运算放大器简介 /066
- 3.2 集成运算放大器在信号运算电路中的应用 /069
- 3.3 集成运算放大器电路中的负反馈 /076
- 3.4 集成运算放大器在信号处理电路中的应用 /081
- 3.5 集成运算放大器在波形产生电路中的应用 /085
- 3.6 集成运算放大器的使用 /090
- 3.7 集成运算电路的 Multisim 仿真 /092
- 小 结
- 习 题



第4章 直流电源

- 4.1 整流电路 /103
- 4.2 滤波电路 /110
- 4.3 稳压电路 /115
- 4.4 集成稳压器 /119
- 4.5 稳压电源的 Multisim 仿真 /121

小 结

习 题

第5章 电力电子技术

- 5.1 功率电子器件 /128
- 5.2 单相可控整流电路 /133
- 5.3 电力电子器件的保护 /138
- 5.4 调压、变频、逆变和斩波技术 /140

小 结

习 题

第6章 门电路和组合逻辑电路

- 6.1 数字电路概述 /146
- 6.2 逻辑代数基础 /148
- 6.3 逻辑门电路 /151
- 6.4 集成门电路 /155
- 6.5 组合逻辑电路的分析与设计 /162
- 6.6 常用集成组合逻辑电路 /166
- 6.7 组合逻辑电路的 Multisim 仿真 /172

小 结

习 题

第7章 触发器和时序逻辑电路

- 7.1 双稳态触发器 /179
- 7.2 寄存器 /187
- 7.3 计数器 /191
- 7.4 555 定时器及其应用 /198
- 7.5 时序逻辑电路的 Multisim 仿真 /204

小 结

习 题

第8章 模拟量与数字量的转换

- 8.1 D/A 转换器 /211
- 8.2 A/D 转换器 /217
- 8.3 综合电路的 Multisim 仿真 /224

小 结

习 题

第9章 存储器和可编程逻辑器件

9.1 半导体存储器 /229

9.2 可编程逻辑器件 /235

9.3 在系统可编程器件 CPLD 和 FPGA /239

小 结

习 题

第10章 电子设计自动化

10.1 电子设计自动化概述 /247

10.2 Verilog HDL 语言 /251

10.3 数字电路的 Verilog HDL 描述 /259

10.4 在系统可编程模拟器件 /266

小 结

习 题

附录 A 半导体器件型号命名方法 /278

附录 B 常用半导体器件的主要参数 /279

附录 C 半导体集成电路型号命名方法 /284

附录 D 常用集成运算放大器的主要参数 /285

附录 E 常用集成稳压器的主要参数 /286

参考文献 /287



第 1 章 半导体器件

半导体器件由半导体材料制成,具有体积小、质量小、耗电省、寿命长、功耗小等优点,是组成各种电子电路的基础元件,广泛应用于测量、控制和信号处理等领域。

本章主要介绍常用半导体器件的工作原理、符号、特性曲线和主要参数等。

1.1 半导体基础

1.1.1 半导体基础知识

按导电能力的不同,自然界的物质分为导体、绝缘体和半导体。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间,在常态下接近于绝缘体。常用的半导体材料有硅(Si)、锗(Ge)以及部分化合物如砷化镓等。

半导体材料的导电性能独特,主要有以下特性:

(1) 热敏性。当环境温度升高时,半导体导电能力增强。利用这种特性可以制作热敏电阻等热敏元件。

(2) 光敏性。当半导体受到的光照强度增大时,半导体导电能力增强。利用这种特性可以制作光敏电阻、光电池等光敏元件。

(3) 掺杂性。在纯净半导体中掺入杂质,半导体导电能力大大增强。利用这种特性,可以制造出多种半导体器件,如半导体二极管、三极管、场效应管和晶闸管等。

1. 本征半导体

完全纯净、具有完整晶体结构的半导体称为本征半导体。最常用的本征半导体材料是高度纯净的硅和锗。它们的共同特点是,都是 4 价元素,原子结构最外层都是 4 个电子,即有 4 个价电子,图 1-1 为硅和锗的原子结构示意图。

