

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANGONG DIANZI JISHU

电工电子技术

(下册)

郑宗亚 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANGONG DIANZI JISHU

电工电子技术

(下册)

主 编 郑宗亚
副主编 刘向军
编 写 赵冰洁 何 敏
 韩金刚 郭 焱
 刘 鼎
主 审 韩学军



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

全书分为上下两册。上册主要介绍电工技术的相关知识点。下册共分为十二章，主要内容包括常用半导体器件、放大电路基础、多级放大器及运算放大器、放大电路中的反馈、波形发生电路、功率放大电路、电源电路、基本逻辑关系和门电路、组合逻辑电路分析、时序逻辑电路分析、存储器及其应用、模拟量和数字量的相互转换。本书在讲解电路原理的同时也适当介绍电路的应用，在进行理论论证的同时也顾及实际应用。

本书可作为普通高等教育电气信息类、自动化类、机械类等相关专业的本科教材，也可作为高职高专和函授教材，还可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术. 下册/郑宗亚主编. —北京: 中国电力出版社, 2008

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-7691-2

I. 电… II. 郑… III. ①电工技术—高等学校—教材
②电子技术—高等学校—教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 104618 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 8 月第一版 2008 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16 印张 385 千字

定价 25.60 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

电工技术是工科各机电类专业的专业基础课。这些年来,电工技术尤其是电子技术在各个领域的发展可以说是日新月异,同时高等教育的理念和对象也发生了很大的变化,信息量的增加和课时数的减少已经成为制约电工技术教育的瓶颈,为此编者根据多年来教学的经验 and 当今的实际编写了这套教材。

本教材参考了大量的经典电工技术教材和近年出版的各类电子技术、电工和电子技术教材,也吸取了一些电子技术应用书刊杂志的精髓,本着基础求实、专业应用求广的精神精选而成。

本教材在理论分析的同时更着重实际应用,力求使学生在懂得分析原理的同时更能知道电路的用途。在本书编写过程中遵循下列规律:

(1) 提出问题。通过对已知的常识和结论分析,找出存在的问题。

(2) 解决问题。通过该章节的方法来解决问题。解决问题的办法既要有理论推导分析,也要有具体方法介绍,对一些较常使用的电子线路如功率放大器、振荡电路等的应用进行了一些专门介绍。

(3) 总结归纳解决问题的方法,指出其适用范围。

全书除注重对经典电子线路进行推理、分析和计算外,突出实际应用的主线,介绍一些较成熟的集成电路应用。教学内容安排上注重前后联系,培养学生能看懂电子线路、会分析计算电子线路的一些主要参数、能比照选择电子线路和电子元器件,其间穿插了一些电子线路的应用实例和安装调试技巧;通过对电子技术知识的层层深入解剖,了解人们认识自然世界的科学规律,为今后的学习打下良好的基础。

本书可作为电力、电子、自动控制、机电一体化等专业的本科学习教材,参考教学时数为 80 学时。

本书由郑宗亚主编并担任统稿工作,华北电力大学的刘向军为副主编,参加编写的人员有:赵冰洁(第十章)、何敏(第十一章)、韩金刚(第十五章)、郭焱(第十六章)、刘鼎(第十七章)。上海海事大学教务处和电气工程系电力电子教研室的全体同仁也给予了积极鼓励和支持。

本书由东北电力大学的韩学军教授主审,并提出了积极宝贵的意见,在此谨向其表示衷心感谢。

由于本人水平有限,初次编写教材,中间难免有疏漏,恳请读者批评指正。

编者

2008年6月

目 录

前言

第九章 常用半导体器件	1
9-1 半导体基础知识	1
9-2 PN结及半导体二极管	3
9-3 双极型半导体三极管	10
9-4 场效应管	15
习题	20
第十章 放大电路基础	23
10-1 基本放大电路组成	23
10-2 放大电路的图解分析	25
10-3 放大电路的计算分析	29
10-4 放大电路的静态工作点稳定	33
10-5 放大电路的三种组态比较	38
10-6 场效应管放大电路	42
10-7 放大电路中的频率响应	45
习题	48
第十一章 多级放大器及运算放大器	52
11-1 多级放大器	52
11-2 集成运算放大器	57
11-3 集成运算放大器的线性应用分析	61
11-4 集成运算放大器非线性应用分析	67
11-5 集成运算放大器的类型及选用	71
习题	72
第十二章 放大电路中的反馈	77
12-1 反馈的基本概念	77
12-2 负反馈放大电路的组态分析	78
12-3 负反馈对放大电路性能的影响	82
12-4 负反馈放大电路的计算	86
12-5 引入负反馈的一般原则	88
12-6 负反馈放大电路的自激振荡及消除方法	88
习题	91
第十三章 波形发生电路	94
13-1 正弦波振荡电路	94
13-2 非正弦波振荡电路	100
13-3 集成波形发生器电路	104
13-4 振荡电路的应用	107

