

高等学校教材

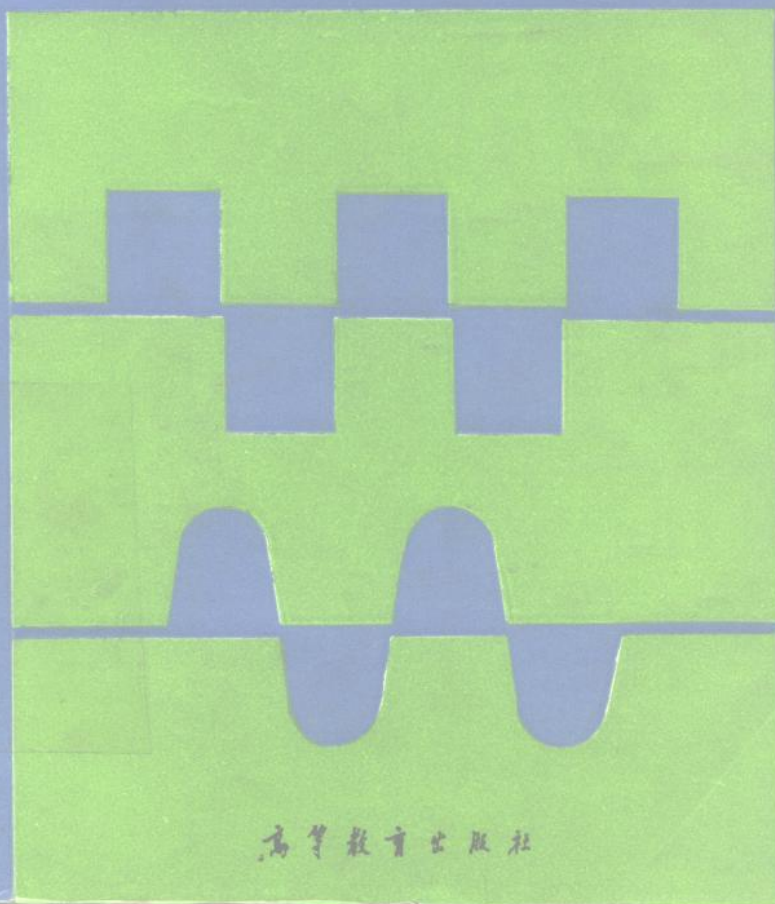
电工学Ⅱ

电子技术

(第三版)

浙江大学电工学教研室 编

罗守信 主编



高等教育出版社

TH
80-3

高等学校教材

电工学(Ⅱ)

电子技术

(第三版)

浙江大学电工学教研室 编
罗守信 主编

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书符合国家教委 1987 年颁发的高等工业学校电子技术(电工学 II)课程教学基本要求。该书较第二版有下列特色:份量适当,教材篇幅与课程学时相适应。内容更新,反映电子技术新发展。注意应用,加强理论与实践的联系。

主要内容有:晶体二极管及其应用、晶体三极管及其放大电路、集成运算放大器及其应用、正弦波振荡电路、直流稳压电源与晶闸管及其应用、数字电路。

适用于 46 ~ 55 学时。

本书可作为高等工业学校非电专业教材,也可供工程技术人员参考。

2P25/12

高等学校教材

电工学(I)

电子技术

(第三版)

浙江大学电工学教研室 编

罗守信 主编

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

高等教育出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 11.75 字数 300 000

1993 年 10 月第 3 版 1993 年 10 月第 1 次印刷

印数 0 001—8 871

ISBN7-04-004550-8/TM·230

定价 5.50 元

目 录

第八章 晶体二极管及其应用	(1)
内容提要	(1)
8-1 晶体二极管	(1)
一、晶体二极管的工作原理	(1)
二、晶体二极管的结构	(3)
三、晶体二极管的伏安特性	(4)
四、晶体二极管的主要参数	(5)
8-2 晶体二极管的应用	(6)
一、半波整流电路	(6)
二、检波电路	(7)
三、开关应用	(8)
*四、二极管“续流”保护电路	(10)
8-3 稳压二极管及其应用	(11)
一、稳压二极管的特性与参数	(11)
二、稳压二极管的稳压电路	(14)
习题	(15)
第九章 晶体三极管及其放大电路	(18)
内容提要	(18)
9-1 晶体三极管	(18)
一、晶体三极管的结构	(18)
二、晶体三极管的电流放大作用	(19)
三、晶体三极管的特性曲线	(22)
四、晶体三极管的主要参数	(26)
9-2 三极管的小信号模型	(30)
9-3 共发射极放大电路	(33)
一、共发射极单管放大电路的基本组成	(33)