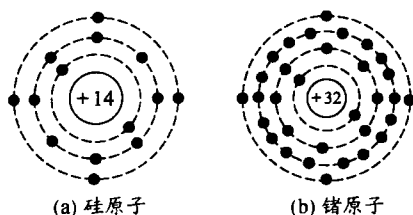


图 1-1 硅和锗的原子结构示意图

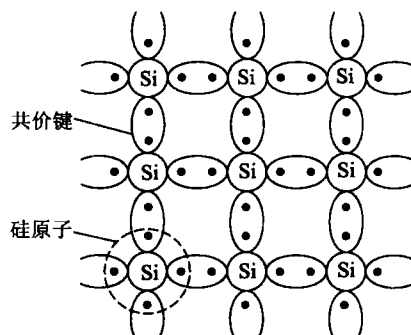


图 1-2 硅晶体共价键结构示意图

以硅为例,每个硅原子最外层的4个价电子都与周围的4个硅原子的价电子形成共用电子对,即共价键。这种结构的晶体非常稳定。图1-2为其晶体结构的平面示意图。在绝对零度时,半导体共价键中的价电子被束缚,没有自由电子,特性接近于绝缘体。当温度升高或受热、受光照时,一些价电子获得足够的能量,挣脱共价键的束缚成为自由电子,该现象称为激发。激发产生自由电子的同时,在相应共价键的位置上也出现了一个空位,称为“空穴”,如图1-3(a)所示。空穴是共价键失去电子后而产生的,相当于一个正电荷。空穴吸引相邻共价键中的价电子进行填补,在原空穴消失的同时,另一个共价键中又出现了新的空穴,如图1-3(b)所示,如此不断递补,表现为空穴在移动,相当于正电荷移动。

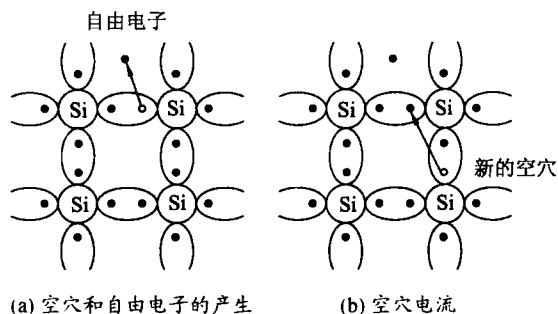


图1-3 空穴和自由电子的形成

半导体中存在着两种导电粒子,称为载流子,即自由电子和空穴。在电场作用下,电子形成电子电流,空穴形成空穴电流,两者之和即为半导体中的电流。

在本征半导体中,自由电子与空穴是成对产生或消失的。和激发过程相反,如果自由电子和空穴在运动过程中相遇,自由电子填补了空穴,则自由电子和空穴就会成对消失,这种现象称为复合。在一定的温度下,激发与复合处于一种动态平衡,半导体中载流子浓度保持一定。温度升高时,激发激烈,载流子数量愈多,半导体的导电性能愈好,所以温度对半导体的导电性能影响很大。

2. 杂质半导体

本征半导体由于载流子浓度很低,且相对稳定,所以导电能力很差。如果采用特殊的制造工艺,在本征半导体中掺入相关的微量元素,可使其导电能力显著增强,这种方式称为掺杂,掺入微量杂质元素的半导体称为杂质半导体。根据掺入杂质的不同,杂质半导体分为N型半导体和P型半导体。

1) N型半导体

在硅(或锗)晶体中掺入微量5价元素,如磷(P),就形成了N型半导体。硅晶体掺入磷元素后,原晶体结构中的某些硅原子被磷原子取代。磷原子最外层有5个价电子,其中有4个与相邻的4个硅原子的价电子组成共价键,多余的1个价电子由于受原子核的束缚较弱,在常温下就可成为自由电子,同时5价磷原子变成带正电的离子,如图1-4所示。这种杂质半导体中,自由电子的浓度远远大于空穴的浓度,被称为N型半导体。

N型半导体中,自由电子是多数载流子(简称多子),其浓度主要取决于掺杂浓度;激发产生的空穴是少数载流子(简称少子),其浓度主要取决于温度。

2) P型半导体

在硅(或锗)晶体中掺入微量3价元素,如硼(B),就形成了P型半导体。硅晶体掺入硼元素后,原晶体结构中的某些硅原子被硼原子取代。硼原子最外层有3个价电子,这3个价电子在与相邻的4个硅原子组成共价键时,必然缺少1个价电子,即在共价键