习题	108
第十四章 功率放大电路	110
14-1 功率放大器的特点	110
14-2 互补功率放大电路	110
14-3 集成功率放大器	116
14-4 功率放大器设计、制作与调试	120
习题	122
第十五章 电源电路	124
15-1 直流电源电路的基本概念和组成	124
15-2 整流电路	125
15-3 滤波电路	128
15-4 稳压电路	132
15-5 开关型直流稳压电源	135
15-6 集成稳压电路	137
习题	139
第十六章 基本逻辑关系和门电路	141
16-1 数字电路概述	141
16-2 数字电路	142
16-3 门电路	150
16-4 基本逻辑运算	158
习题	165
第十七章 组合逻辑电路分析	168
17-1 组合逻辑电路的分析	168
17-2 加法器	169
17-3 编码器	171
17-4 译码器	176
17-5 数据分配和数据选择器	182
17-6 数据比较器	186
17-7 组合逻辑电路的综合应用	187
习题	189
第十八章 时序逻辑电路分析	191
18-1 双稳态触发器	191
18-2 时序逻辑电路的分析	197
18-3 计数器	201
18-4 寄存器	207
18-5 555 集成定时器电路	209
18-6 时序电路应用举例	213
习题	216
第十九章 存储器及其应用	219
19-1 只读存储器 ROM	219
19-2 随机存储器 RAM	224
19-3 可编程逻辑器件	227

习题	229
第二十章 模拟量和数字量的相互转换	231
20-1 数—模转换 (D/A 转换)	231
20-2 模—数 (A/D) 转换	236
习题	244
参考文献	246

第九章 常用半导体器件

本章首先介绍了半导体的特点、半导体中的载流子和导电规律,再讨论了P型半导体和N型半导体的特点和PN结的导电特性,进而引出了半导体二极管、三极管和场效应管的工作原理、特性曲线和主要参数。

9-1 半导体基础知识

一、导体、绝缘体、半导体和超导体

能导电的材料称为导体。大量的金属都是导体,导体具有电阻率小且稳定的特点。

不能导电的材料被称为绝缘体。绝缘体的电阻率都很大,并且也很稳定。

半导体的电阻率界于导体和绝缘体之间,但和导体及绝缘体不同的是其电阻率不稳定,受环境温度、光照等影响很大。早先人们认为半导体用处不大,它的导电性能不如导体,用作绝缘又不如绝缘体。但半导体电阻率不稳定的特性引起许多科学家的重视,为研究其导电特性提出了种种假说设想,在认识了它的同时也开发出目前丰富多彩电子世界。

超导体是一种电阻率为零的材料。目前超导体的超导现象要在一定的环境下才能实现,对超导形成的机理人们正在进行积极的研究。如果在常温及高温下能实现超导,那势必会在电气、电子领域产生一个飞跃性的变革。

二、本征半导体

纯净的半导体称为本征半导体,常用的半导体材料是硅和锗,它们都是四价元素,在其原子结构中的最外层轨道上有四个价电子。图9-1所示为硅或锗的简化原子结构示意图,其中 $\oplus 4$ 代表原子核内层所具有的电荷数。

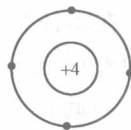


图9-1 硅或锗的
简化原子
结构示意

硅、锗原子在空间排列成很有规律的点阵,称为单晶结构,晶体中的原子间的距离很近,其价电子不仅受到所属原子核的作用,还受到相邻原子核的吸引,一个原子和相邻的四个原子相互作用,其外层价电子数形成一个貌似八个外层价电子的共价键,如图9-2所示。在自然界中,外层价电子数为八个的一般都是惰性元素,其特性相当稳定,但共价键中的八个外层价电子的稳定性绝对不能和惰性元素的外层价电子相比,它极易受环境的影响。比如在外界温度升高的情况下,价电子脱离共价键后就变成了自由电子,电子是带负电的,而原共价键中八个价电子因流失一个所留下的空位被称为空穴,共价键中由于少了一个电子,原先平衡的原子呈现出带正电。

自由电子在外界电场力的作用下定向移动形成的电流,被称为漂移电流。这种由自由电子的存在而引起的导电性称为导体的电子导电性。

共价键中失去价电子而形成的空穴对相邻共价键中的价电子也具有相当的吸引力,容易

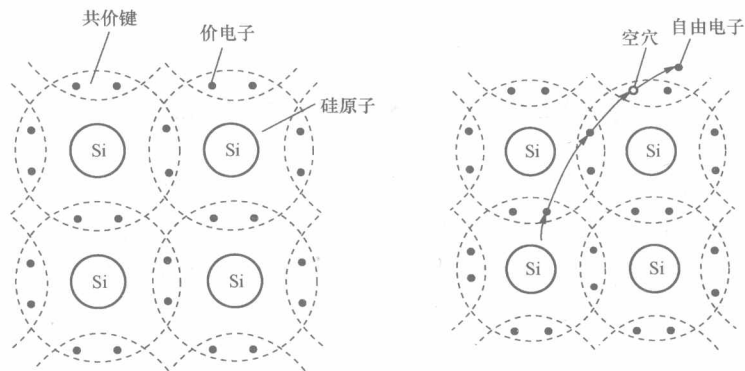


图 9-2 硅原子中共价键及空穴、自由电子示意图

造成邻近共价键中价电子离开自己原有的共价键而替补到这个空穴中（该现象又称为复合），这样在消灭了一个共价键中的空穴的同时，又在另一个共价键中形成一个空穴。在本征半导体中间空穴产生和消失的过程都离不开价电子的运动，价电子填补空穴的运动在其形式和效果上都可以看成是带正电荷的空穴与带负电荷的电子在从事着相反方向的运动。因此，在半导体中间存在着带负电的自由电子和带正电的空穴都能参与导电的特性，这两种参与导电的粒子就称为载流子。

