

目 录

第八章 晶体二极管及整流电路

第一节 半导体的导电特性.....	(1)
一、本征半导体.....	(1)
二、 N 型半导体和 P 型半导体.....	(1)
三、 PN 结.....	(3)
第二节 晶体二极管.....	(4)
一、结构.....	(4)
二、伏安特性.....	(5)
三、主要参数.....	(5)
四、二极管的简化处理.....	(6)
第三节 单相整流和滤波.....	(6)
一、单相半波整流和电容滤波.....	(6)
二、单相全波整流.....	(8)
三、单相桥式整流.....	(9)
四、倍压整流.....	(10)
五、滤波器.....	(12)
*第四节 三相整流电路.....	(13)
一、三相半波整流电路.....	(13)
二、三相桥式整流电路.....	(14)
第五节 硅稳压管及其稳压电路.....	(15)
一、硅稳压管.....	(15)
二、硅稳压管稳压电路.....	(17)
思考题和习题.....	(18)

第九章 晶体管放大电路

第一节 晶体三极管.....	(21)
一、晶体三极管的结构.....	(21)
二、晶体管的放大作用.....	(22)
三、晶体管的特性曲线和三种工作状态.....	(24)
四、晶体管的微变等效电路.....	(26)
五、晶体管的参数.....	(28)
第二节 放大器概述.....	(32)
第三节 单管交流放大电路.....	(33)

一、放大电路的基本工作原理	(33)
二、放大电路中元件的作用	(35)
三、放大电路的图解法	(35)
四、放大器的等效电路分析法	(40)
五、放大器的输入电阻和输出电阻	(42)
第四节 放大器的静态工作点及其稳定	(43)
一、静态工作点对放大器的影响	(43)
二、温度对放大器工作点的影响	(45)
三、工作点稳定的典型电路——分压式电流反馈偏置电路	(45)
第五节 多级放大器	(50)
一、静态工作点的设置	(50)
二、放大倍数	(50)
*三、频率特性	(51)
第六节 放大器中的反馈	(56)
一、反馈的基本概念和一般关系式	(56)
二、负反馈对放大器性能的改善	(57)
三、负反馈对放大器输入电阻和输出电阻的影响——负反馈放大器举例	(59)
第七节 射极输出器	(63)
一、基本性能	(64)
二、复合管射随器	(66)
三、射随器的应用	(66)
第八节 功率放大器	(69)
一、变压器耦合单管功率放大器	(69)
二、变压器耦合推挽功率放大器	(72)
三、无变压器推挽功率放大器——互补对称射随器	(74)
第九节 差动直流放大器	(77)
一、问题的提出——单管直流放大器和零点漂移	(77)
二、差动放大电路	(79)
三、差动放大电路的几种接法	(82)
四、具有晶体管恒流源的差动放大电路	(84)
第十节 振荡器——放大器自激现象的应用	(85)
一、正弦振荡器的工作原理	(85)
二、LC正弦振荡器	(87)
*三、石英晶体正弦振荡器	(89)
四、RC桥式正弦振荡器	(90)
*第十一节 放大器中的寄生振荡及其消除	(92)
一、电源内阻产生的寄生振荡——低频寄生振荡	(92)
二、地线引起的寄生振荡	(93)
三、分布电容引起的寄生振荡	(93)

*第十二节 场效应管放大器	(94)
一、结型场效应管	(94)
二、绝缘栅场效应管	(97)
三、场效应管的微变等效电路	(100)
四、场效应管放大电路	(101)
思考题和习题	(103)

第十章 集成运算放大器

第一节 线性组件	(112)
一、线性组件的结构	(112)
二、线性组件的基本组成部分	(113)
三、BG305线性组件	(114)
四、线性组件的主要技术指标	(116)
五、线性组件的图示符号	(117)
第二节 集成运算放大器的基本性能	(117)
一、反相输入接法	(118)
二、同相输入接法	(120)
三、输入偏置电流对集成运放的影响	(121)
四、集成运放中的失调量	(122)
第三节 集成运放的运算功能	(124)
一、加法运算	(124)
二、减法运算	(126)
三、积分运算	(126)
四、微分运算	(127)
五、比例——积分运算	(127)
六、比例——微分运算	(127)
*第四节 集成运放的稳定性及其改善	(128)
一、简单放大电路的频率特性	(129)
二、具有多极点电路的频率特性	(131)
三、用波特图判别闭环放大器的稳定性	(132)
四、集成运放稳定性的改善	(133)
五、反馈网络为频率函数的集成运放的稳定问题	(137)
第五节 集成运放的应用	(140)
一、定增益放大器	(140)
二、交流放大器	(142)
三、RC桥式振荡器	(142)
四、锯齿波发生器	(143)
五、比较器	(143)
*六、电压——数字变换器	(144)

*第六节 集成放大器技术指标的测试方法	(145)
一、输入失调电压 U_{is}	(145)
二、输入失调电流 I_{is}	(146)
三、输入偏置电流 I_b	(147)
四、开环电压放大倍数 A	(147)
五、共模抑制比 $CMRR(db)$	(147)
思考题和习题	(148)