结构中产生 1 个空位,与其相邻的硅原子的价电子很容易填补这个空位,而在该价电子的位置上产生 1 个空穴,同时 3 价硼原子变成带负电的离子,如图 1-5 所示。在 P 型半导体中,空穴是多数载流子,其浓度主要取决于掺杂浓度;自由电子是少数载流子,其浓度主要取决于温度。

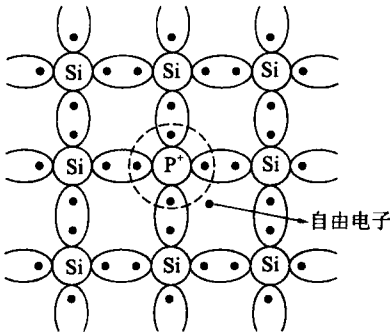


图 1-4 N 型半导体

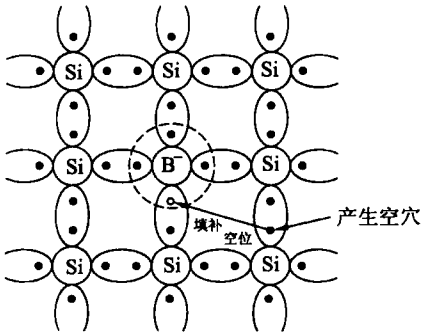


图 1-5 P 型半导体

在纯净半导体中,只要掺入极微量的特定杂质元素,其导电能力就将急剧增强。例如在纯净的半导体硅中掺入百万分之一的硼,硅的电阻率就可以从 $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{m}$ 减小到 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$,其导电能力大大增强。

1.1.2 PN 结及其单向导电性

在一块半导体中,通过不同的掺杂工艺,使其一侧形成 P 型半导体,另一侧形成 N 型半导体,在这两种杂质半导体的交界面处便形成了 PN 结。

1. PN 结的形成

P 型半导体(简称 P 区)内的多子是空穴,其浓度大大高于 N 型半导体内的空穴浓度;N 型半导体(简称 N 区)内的多子是自由电子,其浓度大大高于 P 型半导体内的自由电子浓度。由此在 P 区和 N 区的交界面处就出现了自由电子和空穴的浓度差,P 区的空穴和 N 区的自由电子将越过交界面向对方区域扩散,如图 1-6(a)所示。多数载流子因浓度差而产生的运动称为扩散运动。

P 区的空穴与 N 区的自由电子在扩散过程中相遇复合而消失,在 P 区一侧留下了不能移动的负离子电荷区,在 N 区一侧留下了不能移动的正离子电荷区。因此,在 P 区和 N 区的交界面处出现了一个空间电荷区(也称为耗尽层),如图 1-6(b)所示。

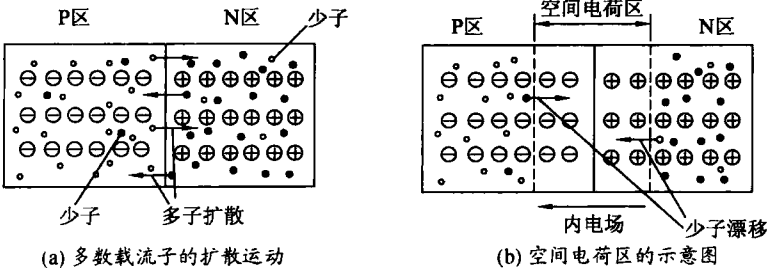


图 1-6 PN 结的形成

在空间电荷区内,空间电荷建立了一个电场,称为内电场,电场方向由 N 区指向 P 区。根据静电场理论,内电场阻碍多子的扩散运动。而少数载流子在内电场作用下会

越过交界面向对方区域运动,这种少数载流子在内电场作用下的运动称为少子的漂移运动,如图 1-6(b)所示。

当多子的扩散运动与少子的漂移运动达到动态平衡时,空间电荷区的宽度基本处于相对稳定状态,从而形成 PN 结。

2. PN 结的单向导电性

PN 结上外加电压的方式称为偏置方式,所加电压称为偏置电压。在 PN 结两端外加不同方向的偏置电压,PN 结就会呈现出不同的导电性能。

1) PN 结外加正偏电压

外加电压的实际方向从 P 区指向 N 区称为 PN 结加正向偏置(简称正偏),如图 1-7(a)所示。正偏电压产生的外电场方向与 PN 结的内电场方向相反,削弱了内电场(PN 结变窄),破坏了 PN 结内的动态平衡,增强了多子的扩散运动,P 区中的大量空穴和 N 区中的大量自由电子越过 PN 结,形成很大的正向电流,这时称 PN 结正向导通。