当环境温度、光照等变化时，被激发出的自由电子的数目就会增加，空穴数也增加，半导体内的载流子浓度就大大增加，半导体的电阻率就减小，这是半导体电阻率不稳定的原因之一。在本征半导体中间，自由电子和空穴总数是相等的。

三、杂质半导体

本征半导体的导电性能是很弱的，但在本征半导体中间掺入微量的其他元素，将形成导电能力的显著变化，这些掺入杂质的半导体就称为杂质半导体。杂质半导体有 P 型半导体和 N 型半导体两大类。

在本征半导体中间掺入微量的三价元素（如硼）就形成了 P 型半导体，由于三价元素的外层只有三个价电子，在 P 型半导体中总有部分的共价键因缺乏价电子而存在空穴，因此在 P 型半导体中间，空穴是多数载流子，在外环境的作用下，共价键中还是价电子被激发出去变成自由电子，但其数量总是少于空穴，因此自由电子是少数载流子。

在本征半导体中间掺入微量的五价元素（如磷）就形成了 N 型半导体，由于五价元素的外层有五个价电子，在 N 型半导体中自由电子的数目远大于共价键中被激发出电子而留下的空穴，因此在 N 型半导体中间，自由电子是多数载流子，空穴是少数载流子。

图 9-3 所示为杂质半导体形成的示意图。由于杂质半导体中的载流子浓度要高于本征半导体，因此其导电能力也要高于本征半导体，其导电能力和所掺微量元素的浓度有关。在杂质半导体中间两种载流子浓度的乘积是一个常数，即掺杂越多，多数载流子的浓度越高，则少数载流子的浓度就越低，但少数载流子却对外界环境的变化很敏感，所以杂质半导体的导电特性同样和温度、光照等环境因数有关。

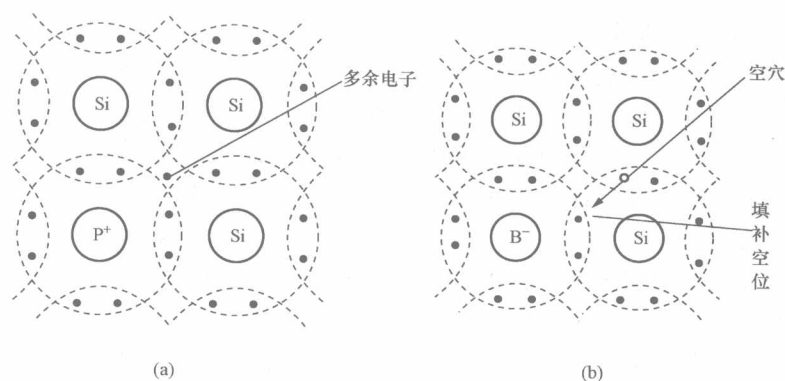


图 9-3 杂质半导体形成示意图

(a) N 型半导体; (b) P 型半导体

9-2 PN 结及半导体二极管

一、PN 结的形成

将 P 型半导体材料和 N 型半导体材料结合在一起，其结合面就组成了一个 PN 结，如图 9-4 所示。

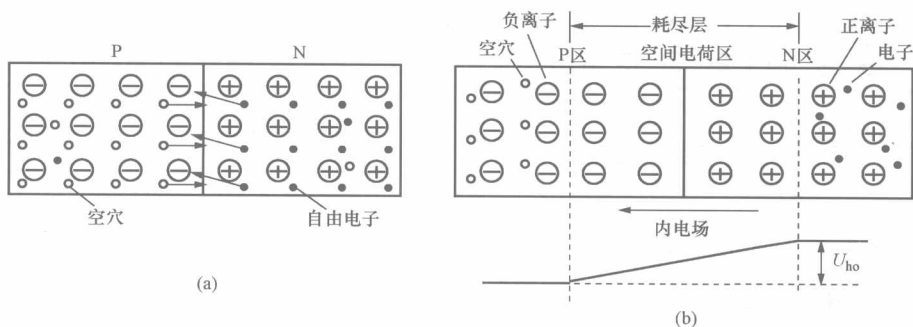


图 9-4 PN 结形成示意图

由于 PN 结两边半导体材料的载流子性质不同，且存在着显著的浓度差，因此相互之间的多数载流子就会向对方材料渗透运动，这种运动又被称为扩散运动，如图 9-4 (a) 所示。

扩散运动使得 PN 结的结合面附近原有的多数载流子分别被来自对方的多数载流子所复合，形成了一个类似本征半导体的耗尽层，该区域又被称为空间电荷区。耗尽层中由于多数载流子的消失，电阻率将大于原来的 P 区和 N 区，它的存在阻碍了扩散运动的继续进行。