第十一章 脉冲数字电路

第一节 概述	(153)
一、脉冲电路及其特点	(153)
二、二进制数	(154)
第二节 晶体管开关电路	(155)
一、晶体管的开关特性	(155)
二、晶体管反相器	(156)
三、外负载对开关电路的影响	(157)
四、晶体管的开关时间和加速电容	(159)
五、具有箝位二极管的晶体管反相器	(161)
六、开关电路的传输特性及抗干扰能力	(162)
第三节 晶体管逻辑门电路	(164)
一、“与”门	(164)
二、“或”门	(166)
三、“非”门	(167)
四、复合门电路	(167)
第四节 集成逻辑门电路	(169)
一、二极管——晶体管逻辑门 (DTL)	(169)
二、高阈值逻辑门 (HTL)	(171)
三、晶体管——晶体管逻辑门 (TTL)	(171)
四、“与非”逻辑门的特性参数	(173)
*第五节 MOS 集成逻辑门电路	(175)
一、 $PMOS$ 反相器 (“非”门电路)	(176)
二、以 MOS 管为负载的反相器	(177)
三、 $PMOS$ “与非”门	(177)
四、 $CMOS$ 门电路	(178)
第六节 逻辑代数	(179)
一、逻辑函数和真值表	(179)
二、基本恒等式	(180)
三、逻辑函数与逻辑电路的关系	(181)
四、逻辑函数的公式化简法	(182)

*五、逻辑函数的图解化简法——卡诺图化简法	(183)
六、逻辑代数应用举例	(187)
第七节 双稳态触发器	(188)
一、 RS 触发器	(189)
二、集成单元 D 触发器	(193)
三、 $J-K$ 触发器	(197)
四、 T 触发器	(199)
第八节 脉冲波形的产生和变换	(200)
一、单稳态触发器	(201)
二、多谐振荡器	(203)
三、施密特触发器	(204)
第九节 十进制计数、寄存、译码和显示电路	(206)
一、二——十进制计数器	(206)
二、寄存器和移位寄存器	(210)
三、译码显示器	(212)
*第十节 模拟量与数字量的转换	(217)
一、权电阻 D/A 转换器	(218)
二、双积分（双斜率） A/D 转换器	(219)
思考题和习题	(222)

*第十二章 晶体管稳压电源和可控硅整流

第一节 晶体管稳压电路	(228)
一、基本电路和稳压原理	(228)
二、晶体管稳压电路的组成环节	(228)
第二节 晶体管稳压电源举例	(230)
一、采用辅助电源的晶体管稳压电源	(230)
二、用线性组件构成放大环节的稳压电源	(231)
三、集成化稳压电源	(231)
第三节 可控硅元件	(232)
一、可控硅的基本结构	(232)
二、可控硅的导电原理	(233)
三、可控硅的伏安特性	(234)
四、可控硅的主要参数	(235)
第四节 可控整流电路	(235)
一、单相半波可控整流	(235)
二、单相桥式可控整流	(237)
三、电感性负载与续流二极管	(238)
四、可控硅的保护装置	(238)
第五节 可控硅的触发电路	(239)

一、单结晶体管	(239)
二、单结晶体管自激振荡电路	(241)
三、同步削波电源	(242)
四、带有放大环节的单结晶体管触发电路	(243)
五、触发脉冲的输出	(243)
第六节 可控硅整流线路举例	(243)
思考题和习题	(244)
附录一 国产半导体器件型号组成部分的符号及其意义	(246)
附录二 几种半导体二极管的参数	(247)
附录三 几种稳压二极管的参数	(248)
附录四 几种晶体管的参数	(249)
附录五 几种场效应管的参数	(251)
附录六 几种线性固体组件的特性参数	(252)
附录七 几种集成“与非”门的特性参数	(253)
附录八 几种可控硅元件的参数	(254)
附录九 几种单结晶体管的参数	(255)

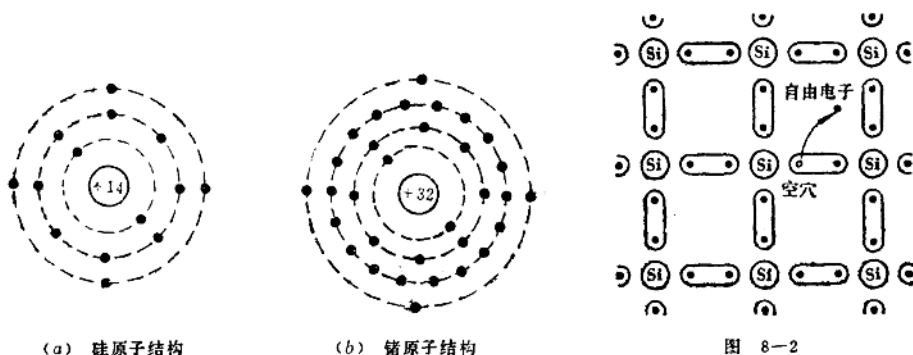
第八章 晶体二极管及整流电路

第一节 半导体的导电特性

一、本征半导体

半导体是一种导电性能介于导体和绝缘体之间的物质。目前常用的半导体是硅(Si)和锗(Ge)，它们皆属于四价元素，其原子结构最外层有四个价电子，如图8-1所示。

当纯半导体硅、锗等材料被制成单晶体时，其原子排列就变得非常整齐，如图8-2所



示，这种半导体称为本征半导体。它的每一个原子与相邻四个原子结合，每一原子的一个价电子与另一原子的一个价电子组成一个电子对。这对电子为相邻两个原子所共有，都同时受相邻两个原子束缚，称为共有电子或束缚电子。这种组合称为共价键结构，它决定了共有电子所受的束缚力不那末紧，在一定的温度下，由于热能转化为电子的动能，有些共有电子便会挣脱束缚而成为自由电子。自由电子是能够参与导电的，是一种带负电的载流子。

当共有电子挣出共价键后，共价键中同时也出现了一个空位，如图8-2中所示，于是附近的共有电子很容易来进行填补，从而形成共有电子的运动。这种运动无论是效果上还是现象上都相当于一个带正电的空位向相反方向运动，称为“空穴运动”，空位子则称为“空穴”。