二、共发射极放大电路的工作情况分析	(35)
三、共发射极放大电路的微变等效电路	(39)
四、共发射极放大电路的电压放大倍数	(41)
五、共发射极放大电路的输入电阻和输出电阻	(44)
六、放大电路静态工作点的稳定	(46)
9-4 多级放大电路	(50)
一、放大电路的级间耦合方式	(50)
二、多级放大电路的电压放大倍数	(53)
9-5 差动放大电路	(55)
一、差动放大电路的抑制零点漂移作用	(56)
二、差动放大电路的放大作用	(58)
三、差动放大电路的共模信号和共模抑制比	(60)
四、具有恒流源的差动放大电路	(64)
五、差动放大电路的输入 - 输出方式	(65)
9-6 射极输出器	(67)
一、射极输出器的工作原理和电压放大倍数	(67)
二、射极输出器的输入电阻和输出电阻	(70)
9-7 互补对称功率放大电路	(73)
一、射极输出器功率放大电路	(74)
二、互补对称功率放大电路	(77)
9-8 场效应管及其放大电路	(85)
一、绝缘栅场效应管	(85)
二、场效应管放大电路的偏置电路	(92)
习题	(94)
第十章 集成运算放大器及其应用	(105)
内容提要	(105)
10-1 集成运算放大器的简介	(105)
一、集成运算放大器的组成	(105)
二、集成运算放大器的主要技术指标	(109)
三、集成运算放大器的电压传输特性	(111)
10-2 放大电路中的负反馈	(111)
一、负反馈的基本原理	(111)

二、集成运算放大电路的四种基本负反馈电路	(114)
三、负反馈对集成运算放大电路性能的影响	(118)
10-3 理想运算放大器的电路模型和特性	(123)
10-4 集成运算放大器的三种基本输入方式	(125)
一、反相输入方式	(126)
二、同相输入方式	(128)
三、差动输入方式	(130)
10-5 模拟信号的基本运算电路	(133)
一、比例运算电路	(134)
二、加法运算电路	(135)
三、减法运算电路	(136)
四、积分运算电路	(138)
五、微分运算电路	(139)
10-6 测量和有源滤波电路	(140)
一、直流电流、电压和电阻的测量电路	(140)
*二、测量放大电路	(144)
三、有源滤波电路	(147)
10-7 集成运算放大器的非线性应用	(150)
一、电压比较器	(150)
*二、矩形波发生器	(152)
*三、应用举例	(153)
习题	(155)
第十一章 正弦波振荡电路	(163)
内容提要	(163)
11-1 振荡电路的自激条件	(163)
一、自激振荡与振荡条件	(163)
二、选频	(165)
三、振荡的建立与稳定	(165)
11-2 集成运算放大电路组成的 RC 正弦波振荡电路	(166)
11-3 LC 正弦波振荡电路	(168)
一、三点式振荡电路自激振荡的相位条件	(169)

二、电感三点式振荡电路	(170)
三、电容三点式振荡电路	(171)
四、变压器反馈式 LC 振荡电路	(172)
*11-4 晶体振荡电路	(173)
一、石英晶体的特性及其等效电路	(173)
二、石英晶体振荡电路	(175)
习题	(177)
第十二章 直流稳压电源与晶闸管及其应用	(180)
内容提要	(180)
12-1 直流稳压电源的组成	(180)
12-2 单相桥式整流电路	(181)
12-3 滤波电路	(185)
一、电容滤波电路	(185)
二、电感滤波电路	(188)
三、 CRC 滤波电路	(190)
12-4 直流串联型稳压电路	(192)
12-5 集成稳压电源	(194)
一、由运放组成的稳压源和稳流源	(195)
二、集成稳压器	(196)
*12-6 晶闸管及其应用	(199)
一、晶闸管元件	(199)
二、单相桥式可控整流电路	(203)
三、单结晶体管触发电路	(207)
四、晶闸管技术的其它应用	(211)
习题	(213)
第十三章 数字电路	(218)
内容提要	(218)
13-1 基本门电路	(218)
一、“与”门电路	(219)
二、“或”门电路	(220)
三、“非”门电路	(222)