同时在耗尽层方向 N 区，由 P 区过来的空穴复合了部分电子，使原处于平衡的 N 区带上了正电，同样 P 区因失去空穴而呈现出带上了负电，这样在 PN 结的两侧就形成了一个由 N 区指向 P 区的内电场，如图 9-4 (b) 所示。在内电场的作用下，处于负电状态下的 P 区电子将趋向于向 N 区运动，这种运动又成为漂移运动。

扩散运动和漂移运动是一对运行方向相反的运动，在 PN 结面上相互制约达到一定的平衡，这样 PN 结中的耗尽层宽度也就稳定了。

二、PN 结的单向导电性

在半导体器件上加静态电压称为偏置。

在 PN 结的 P 区加正电, N 区加负电, 如图 9-5 所示。由于正电的电场力驱动正电荷由 P 区流向 N 区, 使 P 区的空穴浓度得到增强, 而 N 区因失去正电荷, 因此电子浓度也得到增强, 这样产生的结果就是耗尽层的宽度变窄了, 同时内电场也削弱了。由于内外电场的方向相反, 只要外电场能克服内电场, 就能形成较大的电流, 其电流的大小和外加的正向偏置电压及电路回路中的电阻有关。这种加电方式称为 PN 结的正向偏置。

在 PN 结的 P 区加负电, N 区加正电, 如图 9-5 所示。此时 P 区因接负电, 得到的是电子补充, 这样势必要被复合大量的空穴, 使得空穴浓度下降, 同时 N 区也消耗了许多电子, 使得电子浓度下降, 因此空间电荷区变得更宽, 内电场也得到加强, 且内电场的方向和外电场一致。反向偏置时外电场越高, PN 结的耗尽层越宽、内电场也越强, 如图 9-6 所示。这种情况下的外电场不能形成较大的电流, 只有很少的电流穿过耗尽层形成反向电流, 该电流称为反向饱和电流或反向漏电流。这种加电方式称为 PN 结的反向偏置。

PN 结正向偏置时允许电流通过, 反向偏置时不让电流通过的特性被称为 PN 结的单向导电特性。

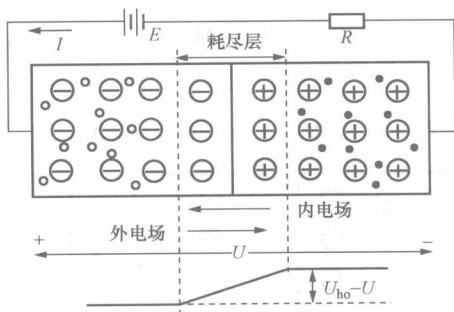


图 9-5 PN 结的正向偏置

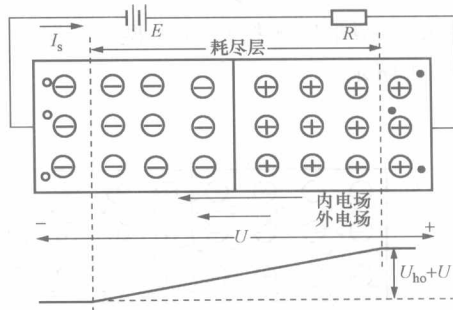


图 9-6 PN 结的反向偏置

三、半导体二极管

半导体二极管的实质就是一个 PN 结。根据制作方式 PN 结分为点触型和面触型两种。图 9-7 (a) 所示为点触型二极管, 由于其结电容小, 因此工作频率高, 适用高频检波和数字脉冲电路中的开关管。图 9-7 (b) 所示为面触型二极管, 其 PN 结的接触面大, 因此允

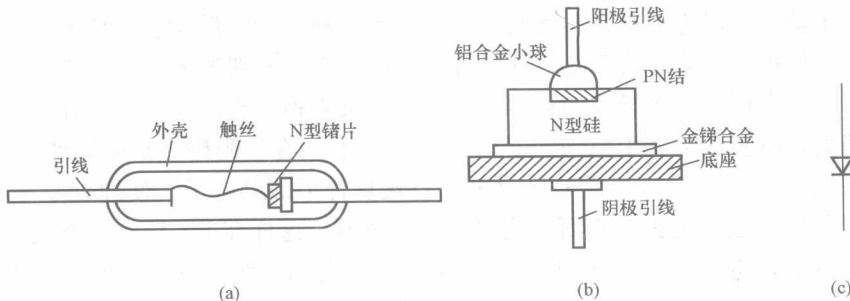


图 9-7 半导体二极管

(a) 点触型; (b) 面触型; (c) 二极管符号

许流经的电流就大,但PN结上的电容也大,因此工作频率低,适用一般的工频整流电路。

二极管的符号如图9-7(c)所示,三角形代表P型半导体,也表示二极管的允许正向电流的流动方向。

四、二极管的外特性

二极管的外特性就是电压—电流特性,也称伏安特性。二极管的伏安特性 i_D 和 U_D 可以表示为

$$i_D = I_s(e^{U_D/U_T} - 1) \quad (9-1)$$

式中 I_s ——反向饱和电流;

U_T ——温度电压当量, $U_T = kT/q$, 其中 k 为玻耳兹曼常数, T 为热力学温度, q 为电子当量, 在 $T=300\text{K}$ 时 $U_T \approx 26\text{mV}$ 。

图9-8所示为实测硅二极管的伏安特性曲线。由图可以分成三个特性区域:

(1) 正向导通特性。当二极管两端加上正向偏置,外加电压大于PN结内电场时,电流急剧加大。这时外电场的电压又称为该二极管的导通电压(又称开启电压),该电压用 U_{ON} 来表示,其大小和环境温度与流经二极管的电流有关,一般在室温下硅管的 U_{ON} 为 $0.6 \sim 0.8\text{V}$, 锗管的 U_{ON} 为 $0.1 \sim 0.3\text{V}$, 导通电流小时取下限,大时取上限。电流的大小由外电路中的电压和电阻决定。正向偏置时二极管两端电压变化很小,而电流可以变化很大,因此可视为二极管导通区。在外电压很高及理想二极管分析时,导通二极管的正向导通电压可视为零。

(2) 截止特性。当外加偏置小于 U_{ON} 时,流经二极管的电流很小,当外加偏置为反向偏置时硅管的反向电流一般小于 $0.1\mu\text{A}$, 锗管的反向电流通常为几十微安,同时反向电流受环境温度、光照的影响很大。理想的二极管其反向截止时可视为开路。

(3) 反向击穿区。当反向偏置电压大于某个数值时,二极管的反向电流急剧加大,此时的电压称为二极管的反向击穿电压。二极管的反向击穿电压可以由几十伏至几千伏。

环境对二极管的伏安特性有着显著的影响,温度上升时,正向导通电压 U_{ON} 将略微下降,反向漏电流将加大。

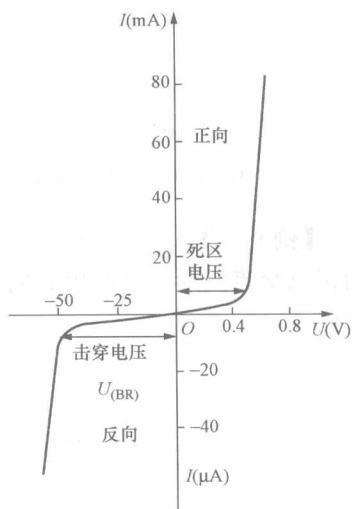


图 9-8 硅二极管的伏安特性曲线

五、二极管等效电路及二极管电路分析

二极管的特性是非线性的,为了方便分析计算,在工程上可以运用近似地分段线性化处理,由此得到如图9-9所示的二极管等效特性图和等效电路模型。图中的二极管为理想二极管,表示单向导电特性。电源 U_{ON} 代表二极管的开启电压。电阻 r_D 表示正向导通时二极管内部的电阻,该电阻很小。