由此可见，空穴也能够自由运动而参与导电，也是一种载流子。这样，半导体中就有两种载流子：带负电的自由电子和带正电的空穴。在本征半导体中，受激发产生一个自由电子，必然相伴产生一个空穴，电子和空穴是成对产生的，这种现象称为本征激发。因此，在一定温度下，本征半导体中便有一定数量的电子和空穴，当半导体加上外电压时，这些电子和空穴将按相反方向运动而构成的电流方向则一致，故半导体中总电流为电子电流与空穴电流之和。

二、N型半导体和P型半导体

纯半导体（本征半导体）中，在一定温度下有一定数量的自由电子和空穴，但为数甚少因而导电性能差。如果在纯半导体中掺入少量杂质（即其它化学元素）时，可以使半导体导电性能极大改善，这种半导体称为杂质半导体。

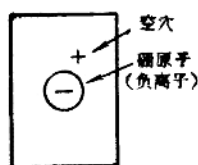
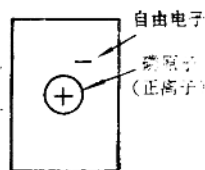
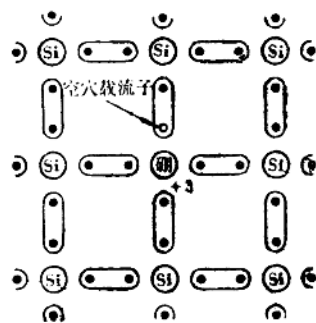
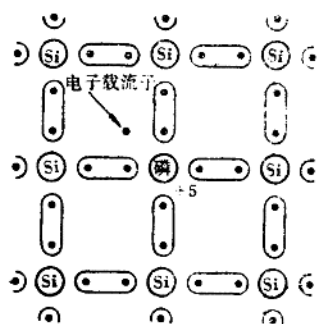
图 8—3(a) 为硅单晶中掺入五价元素磷的情况。由于掺入的磷原子比硅原子少得多，故晶体结构基本不变，只是某些位置上的硅原子被磷原子代替了。磷原子有五个价电子，一个磷原子与相邻四个硅原子组成共价键时，自然地多出一个自由电子，这样就使得硅半导体中的电子载流子大大增加，这种半导体称为电子型半导体或 *N* 型半导体。在 *N* 型半导体中，除有许多由于磷元素掺入而形成的电子以外，在一定温度下，由于本征激发还产生少量的自由电子和空穴，其中空穴构成空穴导电，自由电子则加入杂质形成的大量电子行列而构成电子导电。所以，*N* 型半导体中同时存在着自由电子和空穴，但自由电子数量远比空穴为多，因此称自由电子是 *N* 型半导体中的多数载流子，空穴是 *N* 型半导体中的少数载流子。

图 8—3(b) 为 *N* 型半导体结构的简化示意图，图中符号 “-” 表示带负电的自由电子，可在半导体中自由运动。“+” 代表磷原子，它向半导体供出了负电子，成为带正电的离子，它是嵌在晶格中，不能自由运动。

如果在硅单晶中掺入少量三价元素硼，如图 8—4(a) 所示，每个硼原子与相邻四个硅原子组成共价键时，有一个共价键上缺少一个电子，便自然地形成一个空穴，因此这种半导体中空穴很多，称为空穴型半导体或 *P* 型半导体。与 *N* 型半导体相反，*P* 型半导体的多数载流子是空穴，少数载流子是自由电子。图 8—4(b) 为 *P* 型半导体结构的简化示意图，图中 “+” 代表带正电的空穴，可在半导体中自由运动。“-” 代表硼原子，它向半导体供出带正电的空穴

(a) 硅中掺磷形成电子 (*N* 型)

(a) 硅中掺硼形成空穴 (*P* 型)



(b) *N* 型半导体简化示意图

(b) *P* 型半导体简化示意图

图 8—3

图 8—4

(实际上是附近的共有电子填补了它的空位)，成为带负电的离子，不能自由运动。

三、PN结

1. PN结的形成

将P型半导体和N型半导体互相结合，可以制成二极管、三极管、固体组件、可控硅等多种半导体器件。(这里说的“结合”不是机械结合，而是采用扩散、烧结或外延等半导体工艺掺杂，使一块P型半导体或N型半导体的一部分形成另一种类型。)我们利用图8—5来说明PN结的形成过程：

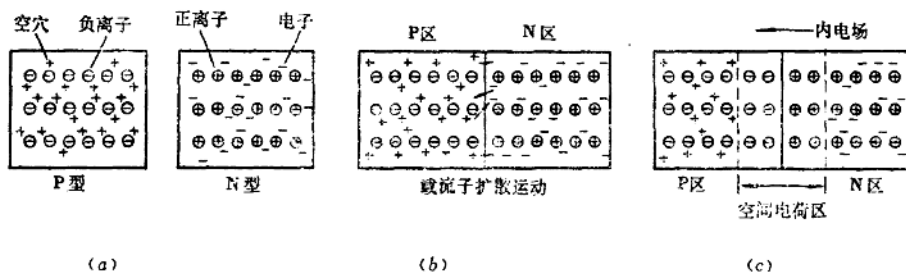


图 8—5

图8—5(a)是P型和N型半导体未接触时的情况。在P型半导体中对应每一个空穴有一个负离子(硼原子)，在N型半导体中对应每一个自由电子有一个正离子(磷原子)，因此每个半导体中的正、负电荷量相等，对外呈现中性。