13-2 集成门电路	(226)
一、集成“与非”门电路	(227)
* 二、其它功能的门电路	(238)
13-3 逻辑代数及其在组合逻辑电路分析中的应用	(244)
一、逻辑代数的基本运算规则	(244)
二、组合逻辑电路的分析方法	(246)
13-4 触发器	(251)
一、基本 RS 触发器	(252)
二、同步 RS 触发器	(255)
三、JK 触发器	(257)
四、D 触发器	(262)
13-5 寄存器	(265)
一、数码寄存器	(265)
二、移位寄存器	(266)
13-6 计数器	(269)
一、二进制加法计数器	(270)
二、十进制加法计数器	(275)
13-7 编码器和译码器	(278)
一、编码器	(278)
二、二进制译码器	(280)
三、二 - 十进制译码器	(283)
四、七段译码器和数字显示	(284)
*13-8 集成定时器及其应用	(288)
一、集成定时器的工作原理	(288)
二、用集成定时器组成的单稳态触发器	(291)
三、用集成定时器组成的多谐振荡器	(293)
13-9 数 - 模和模 - 数转换的基本原理	(297)
一、数 - 模转换器	(297)
二、模 - 数转换器	(301)
13-10 数字电路应用举例	(304)
一、数字钟	(304)
二、八步顺序控制器	(305)

习题	(308)
附录	(319)
文字符号说明	(319)
附录一 常用半导体器件、集成电路和数字电路一些 元件的新旧图形符号对照表	(321)
附录二 国产半导体器件型号命名法	(324)
附录三 常用半导体器件的部分型号和主要参数	(325)
一、半导体二极管	(325)
二、稳压二极管	(329)
三、单结晶体管(双基极二极管)	(332)
四、晶体三极管	(333)
五、场效应管	(340)
六、普通晶闸管	(342)
附录四 半导体集成电路型号命名法	(344)
附录五 几种常用国产集成运算放大器主要参数表	(346)
附录六 常用TTL及 MOS 数字集成电路功能和型号表	(348)
参考书目	(354)
中英名词对照	(356)

第八章 晶体二极管及其应用

内 容 提 要

晶体二极管和稳压二极管是最常用的半导体器件,应用十分广泛。本章主要介绍它们的工作原理、基本结构、伏安特性和主要参数,以及常见的应用电路。

8-1 晶体二极管

一、晶体二极管的工作原理

晶体二极管是由一个PN结加上电极引线和管壳构成。在一部分本征半导体硅(或锗)中掺入微量的五价元素(如磷),将生成大量的自由电子,构成N型半导体,在另一部分硅中掺入微量的三价元素(如硼),将生成许多空穴,构成P型半导体,于是在P型区和N型区的交界面处形成了PN结。晶体二极管的基本工作状态决定于穿过PN结的电子电流和空穴电流的情况。晶体二极管的工作状态有下列三种:

无偏置状态:二极管两边不加电源或电压。由于二极管的P型区有很多空穴和少量自由电子,N型区有很多自由电子和少量空穴,两部分的载流子浓度不平衡,使P型区的空穴向N型区扩散,N型区的自由电子向P型区扩散。扩散的结果,在P型区留下了带负电的离子(图8-1中用 $\ominus$ 表示),在N型区留下了带正电的离子(图中用 $\oplus$ 表示)。于是在交界面两侧附近形成一层“空间电荷区”,