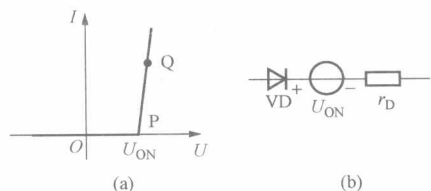


图 9-9 二极管等效特性图及等效电路模型

(a) 二极管等效特性图; (b) 等效电路模型

二极管在小功率工作状态运用图9-9的等效图进行分析,此时只要正向偏置电压大于开启

电压 U_{ON} , 二极管就导通, 二极管两端的电压就维持在 U_{ON} 上, 当外加偏置电压小于 U_{ON} 时, 二极管就处于开路状态。

以下就是几个实际二极管电路的分析。

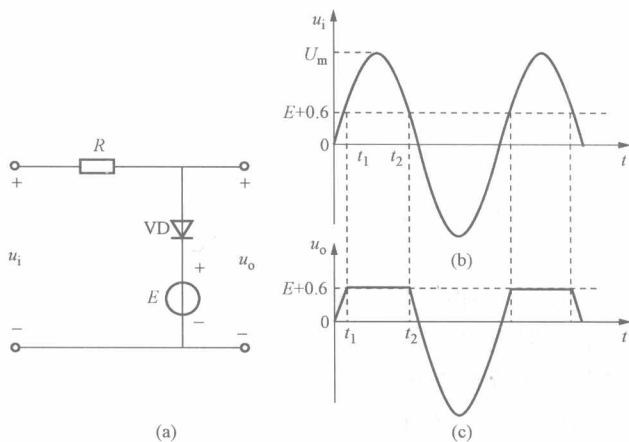


图 9-10 [例 9-1] 图

(a) 电路; (b) 输入波形; (c) 输出波形

【例 9-1】 图 9-10 (a) 所示电路, 二极管的开启电压为 0.6V , 在输入图 9-10 (b) 所示的正弦波形后, 画出其输出电压的波形。

解 当外加电压低于 $E + 0.6\text{V}$ 时, 二极管反向偏置, 此时二极管处于断路状态, 输出波形等于输入波形。

当外加电压高于 $E + 0.6\text{V}$ 时, 二极管正向偏置, 输出电压为 $E + 0.6\text{V}$ 的水平线。

整个输出波形如图 9-10 (c) 所示, 这是一个二极管单向限幅电路, 其输出电压不会高于 $E + 0.6\text{V}$ 。

【例 9-2】 图 9-11 (a) 所示电路, 当二极管是理想二极管时, 输入图 9-11 (b) 所示的正弦交流波形, 试画出其输出电压的波形。

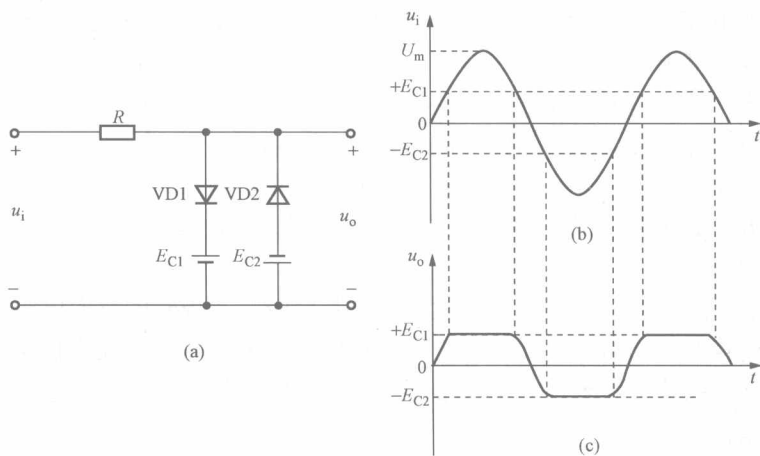


图 9-11 [例 9-2] 图

(a) 电路; (b) 输入波形; (c) 输出波形

解 该电路由两个二极管和电源组成, 当输入电压高于 E_{C1} 时, $VD1$ 导通, 输出为 E_{C1} 的水平线, 当输入电压低于 $-E_{C2}$ 时 $VD2$ 导通, 输出电压为 $-E_{C2}$ 的水平线。

输出波形如图 9-11 (c) 所示。

本例电路也为限幅电路, 且输出电压的双向幅度受限。

【例 9-3】 分析图 9-12 所示电路, 设二极管都是正向压降为 0V 的理想二极管, 当 $U_A = 6\text{V}$ 、 $U_B = 9\text{V}$ 时, 求输出电压 U_Y 。

解 设 VDA 导通时 $U_Y = \frac{9}{1+9} \times 6 = 5.4(\text{V})$

而此时 $U_B = 9\text{V}$ 大于该电压, 因此 VDB 肯定也要导通。

而当 VDB 导通时 $U_Y = \frac{9}{1+9} \times 9 = 8.1(\text{V})$

该电压大于 $U_A = 6\text{V}$, VDA 截止。

分析所得, U_Y 的电压应该为 8.1V 。

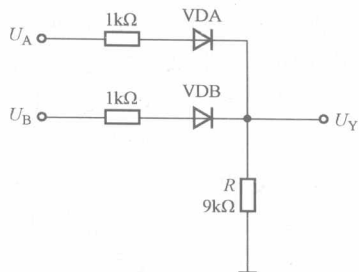


图 9-12 [例 9-3] 图

【例 9-4】分析图 9-13 所示电路, 设二极管为理想二极管, 求 U_a 和 U_b 的电压值。

解 该电路由多个电源、二极管和电阻组成, 按照上例的分析方法先分析 U_a :

当 VD1 导通时, U_a 的电压应该是一 4V , 此时 VD2 截止。

而 VD2 导通时, U_a 的电压应该是一 1V , 这样 VD1 也要导通。

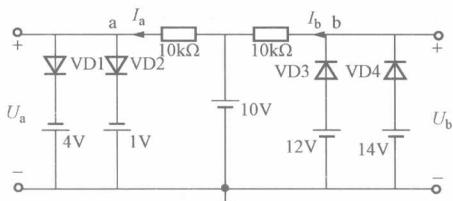


图 9-13 [例 9-4] 图

因此, U_a 输出电压应该是一 4V 。

再分析 U_b :

当 VD3 导通时, U_b 的电压是 12V , 其低于 14V , 因此 VD4 也要导通。

而 VD4 导通时, U_b 的电压是 14V , 此时 VD3 截止。

因此, U_b 电压是 14V 。

六、二极管的主要参数

二极管的主要参数有:

(1) 最大平均整流电流 I_F , 表示二极管正向导通时所允许流过的最大平均电流 (简称为电流)。电流大时二极管的温升要提高, 当电流超过该值时将引起二极管烧坏, 选用二极管的时候要注意通过二极管的最大平均电流不能超过该数值。为提高工作的可靠性, 还应该有一定的裕度, 譬如取最大平均电流的 $1/2$ 。

(2) 最大反向工作电压 U_R (简称耐压), 指二极管使用时所能承受的最大反向电压, 高于此电压二极管将反向击穿, 反向击穿时电压和电流都很大, 二极管很快就会烧毁。通常使用时取反向击穿电压的一半为 U_R 。

(3) 反向电流 I_F , 指二极管反向未击穿时的电流 (又称漏电流)。此值越小, 二极管的单向导电性就越好。此值和温度的关系密切, 在高温下漏电流将急剧加大, 同时硅二极管的反向电流要远小于锗二极管的反向电流。

(4) 最高工作频率 f_M , 表示二极管允许工作的最高频率, 当外加信号频率高于此值时二极管将失去单向导电性。该特性主要是由二极管的结电容大小决定的。在 50Hz 的工频场合, 一般二极管都可符合要求, 但在一些高频电子设备、开关电源等装置中, 某些二极管的工作频率比较高, 选用二极管的时候就要注意二极管的工作频率了。