当P型和N型半导体相接触如图8—5(b)所示时，由于P区的空穴浓度大于N区，故P区空穴将向N区扩散；N区电子浓度大于P区，故N区电子将向P区扩散。结果在交界面附近P区一侧只留下负离子，N区一侧只留下正离子，从而形成了一个载流子极少的区域，如图8—5(c)所示，称为空间电荷区(也叫耗尽层或阻挡层)，这就是PN结。其P区一侧带负电，N区一侧带正电，从而产生一个内电场，方向为由N指向P，它将阻止两边的多数载流子(P区空穴和N区电子)继续扩散，却利于少数载流子(P区电子和N区空穴，图中未画出)向对方区域运动。为了区别，把因浓度差而形成的载流子运动称为扩散运动，把在内电场作用下载流子运动称为漂移运动。开始时，多数载流子的扩散运动占优势。随着扩散的进行，空间电荷区(PN结)逐渐加宽，内电场愈来愈大，使扩散运动减弱而漂移运动加强。当二者达到动态平衡后，空间电荷区便不再加宽，PN结处于相对稳定的状态。

2. PN结的单向导电性

如果给PN结外加电压，当电压的极性不同时，将出现两种完全不同的情况：

(1) 外加正向电压(也叫正向偏置)，即外加电压的正极接P端，负极接N端，如图8—6(a)所示。外电压产生的电场使P区空穴向右运动进入空间电荷区与一部分负离子中和，同时使N区电子向左运动进入空间电荷区与一部分正离子中和，于是空间电荷区变窄，内电场受到削弱，扩散运动超过漂移运动，多数载流子能顺利地越过PN结电场区，形成较大的正向扩散电流，PN结处于导通状态，电阻很小。

(2) 外加反向电压(又叫反向偏置)，即外电压负极接P端，正极接N端，如图8—6(b)所示。外电场使P区空穴左移和N区电子右移，空间电荷区变宽，内电场被加强，使扩散

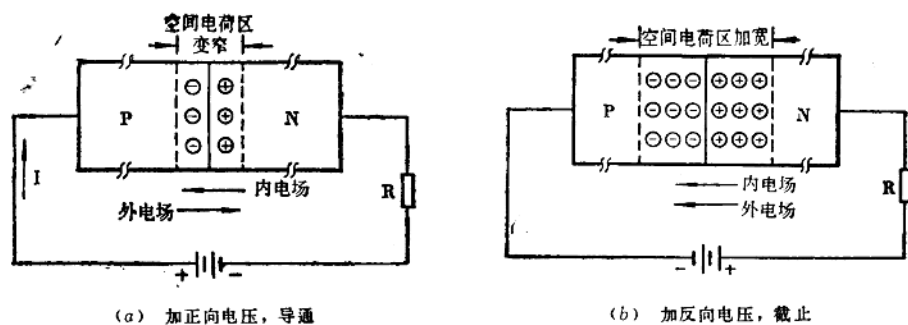


图 8-6

难于进行却利于漂移运动。因此, P 区的少数载流子电子和 N 区的少数载流子空穴可顺利地通过 PN 结, 形成反向漂移电流, 其数值一般很小, 且随温度而异。当温度一定时, 单位时间产生的少数载流子数量基本一定, 只要反向电压的数值达到使所有少数载流子都通过 PN 结而形成电流之后, 反向电压再高也不能使反向电流增加, 故反向电流也称反向饱和电流。由于反向电流的数值一般很小 (硅管为毫微安级, 锗管为微安级), 因此在讨论 PN 结的正常工作时常忽略不计, 认为反向电压时 PN 结不通过电流, 处于截止状态。

由此可知, PN 结加正向电压时导通, 加反向电压时截止。或者说, PN 结中电流只能由 P 流向 N 而不能相反 (不计反向电流), 这种特性称为单向导电性。

第二节 晶体二极管

一、结构

晶体二极管就是一个 PN 结加上接触电极、引出线和管壳而构成。图 8-7(a) 为二极管的外形图, (b) 为二极管表示符号, A 为 P 区的引出线端, 称为阳极或正极, K 为 N 区的引出线端, 称为阴极或负极。

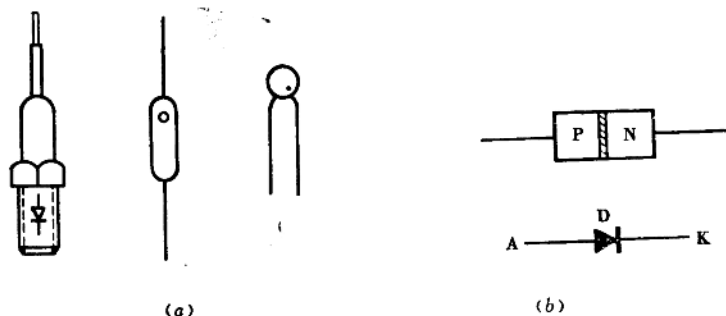


图 8-7

按内部结构不同, 晶体二极管可分为面接触型和点接触型两种, 分别如图 8-8(a)、(b) 所示, 接触部分即为 PN 结。面接触型接触面大, 允许通过较大电流 (几百毫安至几百安),