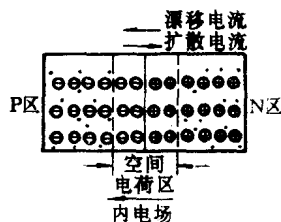


图 8-1 PN 结中的扩散与漂移运动

称耗尽层(或阻挡层),如图8-1中所示。PN结指的就是这个区域。

空间电荷区的存在,使界面两侧产生一电场,称内电场。内电场阻止P型区的多数载流子(空穴)向N型区继续扩散,也阻止N型区的多数载流子(自由电子)向P型区继续扩散。但是内电场会使P型区的少数载流子(自由电子)向N型区漂移,N型区的少数载流子(空穴)向P型区漂移。PN结的形成正是P型和N型两种半导体交界处载流子的扩散运动和漂移运动平衡的结果。

正向偏置状态:如图8-2(a)电源 E 的正极接P侧,负极接N侧。此时电源 E 在PN结中产生的外电场与其内电场方向相反,驱使P型区的空穴进入空间电荷区,与其中负离子复合,驱使N型区的自由电子进入空间电荷区,与其中的正离子复合。结果使空间电荷区变窄,有利于PN结两侧的多数载流子越过PN结形成电流。因此二极管正向偏置时,能形成较大的电流,即二极管处于导电(导通)状态。

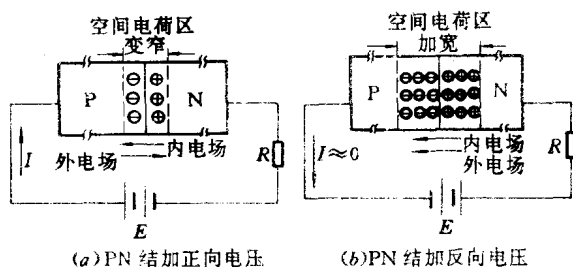


图8-2 PN结的单向导电性

反向偏置状态:如图8-2(b)电源 E 的正极接N侧,负极接P侧。此时外电场与内电场方向相同,使空间电荷区加宽,载流

子的扩散很难进行。但是由电子的热运动产生的 P 型区中的自由电子与 N 型区中的空穴,此时会产生漂移运动而形成漂移电流。不过这部分是少数载流子,形成的漂移电流很小。因此,二极管在反向偏置时,可以认为基本上不导电,处于截止状态。

综上所述,二极管在正向偏置时,PN 结导通,有电流通过,呈现低电阻状态;反向偏置时,PN 结截止,无电流通过,呈现高电阻截止状态。即二极管(PN 结)具有单向导电性。

当加在二极管两侧的电压改变时,P 型区与 N 型区交界面上的空间电荷区随着改变,这种现象与电容器充放电现象相似,通常用结电容来表示这种电容效应。PN 结的结电容一般很小(几十皮法),低频时,结电容呈现的容抗很大,其作用相当于开路;高频时,要考虑结电容的旁路作用。

二、晶体二极管的结构

晶体二极管的核心是 PN 结,由 P 型区引出的电极称为阳极, N 型区引出的电极称为阴极。按内部结构的不同,通常有以下几种类型:

1. 点接触型二极管

结构如图 8-3(a)所示。它的特点是 PN 结的面积小,不能通过大的电流,但结电容小,因此主要用于高频信号的检波与小电流的整流,也用作脉冲数字电路的开关元件。

2. 面接触型二极管

结构如图 8-3(b)所示。由于其 PN 结的面积大,可以通过较大的电流(几百毫安至几百安),但结电容大,不能用于高频电路,主要用于低频电路和整流电路。

3. 硅平面开关管

它是用制造平面管的工艺制成的,结构如图 8-3(c)所示。结面积较小的管子,结电容小,适用于脉冲数字电路中作开关管。结面积大的管子,可通过较大电流,适用于大功率整流。