2) PN 结外加反偏电压

外加电压的实际方向从 N 区指向 P 区称为 PN 结加反向偏置(简称反偏),如图 1-7(b)所示。反偏电压产生的外电场与内电场的方向相同,内电场被加强(PN 结变宽),阻碍了多子的扩散运动,少子在内电场的作用下形成漂移运动。由于半导体中少子的浓度非常低,故反向电流很微弱,其数量级一般在微安级,工程上可认为等于零,这时称 PN 结反向截止。

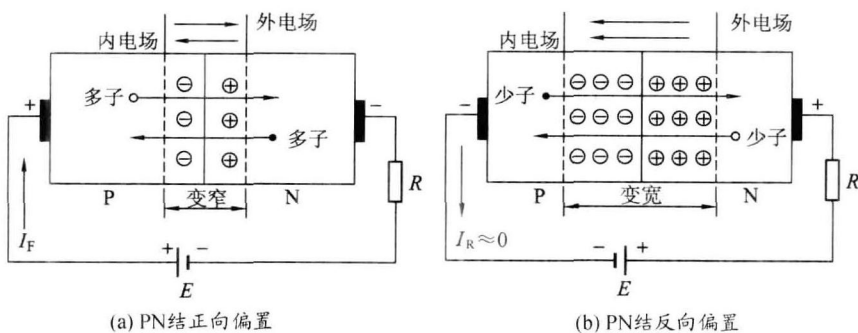


图 1-7 PN 结的单向导电性

综上所述,当 PN 结外加正偏电压时,正向电流较大,此时 PN 结正向导通,呈现低阻状态;当 PN 结外加反偏电压时,反向饱和电流很小,此时 PN 结反向截止,呈现高阻状态。PN 结的上述特性称为单向导电性。



1. 说明 P 型半导体和 N 型半导体中的多数载流子和少数载流子各是什么? 它们是如何产生的?
2. N 型半导体中的多子为自由电子,是否 N 型半导体带负电? P 型半导体中的多子为空穴,是否 P 型半导体带正电?
3. 说明什么是 PN 结的单向导电性,实现其正向导通和反向截止的条件各是什么?

4. 说明环境温度变化对半导体导电性能的影响及其原因。

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的基本结构和类型

从 PN 结的 P 区和 N 区各引出一根电极,外加管壳封装,就构成了半导体二极管(简称二极管)。P 区一侧的电极称为二极管的阳极或正极,N 区一侧的电极称为二极管的阴极或负极。

二极管按结构不同,分为点接触型和面接触型两种,其基本结构及图形符号如图 1-8 所示。点接触型二极管的特点是 PN 结面积小,因而结电容小,工作频率高,但允许通过的正向电流较小,主要应用于高频检波以及在数字电路中用作开关器件。面接触型二极管的特点是 PN 结面积大,能通过较大电流,但结电容也大,工作频率较低,主要应用于低频整流。