适用于整流，但结电容大，只能工作于低频；点接触型的接触面小，允许通过电流小（几十毫安），但结电容小，工作频率高，常用于高频讯号的检波和脉冲电路中。

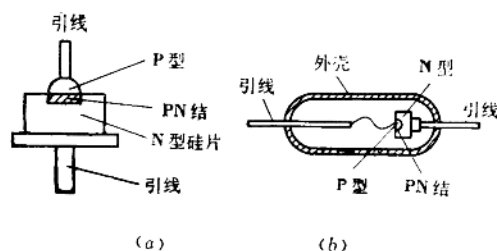


图 8-8

二、伏安特性

晶体二极管的伏安特性是指加到管子两端的电压 U 和流过管子中电流 I 的关系曲线，如图8-9(a)所示，(b)、(c)为其测试电路。由于正、反向接法时管子特性有很大不同，为了清楚，曲线图中正、负方向取不同的坐标比例尺。

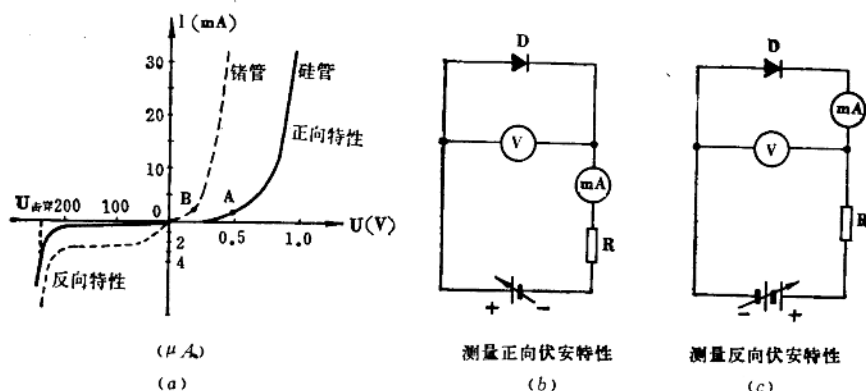


图 8-9

二极管两端不加电压时，通过的电流为零，故曲线从坐标原点开始。

当外加正向电压时，管中产生电流。但正向电压值较小时不足以克服内电场对载流子扩散的阻碍作用，正向电流非常之小，这一段称为死区。硅管的死区电压约为0~0.5伏（曲线图中 $O A$ ）之间，锗管约为0~0.2伏（图中 $O B$ ）之间。当正向电压超过死区电压值后，电流随电压上升便增加得很快。

当外加反向电压时，管中流过由少数载流子形成的反向电流，这一电流随反向电压增加而很快达到饱和后便基本不变。但当反向电压增大至一定值时，外电场把半导体内束缚电子强行拉出来，造成反向电流突然增大，这种现象称为反向击穿，击穿时的电压称为反向击穿电压。二极管正常运用时不允许出现这种现象，否则将导致管子损坏。

硅二极管和锗二极管的伏安特性基本类似，二者主要区别是：硅管正向压降较大（0.7伏左右），反向饱和电流很小（1微安以下），受温度影响小；锗管正向压降较小（0.3伏左右），其热激发比硅管容易得多，少数载流子较多，反向电流比硅管大得多（达几百微安，高温时还要大很多），所以受温度影响很显著。

三、主要参数

1. 最大整流电流：指二极管长期运用时允许通过的最大正向电流平均值。使用时若超

过比值，管子将损坏。

2. 最高反向工作电压：指二极管工作时允许施加的最大反向电压。工程上取反向击穿电压（图8—9a中 $U_{\text{击穿}}$ ）值的一半为最高反向工作电压。选用二极管时要注意这个数值，防止二极管因反向电压过高而被击穿损坏。

3. 反向电流：指最高反向工作电压时管子的电流。反向电流大，表示管子单向导电性差。

此外还有最大整流电流时的正向压降、工作频率等参数，选用管子时也要考虑。

书后附录二列出几种国产品体二极管的参数，管子型号的文字符号含义可参看附录一。

四、二极管的简化处理

由以上讨论可知，二极管为正向偏置时管压降小（但大于死区电压）而电流大，管子呈现低电阻值；当反向偏置时管子上电压高但电流小（未击穿时），管子呈现高电阻值。在有些情况下（例如整流中），为了简单，可以近似地认为正向电阻为零（短路），反向电阻为无穷大（开路），则二极管就成为一个受电压极性控制的开关，正向时开关接通，反向时开关断开。这样处理常使分析得到简化。

第三节 单相整流和滤波

各种电子电路经常都需要一定的直流电源，但电网供给的却是50赫交流电。利用晶体二极管构成的整流电路可以将交流电变成脉动直流，再通过电容或电感组成的滤波电路加以滤波，便得到纹波较小的平滑的直流电。这一节先介绍单相整流和滤波电路。

一、单相半波整流和电容滤波

1. 单相半波整流电路及其工作原理

单相半波整流电路如图8—10(a)所示。交流电源电压 u_1 （一般为220伏、50赫正弦交流电）接到电源变压器 B 的原绕组，付绕组感应出交流电设为 $u_2 = U_{2m} \sin \omega t$ ，波形如图(b)中所示。当 u_2 正半周时， a 端为正， b 端为负，二极管 D 受正向电压而导通，有电流流过负载电阻 R_L ； u_2 负半周时 a 端负 b 端正，二极管上为反向电压而截止，负载电流为零。所以，由于二极管的单向导电性，负载 R_L 可得到单方向的带纹波的直流电压、电流，如图8—10(b)中的 u_L 和 i_L 波形，只有交流电的半周期波，故称为半波整流。负载上的直流电就是 u_L 、 i_L 的平均