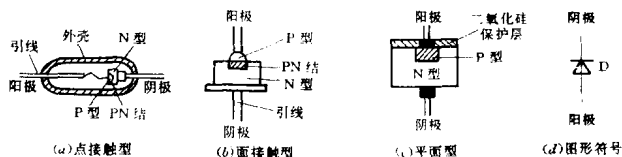


图 8-3 晶体二极管的结构示意图和图形符号

根据所用的半导体材料不同，晶体二极管有硅管和锗管之分。例如 2CP 型为硅二极管，2AP 型为锗二极管。

晶体二极管的图形符号如图 8-3 (d) 所示，三角箭头的方向表示其导电方向。

三、晶体二极管的伏安特性

晶体二极管的单向导电性，可以用它的伏安特性来描述。二极管的伏安特性就是加到二极管两端的电压和通过二极管电流的关系曲线。

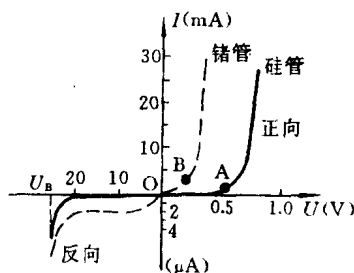


图 8-4 二极管的伏安特性曲线

晶体二极管的伏安特性曲线如图 8-4 所示。由特性曲线可以看出，当二极管加以正向电压时，产生正向电流。但是，当正向

电压较小时,由于外电场还不足以克服内电场对多数载流子扩散运动所造成的阻力,因此,这时的正向电流仍然很小,二极管呈现的电阻较大。这一段称为死区。硅管的死区电压约为 $0 \sim 0.5\text{V}$ (图中 OA) 之间,锗管约为 $0 \sim 0.2\text{V}$ (图中 OB) 之间。当二极管两端的正向电压超过死区电压以后,内电场被大大削弱,二极管的电阻变得很小,电流随电压的上升增长很快。二极管正向导通时的正向压降很小,一般情况下,硅管约 $0.6 \sim 0.7\text{V}$,锗管约为 $0.2 \sim 0.3\text{V}$ 。

当二极管加以反向电压时,只能由少数载流子形成很小的反向电流。反向电流有两个特点:第一是它随温度的上升增长很快;第二是只要反向电压在一定范围之内,反向电流基本上不随反向电压变化。这是因为少数载流子数量很少,在一定温度下,每单位时间内只能提供一定的数量,当外加电压所产生的电场足够把它们都吸引过来形成电流之后,外加电压即使再高(在一定范围内),也不会使载流子数目增加。正因为这样,反向电流又常被称为反向饱和电流。通常硅二极管的反向电流可以做到纳安级($1\text{nA} = 10^{-9}\text{A}$),锗二极管的反向电流可以做到微安级($1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$)。由于锗管的反向电流比硅管大得多,因此锗管受温度的影响比较明显。

当反向电压增加到一定数值时,外电场产生的电场力大到足以把原来被束缚的电子强行“拉出”,成为自由电子,这时载流子数急剧上升,造成反向电流的突然增大,这种现象称为反向击穿,此时的电压称为反向击穿电压 U_R 。二极管发生反向击穿后,由于其反向电流显著增大,可能导致 PN 结损坏。因此二极管工作时,所加的反向电压值应小于其反向击穿电压。

四、晶体二极管的主要参数

半导体器件的质量指标,常用它的参数来表示。在选择和使用半导体器件时,应首先了解它的主要参数,以便正确选用。

晶体二极管的主要参数如下：

(1) 最大整流电流 I_{FM} 最大整流电流是指二极管能够允许通过的最大正向平均电流值。它是由半导体材料和PN结面积决定的。当电流超过这个允许值时,将由于发热过度而使管子损坏。

(2) 反向最大(峰值) 工作电压 U_{RM} 半导体器件手册中给出的反向最大工作电压值通常比实际的反向击穿电压要小,例如2CZ型二极管,约为反向击穿电压的一半,这是为了防止二极管因反向击穿而损坏。

(3) 反向电流 I_R 反向电流大,说明二极管的单向导电性能差,且受温度的影响大。

此外,晶体二极管还有最高工作频率,极间(结)电容等参数。常用晶体二极管的型号和参数,可参看本书附录。

8-2 晶体二极管的应用

晶体二极管的应用,主要是利用它的单向导电性。下面以整流、检波与开关等电路为例来说明它应用的广泛。在讨论各电路的工作情况时,均假设晶体二极管为理想元件,即二极管正向电阻为零,反向电阻为无限大。