根据所用材料的不同,二极管可分为锗管(一般多为点接触型)和硅管(一般多为面接触型)两种。

按照用途不同,二极管又可分为普通管、整流管、变容管、开关管、检波管等类型。

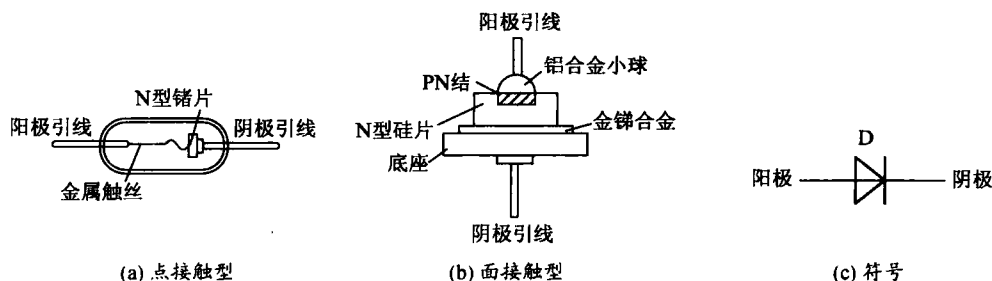


图 1-8 二极管的结构及符号

1.2.2 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性如图 1-9 所示。二极管的核心就是 PN 结,因此,二极管也具有单向导电性。二极管的伏安特性分为正向特性和反向特性两部分,通常划分为 4 个区域:门坎区(死区)、线性工作区(导通区)、反向饱和区和反向击穿区。

1. 正向特性

当正偏电压小于死区电压时,外电场不足以克服 PN 结内电场的影响,正向电流几乎为零。死区电压的大小与二极管的材料和温度有关,通常硅管的死区电压约为 0.5 V,锗管约为 0.1 V。

正偏电压大于死区电压后,PN 结内电场被大大削弱,正向电流迅速增大,二极管

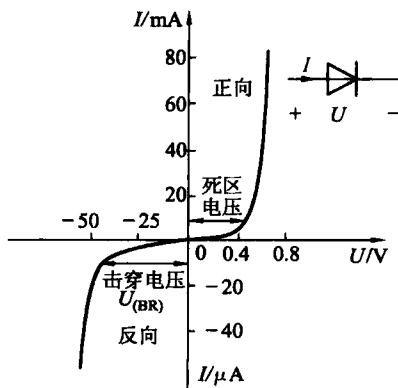


图 1-9 二极管的伏安特性

导通。这一段特性曲线很陡,在正常工作范围内,硅管压降约为 $0.6\sim 0.7\text{ V}$,锗管压降约为 $0.2\sim 0.3\text{ V}$ 。

2. 反向特性

当反偏电压在一定范围内时,少子的漂移运动形成很小的反向饱和电流。但当二极管反向电压加大到一定值后,反向电流突然急剧增大,二极管即失去单向导电性,这种现象称为击穿,对应的电压称为反向击穿电压。普通二极管击穿不可逆,击穿即损坏。

二极管的伏安特性受温度变化影响很大。温度升高时,二极管的正向特性曲线向左移,反向特性曲线向右下移,如图 1-10 中虚线所示。相对于硅管,锗管受温度影响更大。

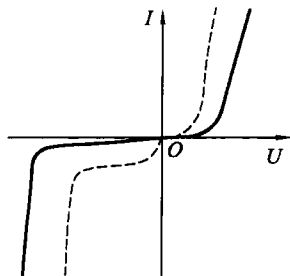


图 1-10 温度对二极管伏安特性的影响

1.2.3 二极管的主要参数

二极管的参数反映了二极管性能的优劣和使用条件,是正确选择和合理使用二极管的依据,其主要参数有:

1) 最大整流电流(额定正向平均电流) I_{OM}

I_{OM} 是二极管连续工作时,允许通过的最大正向电流的平均值。

2) 最高反向工作电压 U_{RM}

U_{RM} 是二极管正常工作时,允许施加的最高反向电压,一般取其反向击穿电压值的 $\frac{1}{2}\sim\frac{2}{3}$ 。

3) 最大反向电流 I_{RM}

I_{RM} 是二极管外加最高反向工作电压时的反向电流值。二极管反向电流越小,说明其单向导电性越好。反向电流受温度影响较大,温度越高,反向电流越大。硅管的反向电流较小,约为一微安到几十微安,锗管的反向电流可达数百微安。

4) 最高工作频率 f_M

二极管具有一定的电容效应,限制了二极管的工作频率。当信号频率超过 f_M 时,将影响二极管的单向导电性。

值得注意的是,由于制造工艺的限制,二极管参数的分散性很大。相关电子器件的手册和产品资料给出的往往是参数的范围,而这些参数都是在一定条件(温度、电压、频率、负载等)下测得的,实际使用中要注意这些条件,若条件改变,相应的参数也会发生变化。