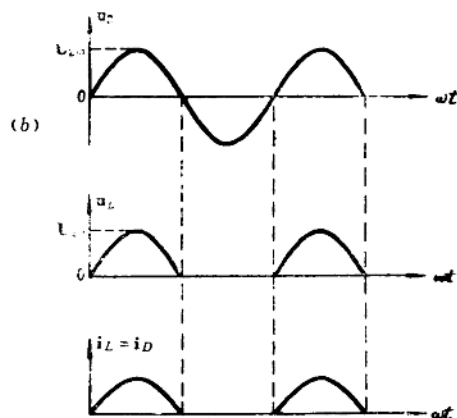
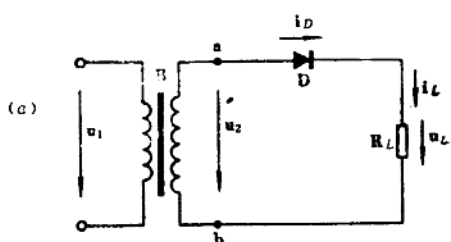


图 8—10

值, 设为 U_L 、 I_L ,

$$U_L = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_L \cdot d\omega t \quad (8-1)$$

$$I_L = \frac{U_L}{R_L} \quad (8-2)$$

当整流电路的内阻 R_i (包括变压器 B 的阻抗、二极管 D 的正向电阻等) 很小可以忽略时, 正半周 ($0 \sim \pi$) 时 $u_L = u_2$, 而负半周 ($\pi \sim 2\pi$) 时 $u_L = 0$, 故

$$\begin{aligned} U_L &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_L \cdot d\omega t = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} U_{2m} \sin \omega t \cdot d\omega t \\ &= \frac{U_{2m}}{\pi} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0.45 U_2 \end{aligned} \quad (8-3)$$

$$I_L = \frac{U_L}{R_L} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \frac{U_2}{R_L} \approx 0.45 \frac{U_2}{R_L} \quad (8-4)$$

式中 U_{2m} 和 U_2 分别为电源变压器付绕组电压的振幅和有效值。

实际上, 由于内阻 R_i 的存在, 输出至负载上的直流电比式 (8-3) 和 (8-4) 求出的值要小些。

2. 电容滤波的工作原理

交流电经过整流后, 负载上得到方向不变的直流电, 但不平滑, 有较大的纹波。为了减小纹波, 常用的简单办法是在整流电路的输出端 (负载 R_L 两端) 并联一滤波电容 C , 如图8-11(a)。在正半周二极管导电期间, 电源向负载提供电流, 同时还向电容 C 充电, 充电时间常数为

$$\tau = \frac{R_i R_L}{R_i + R_L} \cdot C$$

由于一般 $R_i \ll R_L$, 故 $\tau \approx R_i C$, 即充电时间常数很小, 充电很快, C 上电压 $u_c (=u_L)$ 可充到接近等于 u_2 的峰值 U_{2m} 。当 u_2 达到峰值后开始下降, 这时 $u_c > u_2$, 二极管两端承受反向电压而截止, 电容 C 向负载电阻 R_L 放电, 放电时间常数 $\tau' = R_L C \gg \tau$, 电容放电很缓慢, 负载上电压 $u_L (=u_c)$ 下降得不多, 在此期间二极管处于截止。一直到 u_2 第二个正半周的 P 点之后, $u_2 > u_c$, 二极管又承受正向电压导通, 电源又向 C 充电,

u_L 又重新升高到接近 U_{2m} , 以后 u_2 下降时二极管再次截止, C 再次向负载放电, 如此重复不

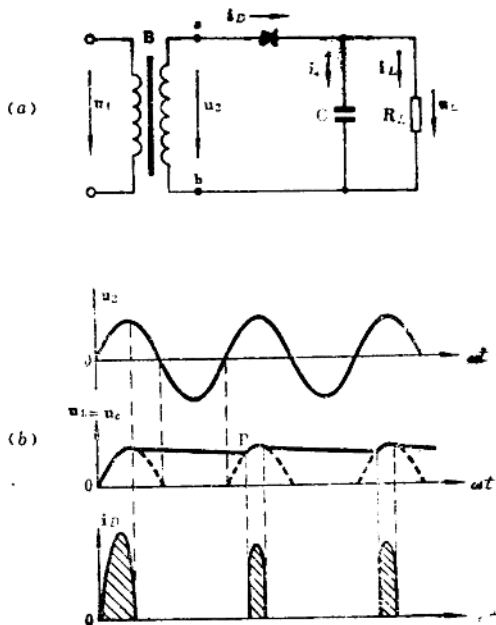


图 8-11

已。图8—11(b)画出了电路的工作波形，可以看出，加入滤波电容后，负载上直流电压 u_L 的纹波减小了，变得比较平滑，而且直流电压的大小（平均值）也提高了，接近于交流电压的峰值，即

$$U_L \approx U_{2m} = \sqrt{2} U_2 \quad (8-5)$$

时间常数 $R_L C$ 愈大， C 放电愈慢，波形愈平滑，直流平均值 U_L 愈接近于 $\sqrt{2} U_2$ 。

当加有滤波电容时，二极管只在很短时间内导电，管子的电流 i_D 为图8—11(b)中所示的周期性脉冲波形，其平均值等于直流电流 I_L 。考虑到管子电流的脉冲性，选二极管时，其最大整流电流定额应取得比负载电流 I_L （ $= \frac{U_L}{R_L}$ ）要大些。另一方面，有电容滤波时，在二极管截止期间，当 u_2 变到负半周最大时，此电压与电容上电压串联施加于管子两端，使管子上受到最大反向电压，为

$$U_{FM} \approx 2U_{2m} = 2\sqrt{2} U_2 \quad (8-6)$$

因此，二极管的最大反向电压定额应选得大于 $2\sqrt{2} U_2$ ，否则二极管可能被击穿。

二、单相全波整流

单相半波整流电路的元件少，电路简单，但只利用了交流电的半个周期，另半周波被削掉了，因此整流效率较低。全波整流则可将交流电的一个周期都利用起来，其电路见图8—12(a)，可看成由两个半波整流电路组成，电源变压器 B 的付绕组具有中心抽头0，负载电阻接于两个二极管 D_1 、 D_2 阴极公共端和0端之间。