一、半波整流电路

半波整流电路如图8-5(a)所示。当输入电压 u_i 为正半周时,a点电位高于b点电位,二极管处于正向偏置而导通,电阻 R 中有电流通过,输出电压 $u_o = u_i$,二极管相当于短路。当 u_i 为负半周时,a点电位低于b点电位,二极管处于反向偏置而截止,电阻 R 中没有电流通过, $u_o = 0$,二极管相当于开路。

可见,电阻 R 上得到的输出电压 u_o 是单方向的,但大小是变化的,如图8-5(b)所示。因此一定含有直流分量,常用一个周期的平均值来说明它的大小。

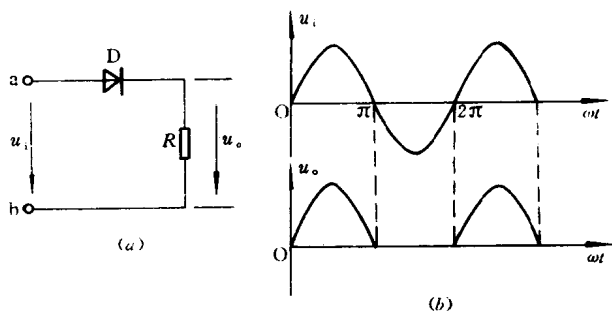


图 8-5 半波整流电路

整流电路广泛应用于电源中,如将 50Hz 交流输入变换为直流输出;也广泛应用于信号处理中,如需要将交流信号转变为直流信号时。

关于整流的原理和常用整流电路将在第十二章中进一步讨论。

二、检波电路

无线电技术已被广泛用于科技及生活方面。为了使低频信号能够远距离输送,就需要将低频信号“装载”在高频信号上由天

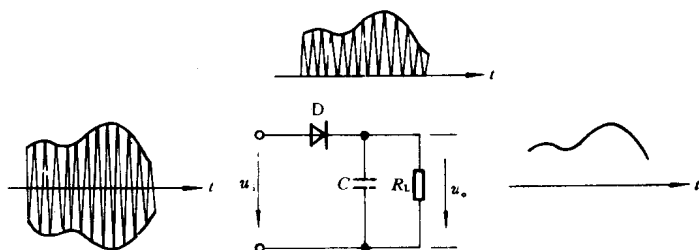


图 8-6 基本检波电路

线发射出去。该高频信号称为载波,“装载”过程称为调制。在接收端,接收机的天线接收到微弱的高频被调制信号,经放大后再设法还原出低频信号,这一还原过程称为解调或检波。

图8-6所示是基本检波电路, u_i 是被调制的高频信号,由于二极管的单向导电作用,把载波信号的负半波截去,再经电容 C 将高频成分旁路,在负载 R_L 两端得到的输出电压 u_o 就是原来的低频信号。

三、开关应用

二极管的单向导电性,可以把它当作一个开关。二极管阳极电位高于阴极电位时,二极管导通,呈现低电阻,相当于开关的闭合;而当阳极电位低于阴极电位时,二极管截止,呈现高电阻,相当于开关的断开。

二极管的开关特性,常用作对电路中电压的峰值进行限幅或钳位,也用来组成门电路。

1. 二极管限幅与钳位电路

限幅电路是将输入信号的某部分“削掉”,不让它传输到输出端的电路,又称削波电路。

钳位就是把信号波形的某一部分限定在某一电位值上,或把电路中某点电位限定在某一数值上。前者为波形钳位,后者为电位钳位。

图8-7所示为一对称削波电路,它把输入信号 u_i 的正、负半周的一部分削掉,使输出信号 u_o 近似为梯形波。其工作原理为:

当 $u_i < E_1$ 时, D_1 、 D_2 都处于反向偏置,不导通, $u_o = u_i$ 。当 $u_i > E_1$ 时, D_1 处于正向偏置而导通,使输出电压 u_o 保持(钳位)在等于 E_1 值。

当 $-E_2 < u_i < E_1$ 期间, D_1 、 D_2 又都处于反向偏置而截止, $u_o = u_i$ 。当 $u_i < -E_2$ 时, D_2 导通,输出电压 u_o 保持(钳位)在等于 E_2