七、特殊二极管

常见的特殊二极管有以下几种。

1. 稳压二极管

稳压二极管是一种反向击穿电压比较低的二极管。二极管的击穿有齐纳击穿和雪崩击穿

两种 (也称为一次击穿和二次击穿)。齐纳击穿是在外加电场的作用下, PN 结里的载流子运动加大, 造成反向电流急剧加大, 但二极管的 PN 结并无损坏, 一旦外加电场撤除后二极管可以恢复。当反向击穿电流大到一定程度, PN 结两端的电压乘以电流超过二极管所能承受的极限时, 二极管的 PN 结将会被烧坏, 这样的击穿称为雪崩击穿, 雪崩击穿后二极管是无法恢复的。稳压二极管实际上就是将二极管的反向击穿电流控制在允许范围内。

稳压二极管有着和普通二极管类似的伏安特性曲线, 其差别在于稳压二极管的反向击穿电压较普通的二极管低得多, 通常只有几伏到几十伏。一般情况下稳压二极管工作在其反向击穿区域。

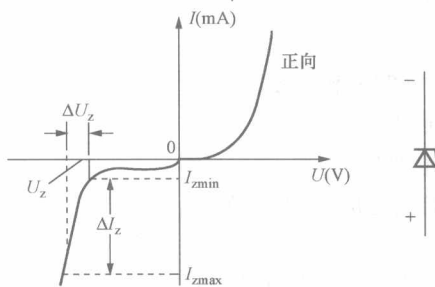


图 9-14 稳压二极管的伏安特性和符号

图 9-14 所示为稳压二极管的伏安特性和符号。

稳压二极管的主要参数有反向击穿电压 (又称为稳定电压值) 和额定功率, 使用时注意, 反向电流和电压的乘积不应超过其额定功率。由于稳压管工作在反向击穿状态, 因此为达到稳压效果, 希望稳压二极管在所允许反向电流 ΔI_Z 的波动范围之内, 其两端电压的波动尽可能得小。则分析稳压二极管电路时注意, 正常情况下, 稳压二极管两端的反向电压值应该等于其反向击穿值。

【例 9-5】 分析图 9-15 所示电路, U_i 为 24V, U_Z 为 12V, VDz 的功率为 1W, $I_{Zmin} = 10\text{mA}$, 求电路的输出电压 U_L 、电阻 R 和负载 R_L 的取值范围。

解 输出电压应该是稳压二极管的反向击穿电压 12V。

稳压二极管的反向最大电流为

$$I_{Dmax} = \frac{P_D}{U_Z} = \frac{1}{12} = 83(\text{mA})$$

当负载开路时, 电流 I 全部流经稳压二极管, 并限制在 83mA 范围内, 因此

$$R \geq \frac{24 - 12}{0.083} = 144(\Omega)$$

取电阻 R 为 150Ω 。

依据 KCL, 负载电流 I_L 的变化为

$$83 - 10 = 73(\text{mA})$$

$$R_L \geq \frac{12}{73} = 164(\Omega)$$

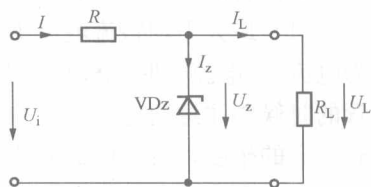


图 9-15 [例 9-5] 图

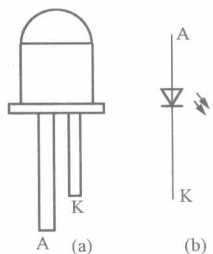


图 9-16 发光二极管
(a) 实物图; (b) 符号

2. 发光二极管

发光二极管分为光电二极管和感光二极管两种, 图 9-16 所示为发光二极管的实物图和符号。

当 PN 结中的电子和空穴发生复合时将放出能量, 在一般硅和锗二极管中这些能量主要以热量的形式释放出来, 但掺入某些杂质如磷砷化镓、硫或氮以后, 可以使二极管发出红外线或各种颜色的可见光, 这类二极管称为发光二极管, 通常用字母 LED 来表示。

发光二极管具有效率高、寿命长、体积小等优点, 它能很好地与

各种电子线路电压电流兼容,因此被广泛地运用作指示和显示器件。由于发光二极管需要大量的电子和空穴复合,因此其工作在正向导通区,正向导通电压比一般的二极管导通电压要来得高些,发光的强弱和流经二极管的电流大小成正比。

发光二极管的光谱比较单一,配以适当的聚焦器,可以做成一种高定向性、高单色性的小型激光源。这种小型激光源被广泛地应用于光纤通信、条形码阅读器和光盘播放器中。

能检测出发光体发光强度的器件是光电二极管,图 9-17 所示为光电二极管的实物图和符号。

光电二极管(又称光电管)在受到光子的激发下,能产生一定的电流,其电流的大小和所受到的照射光线强度成比例。

光电管工作在截止区,通过不同的掺杂方式,使其对不同的光谱反应特别敏感,有的发光二极管和光电二极管组成对管,就是它们各自发出和接受的光谱正好匹配,以达到增加抗干扰的能力。图 9-18 所示为常用的光电耦合器符号,其实质就是一对光电管。