先讨论不加滤波电容 C 的情况：当交流电正半周时， a 端为正， b 端为负，使 D_1 导通 D_2 截止，上半付绕组电压 u_{21} 通过 D_1 向负载供电，电流经 D_1 流过 R_L 回到中心插头0；负半周时 a 端负 b 端正， D_1 截止 D_2 导通，下半付绕组电压 u_{22} 通过 D_2 向负载供电，电流经 D_2 流过 R_L 回到0点。在一个周期中流过负载的电流方向相同，故 R_L 上获得直流电，如图(b)中 u_L 的波形。和半波整流相比， R_L 上直流电压大了一倍，为

$$U_L = \frac{2}{\pi} U_{2m} = \frac{2}{\pi} \sqrt{2} U_2 \approx 0.9 U_2 \quad (8-7)$$

式中 U_{2m} 为 u_{21} （或 u_{22} ）的峰值， U_2 为其有效值。

当加上滤波电容 C 时，由于电容的充放电作用可得较平滑的直流电 u_L ，如图(c)中所示。由于全波整流中 D_1 、 D_2 轮流导通， u_{21} 和 u_{22} 轮流给 C 充电，即每隔半个交流电周期 C 被充电一次，所以负载电压 u_L 的纹波比半波整流电容滤波时更小。负载上直流电压接近等于交流电压峰值，即

$$U_L \approx U_{2m} = \sqrt{2} U_2 \quad (8-8)$$

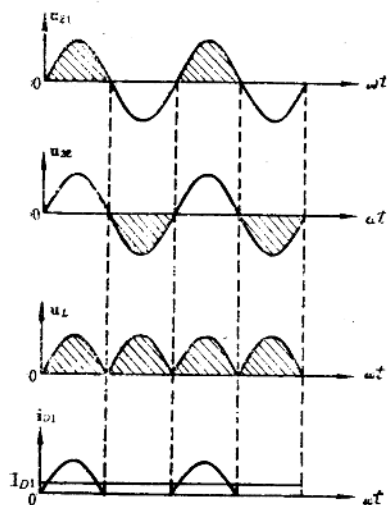
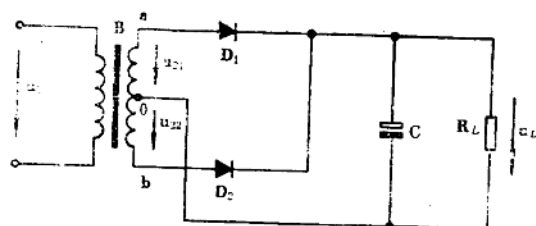
单相全波整流二极管（每个）承受的最大反向电压为

$$U_{FM} \approx 2U_{2m} = 2\sqrt{2} U_2 \quad (8-9)$$

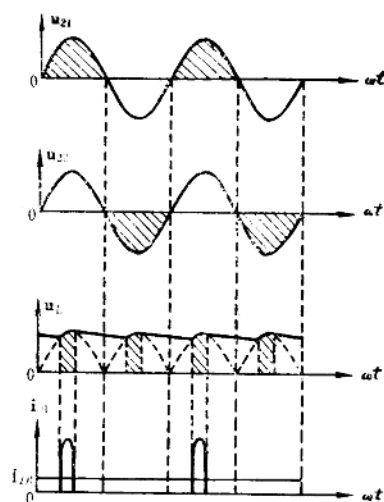
每个管子流过的电流为负载电流的一半，即

$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{1}{2} I_L = \frac{1}{2} \frac{U_L}{R_L} \quad (8-10)$$

(a)



(b)



(c)

图 8-12

三、单相桥式整流

单相桥式整流电路如图 8-13 所示，用四个整流二极管组成，电源变压器付绕组接于两对角点 a 、 b ，负载 R_L 接于另两对角点。

当不加滤波电容 C 时，在交流电的正半周， a 正 b 负， D_1 、 D_3 承受正向电压导通， D_2 、 D_4 承受反向电压截止，电流由变压器付绕组 a 端通过 D_1 流经 R_L ，再通过 D_3 回到付绕组的 b 端；负半周时， D_2 、 D_4 导电而 D_1 、 D_3 截止，电流由 b 端经 D_2 流过 R_L ，再经 D_4 回到 a 端。在

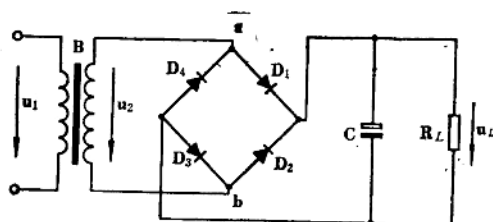


图 8-13

一个周期内负载 R_L 中都有电流通过，而且方向相同，所以整流电压、电流波形和全波整流一样。不同的是每个管子承受的最大反向电压为

$$U_{FM} = U_{2m} = \sqrt{2} U_2 \quad (8-11)$$

比全波整流时小了一半。而且变压器付绕组无需中心插头，交流电正、负半周时付绕组都通过电流。这些都是桥式整流的优点。

流过每个管子的电流与全波整流时相同，为负载电流的一半。

当负载并联滤波电容 C 时，可使纹波减小，负载上直流电压比较平滑，负载电压值 $U_L \approx U_{2m} = \sqrt{2} U_2$ ，这些也都和全波整流时相同。