二极管的单向导电性,在电子电路中应用很广,通常可用作整流、限幅、箝位、检波、隔离和进行元件保护,此外还可作为数字电路中的开关元件等。

理想二极管的伏安特性如图 1-11 所示。加正偏电压时,理想二极管正向导通,死区电压、正向管压降等于零,正向电阻为零,二极管相当于短路;外加反向

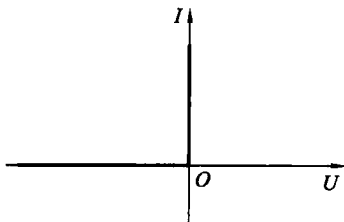


图 1-11 理想二极管伏安特性

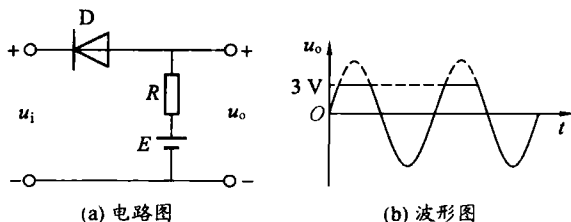
电压时,反向电流为零,反向电阻为无穷大,二极管完全截止,相当于开路。

【例 1-1】 在例 1-1(a)图所示电路中, $E=3\text{ V}$, $u_i=6\sin\omega t\text{ V}$,D 为理想二极管,试画出其输出电压 u_o 的波形。

解: 当 $u_i \leq 3\text{ V}$ 时,二极管 D 导通,D 相当于短路, $u_o = u_i$;

当 $u_i > 3\text{ V}$ 时,二极管 D 截止,D 相当于开路, $u_o = E = 3\text{ V}$ 。

所以 u_o 的波形如例 1-1(b)图所示。



例 1-1 图

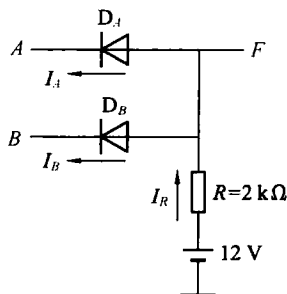
【例 1-2】 电路如例 1-2 图所示, D_A 和 D_B 均为理想二极管,分别计算以下 3 种情况下 F 点的电位 V_F 及流过 D_A , D_B 和 R 的电流 I_A , I_B 和 I_R 。

(1) $V_A = V_B = 0\text{ V}$;

(2) $V_A = 4\text{ V}$, $V_B = 0\text{ V}$;

(3) $V_A = V_B = 4\text{ V}$ 。

解: (1) $V_A = V_B = 0\text{ V}$ 时,12 V 直流电源使 D_A 和 D_B 均承受正偏电压而导通,二极管相当于短路。F 点的电位 $V_F = 0\text{ V}$ 。流过电阻 R 的电流为



例 1-2 图

$$I_R = \frac{12}{2 \times 10^3} \text{ A} = 6 \text{ mA}$$

D_A , D_B 所在的支路是两条完全相同的支路,对 I_R 分流,则

$$I_A = I_B = \frac{1}{2} \times 6 \text{ mA} = 3 \text{ mA}$$

(2) $V_A = 4\text{ V}$, $V_B = 0\text{ V}$ 时, D_B 承受正偏电压高,故优先导通, D_B 相当于短路, F 点的电位 $V_F = 0\text{ V}$,使 D_A 在反偏电压作用下截止, D_A 相当于开路。故

$$I_A = 0$$

$$I_B = I_R = \frac{12}{2 \times 10^3} \text{ A} = 6 \text{ mA}$$

(3) $V_A = V_B = 4\text{ V}$ 时, D_A 和 D_B 均承受正偏电压而导通, F 点的电位 $V_F = 4\text{ V}$ 。故

$$I_R = \frac{12-4}{2 \times 10^3} \text{ A} = 4 \text{ mA}$$

$$I_A = I_B = \frac{1}{2} \times 4 \text{ mA} = 2 \text{ mA}$$



练习与思考

1. 二极管具有单向导电性,是否只要给二极管外加正偏电压,二极管就会导通?
2. 怎样用万用表判断二极管的好坏及其正、负极?
3. 何谓二极管的优先导通现象?
4. 什么是死区电压? 锗管和硅管的死区电压各是多少?
5. 用万用表测量二极管的正向电阻时,用 $\Omega \times 1$ 档测出的电阻值小,而用 $\Omega \times 100$ 档测出的电阻值大,为什么?