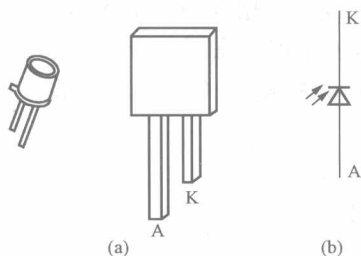


图 9-17 光电二极管

(a) 实物图; (b) 符号

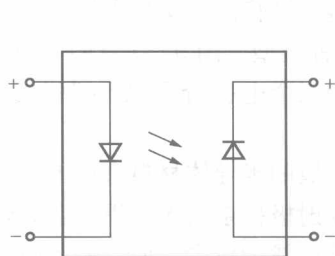


图 9-18 光电耦合器符号

光电二极管通常用于检测和光通信场合。

3. 变容二极管

利用 PN 结的结电容可以做成变容二极管,图 9-19 所示为变容二极管的符号。

PN 结两边半导体的电阻率较小,中间耗尽层的电阻率较大,形式上就像是一个电容,该电容被称为势垒电容,当 PN 结正向偏置时,耗尽层变窄,电容量变大。另外,当 PN 结处于正向偏置时有大量的电流经过 PN 结,在所经过的半导体材料中会留存部分载流子,当外加偏置拆除时,该留存的载流子又返还电源,这种留存的载流子也是电容储藏电荷的一种形式,称为扩散电容。同样,当 PN 结正向偏置时流经的电流大,所截留的电荷多,相当于电容大;在 PN 结反向偏置时电流小,其扩散电容也小。势垒电容和扩散电容共同组成了二极管的结电容,反向偏置电压越高,结电容越小。

虽然 PN 结的结电容正向偏置时的电容量大于反向偏置时的电容量,但由于正向偏置时 PN 结的电阻小,电容效应不够显著,而反向偏置时电容效应很明显,因此变容二极管往往应用在反向偏置状态。

由于二极管的结电容一般不大,变容二极管多应用将直流电压控制高频振荡的电路之中,比如收音机和电视机里的选台调谐器。

八、二极管的使用注意事项

使用二极管除注意主要参数不能突破之外,还要注意二极管的极性不可接错。一般二极



图 9-19 变容二极管符号

管上都有一定的提示反映二极管的极性,譬如画一个二极管的符号或在二极管的负极(N区)画道白线等。如标识不清或想检验一下二极管的好坏,可用指针式万用电表的欧姆档去测量。其测量方法为:选万用表 $R \times 1k$ 档,将万用电表的红黑两根测量笔分别接二极管的两端,电阻读数应有很大的差别,其中电阻小的连接方法,黑笔接触的是正极(P区)。如果正反两次测量的电阻差别不大,说明二极管的单向导电特性不好;正反两次测量的电阻值都很小,说明二极管已经击穿;正反两次测量的电阻都很大,说明该二极管开路。以上是对普通二极管的检测,如遇发光二极管或硅堆等特殊二极管因其导通电压较高,可采用万用电表 $R \times 10k$ 档或外加电源测量。

9-3 双极型半导体三极管

一、半导体三极管的组成

双极型三极管由三块半导体材料、两个PN结组成,根据选用的半导体材料,它有PNP和NPN两种类型。图9-20(a)所示为三极管的组成结构示意图,(b)为它们所对应的符号。引出的三个电极分别被称为发射极E、基极B和集电极C。这两类管子又简称为三极管。

三个电极的半导体材料有以下的特点:

- (1) 发射极掺杂较多,里面含有较高的多数载流子。
- (2) 基极掺杂较少,而且做得较薄。
- (3) 集电极做得比较大,且多与外壳相连接,以便于散热。

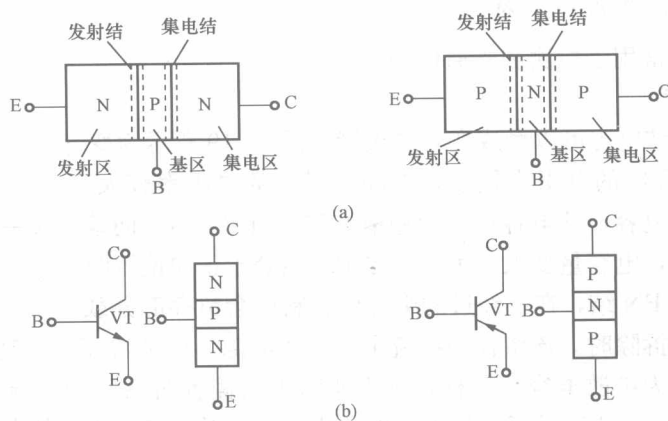


图9-20 三极管的组成结构和符号

二、三极管的放大作用

三极管是由半导体材料组成的非线性器件,要让其工作则必须要为其提供适当的工作环境,这环境就是三极管的直流偏置。

处于放大状态的直流偏置条件是:

- (1) 三极管的发射极和基极之间的电压(又称为发射结电压) U_{be} 必须是正向偏置。由于发射极和基极之间是一个PN结,所以正向偏置时硅三极管这两端的电压为0.7V(锗管