在以上讨论的有电容滤波的各种整流电路中，为了获得较好的滤波效果，时间常数 $R_L C$ 应取得较大，一般取电容 C 充电周期的 3~5 倍。对于全波和桥式整流电路， C 的充电周期为交流电周期 T (0.02秒) 的一半，即 $R_L C = (3 \sim 5) \frac{T}{2}$ ，由此可得计算电容的公式为

$$C = (3 \sim 5) \frac{T}{2 R_L} = \frac{0.03 \sim 0.05}{R_L} \quad (8-12)$$

四、倍压整流

在电源变压器付绕组交流电压不高，而又需要较高的直流电压时，可采用倍压整流电路，它可以供给高电压、小电流的直流电压。

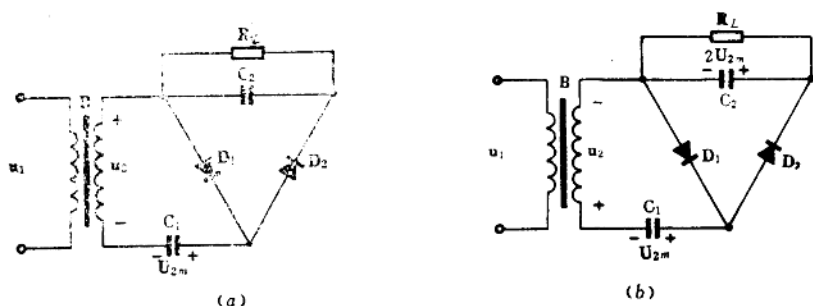


图 8-14

图8-14是二倍压整流电路。当 u_2 的第一个正半周时 (图8-14a)，二极管 D_1 导通， D_2 截止，电源通过 D_1 对电容 C_1 充电到接近 u_2 的峰值 U_{2m} ，极性如图中所示。当 u_2 的负半周时 (图8-14b)，二极管 D_1 截止， D_2 导通，付绕组电压 u_2 与 C_1 上电压 U_{2m} 串联相加，通过 D_2 对电容 C_2 充电，充到 C_2 两端电压接近于 $2U_{2m}$ 。 u_2 下一个周期又重复上述过程。由于负载电阻 R_L 比较大，因此经过多次充电， C_2 两端遂获得二倍于 U_{2m} 的直流电压。

同样，用三个二极管和电容可做成三倍压整流电路如图 8-15 所示。在第一个正半周

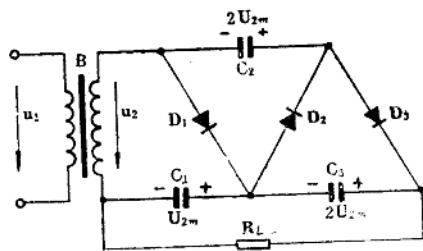


图 8-15

时, D_1 导通, C_1 被充到接近 U_{2m} , 极性如图中所示。第一个负半周时, D_1 截止, D_2 导通, u_2 和 C_1 上电压串联向 C_2 充电到接近 $2U_{2m}$ 。当第二个正半周时, D_1 导通, 这时由于 C_2 上已充到 $2U_{2m}$, 故 D_3 也导通, 使 C_3 充电到接近于 $2U_{2m}$, 则负载 R_L 两端可得三倍于 U_{2m} 的直流电压。

依此类推, 用 n 个二极管和电容器可组成 n 倍压整流电路。

倍压整流电路中, 每个二极管承受的反向电压为 $2U_{2m}$, 在选管时应使管子最大反向电压定额大于此值。

表8—1列出以上几种整流电路的特性。

表 8—1

电 路 形 式	输入交流 电压 (有效值)	负载开路时 输出电压 U_L	带负载时的 输出电压 U_L (估计值)	每管上最大 反向电压 U_{FM}	每管通过 直流电流 I_D
半波整流 电容滤波	U_2	$\sqrt{2} U_2$	U_2	$2\sqrt{2} U_2$	I_L
全波整流 电容滤波	$U_2 + U_2$	$\sqrt{2} U_2$	$1.2 U_2$	$2\sqrt{2} U_2$	$0.5 I_L$
桥式整流 电容滤波	U_2	$\sqrt{2} U_2$	$1.2 U_2$	$\sqrt{2} U_2$	$0.5 I_L$
二倍压整流	U_2	$2\sqrt{2} U_2$	$\approx 2\sqrt{2} U_2$	$2\sqrt{2} U_2$	I_L

例8—1: 在电容滤波的桥式整流电路中, 交流电源为 $220V$ 、 $50Hz$, 输出直流电压 $U_L = 45V$, 负载电流 $I_L = 100mA$, 选择二极管和滤波电容, 并决定变压器的变比。

解: (1) 选二极管

由表8—1可知, 流过每个二极管的直流电流为

$$I_D = \frac{1}{2} I_L = \frac{1}{2} \times 100mA = 50mA$$

带负载时直流输出电压为 $U_L = 1.2 U_2$, 由此得变压器付绕组电压为

$$U_2 = \frac{U_L}{1.2} = \frac{45}{1.2} = 38V$$

每管承受最大反压为

$$U_{FM} = \sqrt{2} U_2 = \sqrt{2} \times 38 = 53V$$

根据 I_D 和 U_{FM} 可选整流二极管 2CP12 (最大整流电流为 $100mA$, 最大反向工作电压为 $100V$)。

(2) 选电容器

根据式 (8—12), 取