1.3 特殊二极管

1.3.1 稳压二极管

1. 伏安特性与符号

稳压二极管简称稳压管,是用特殊工艺制造的面接触型半导体硅二极管,其伏安特性与符号如图 1-12 所示。

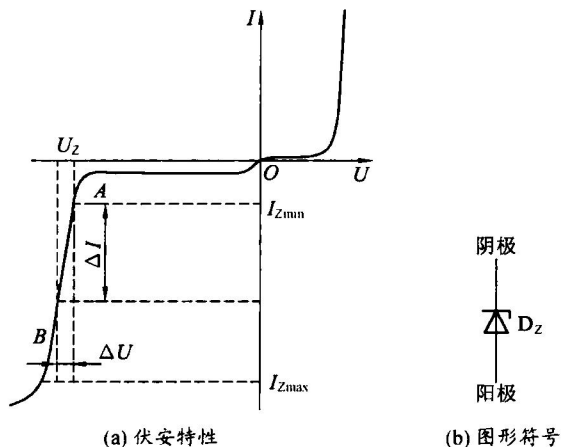


图 1-12 稳压二极管的伏安特性和符号

稳压管的伏安特性与普通二极管相似,但反向击穿区曲线比较陡直。当反偏电压小于击穿电压时,反向电流很小;当反偏电压增大到击穿电压后,反向电流变化很大,而反向电压基本不变,该电压称为稳定电压 U_Z 。稳压管正是利用这个特点来实现稳压的。

一般情况下,稳压管的击穿是可逆的,但是,如果反向电流 I_Z 太大(大于 I_{Zmax}),或者稳压管的功率损耗过大,超过了允许值,就会造成不可逆的热击穿而使稳压管损坏。反之如果电流 I_Z 过小(小于 I_{Zmin})也不能起到稳压作用。

2. 并联型稳压电路

典型的并联型稳压电路由限流电阻 R 和稳压管组成,如图 1-13 所示,负载电阻与稳压管并联。当输入电压 U_i 增大,引起输出电压 U_o 增大时,其稳压过程是

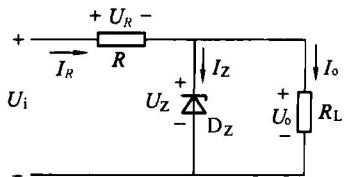


图 1-13 并联型稳压电路

$$U_0 \uparrow \rightarrow U_Z \uparrow \rightarrow I_Z \uparrow \uparrow \rightarrow I_R \uparrow \uparrow \rightarrow U_R \uparrow \uparrow \rightarrow U_0 \downarrow$$

使 U_0 基本保持不变。稳压过程中,稳压管起到电流调节作用,电阻 R 起电压调节作用。

当由于负载变化引起电压 U_0 波动时,稳压管通过电流调节作用也能稳定输出电压 U_0 。读者可自行分析。

并联型稳压电路结构简单,输出电压固定,输出电流较小,适用于负载变动不大,输出电压不需要调节,输出电流较小,稳压精度要求不高的场合。

3. 稳压管主要参数

1) 稳定电流 I_Z

I_Z 指稳压管正常稳压工作时的电流值。电流低于此值则稳压效果变差。因此在不超过额定功耗的前提下,该工作电流越大,稳压效果越好。

2) 稳定电压 U_Z

U_Z 指稳压管中的电流为稳定电流时,稳压管两端的稳定电压值。

3) 最大耗散功率 P_{Zmax}

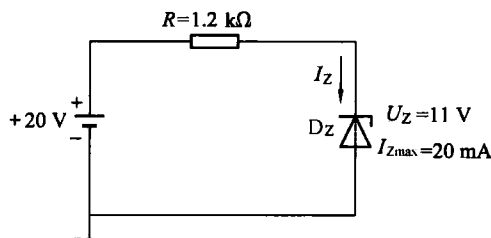
P_{Zmax} 指稳压管不会因为过热而损坏的最大功率损耗值。有

$$P_{Zmax} = U_Z I_{Zmax}$$

【例 1-3】 例 1-3 图所示电路,所用稳压管为 2CW57 型,其参数见图中标注,试计算流过稳压管的电流 I_Z ,并判断限流电阻 R 的阻值是否合适?

$$\begin{aligned} \text{解: } I_Z &= \frac{20 - 11}{1.2 \times 10^3} = 7.5 \times 10^{-3} \text{ A} \\ &= 7.5 \text{ mA} \end{aligned}$$

$I_Z < I_{Zmax}$, 所选电阻值合适。



例 1-3 图

1.3.2 发光二极管

发光二极管(light emitting diode,简称 LED),是一种将电能转换为光能的特殊二极管。图 1-14 是发光二极管的符号。发光二极管工作在正偏状态时,电子与空穴直接复合,释放出能量并发光。发光二极管常用做显示器件,也可与光电二极管配合用于光纤通信系统中。发光二极管工作电压一般不超过 3 V,工作电流常在几毫安到十几毫安之间。



图 1-14 发光二极管的符号

1.3.3 光电二极管

光电二极管是一种将光信号转换成电信号的特殊二极管。其基本结构与二极管相似,在管壳上装有玻璃窗口,以便接受光照。图 1-15 是光电二极管的符号和伏安特性曲线。光电二极管工作于反向偏置状态,其反向电流随光照强度的增加而增大,这是由于光线照射 PN 结时,会像热激发一样,成对产生自由电子和空穴,使半导体中少数浓度增大,在反向偏置电压下形成漂移电流;光照越强,漂移电流越大。光电二极管常用在光控电路中。

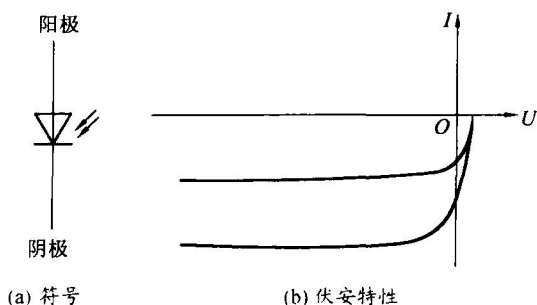


图 1-15 光电二极管的符号和伏安特性



练习与思考

1. 稳压管外加正向电压时是否也能起稳压作用?
2. 图 1-13 所示并联型稳压电路中, (1) 若限流电阻 $R=0$, 是否可以? 有何后果? (2) 若将限流电阻 R 改接到 D_Z 之后 (即 D_Z 和 R_L 之间), 可否起稳压作用? 会产生什么后果?
3. 当图 1-13 所示稳压电路的负载电阻减小时, 是否能保证输出电压 U_o 基本稳定? 为什么?
4. 已知两只硅稳压管 D_{Z1} 与 D_{Z2} , 其稳定电压分别为 7 V 和 12 V, 若将它们串联使用, 能获得几种不同的稳定电压值? 试画出电路。
5. 发光二极管和光电二极管各有什么应用?

1.4 晶体三极管

1.4.1 三极管的结构和类型

晶体三极管简称三极管, 是在一块半导体上制成两个 PN 结, 再引出三个电极而构成的。

最常见的三极管的结构, 有平面型和合金型两类, 如图 1-16 所示。按半导体材料的不同, 三极管分为硅管和锗管。通常, 硅管主要是平面型, 锗管采用合金型。

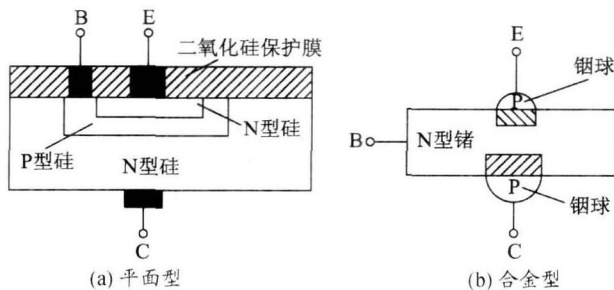


图 1-16 三极管结构图

按 PN 结组合方式不同, 三极管又可分为 NPN 型和 PNP 型两种类型。图 1-17 分别是三极管结构示意图和符号。NPN 型三极管大多是硅管, PNP 型三极管大多是锗管。