



职工中等专业学校教材

电子技术

黄赛君 主编

北京科学技术出版社

内 容 提 要

本书是根据职工中等专业学校1984年西安协作会议制定的教学大纲编写的,为热能动力装置专业电子技术课教材。

全书共分八章,第一章为晶体二极管及整流电路,第二章为晶体管放大电路,第三章为直接耦合放大器和运算放大器,第四章为正弦波振荡器,第五章为数字电路的基本知识,第六章为触发器,第七章为集成逻辑部件,第八章为脉冲波形的产生和变换。

全书叙述通俗流畅,每章后有学习指导,其中明确了教学要求,对全章内容进行了小结并有例题及分析。本书也适合作职工中专非电专业电子技术课的参考书,并适合具有初中以上文化程度的青年工人阅读。

职工中等专业学校教材

电 子 技 术

黄 赛 君 主 编

北京科学技术出版社出版

(北京西直门外南路19号)

北京科学技术出版社发行

北京市房山区十渡印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 15.25印张 373千字

1989年6月第一版 1989年6月北京第一次印刷

印数0001—5100册

ISBN 7-5304-0570-5/Z·277 定价:4.05元

前 言

为了提高水利电力系统职工的技术水平,使水利电力职工中等专业学校的教学工作走向正规化、系统化,我司统一组织编写了这套水利电力职工中专教材。这套教材是根据我司1985年制定的《水利电力系统成人中专教学计划及教学大纲》,由水电系统内各职工中专学校和普通中专学校中有经验的教师分工编写的。在编写过程中,力求在保证理论的系统性、完整性的同时,密切联系生产实际、深入浅出,突出职工教育的特点。

水利电力职工中专教材分基础课及专业课两大部分,包括发电厂及电力系统、输配电工程、用电管理、电厂热能动力装置、电厂热工测量及自动化、水工建筑、水电工程施工、水电站动力设备、陆地水文、工业与民用建筑及经济管理等11个专业,共约120种教材。

《电子技术》系电力职工中等专业学校热动专业电子技术基础课的教材。全书共八章。本书由西安电力学校黄赛君同志主编,西安电力学校王瑞莘同志编写了第一章和第二章;全书由长春电力学校颜世仓同志审稿。

由于编写时间仓促,教材中错误难免,恳请读者批评指正。

水利电力部教育司

1988年4月1日

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 晶体二极管整流与滤波电路	2
第一节 半导体的基本知识	2
第二节 PN结及其单向导电性	4
第三节 晶体二极管	6
第四节 单相整流及滤波电路	9
第五节 硅稳压管稳压电路	16
学习指导	19
习题一	21
第二章 晶体管放大电路	24
第一节 晶体三极管	24
第二节 基本放大电路的工作原理	31
第三节 放大电路的图解分析法	35
第四节 放大电路的微变等效电路法	40
第五节 工作点的稳定与偏置电路	42
第六节 多级放大器	46
第七节 负反馈放大器	50
第八节 功率放大器	61
第九节 场效应管及其放大电路	66
第十节 读图练习	73
学习指导	76
习题二	81
第三章 直接耦合放大器和运算放大器	86
第一节 直接耦合放大器的两个主要问题	86
第二节 差动放大电路	89
第三节 集成运算放大器简单介绍	96
第四节 运算放大器的基本分析方法	98
第五节 几种常用的运算电路	100
第六节 集成运算放大器做比较器	107
学习指导	110
习题三	115
第四章 正弦波振荡器	120
第一节 自激振荡的条件及正弦波振荡器的组成	120
第二节 LC振荡器	121
第三节 RC正弦波振荡器	123

学习指导	127
习题四	130
第五章 数字电路的基本知识	132
第一节 数字电路的特点	132
第二节 常用的计数体制和编码	133
第三节 二极管、晶体管的开关特性	137
第四节 逻辑门电路	138
第五节 TTL与非门	143
第六节 MOS门电路	148
第七节 逻辑代数的基本概念	151
第八节 逻辑代数的基本定律、基本法则和基本定理	152
第九节 逻辑函数的化简	156
第十节 组合逻辑电路	164
学习指导	166
习题五	170
第六章 触发器	174
第一节 概述	174
第二节 R-S触发器	174
第三节 D触发器	179
第四节 J-K触发器	181
学习指导	184
习题六	187
第七章 集成逻辑部件	189
第一节 编码器	189
第二节 译码器	191
第三节 加法器	199
第四节 寄存器和多位寄存器	201
第五节 计数器	203
第六节 数字电路应用举例	210
学习指导	211
习题七	213
第八章 脉冲波形的产生和变换	214
第一节 RC电路	214
第二节 单稳态触发器	218
第三节 多谐振荡器	223
第四节 斯密特触发器	224
第五节 555定时器简介	227
学习指导	229
习题八	231
附录	232
附表1 国产半导体器件型号命名法	232
附表2 几种常用半导体器件的参数表	233

绪 论

电子技术研究的对象是电子器件和由电子器件构成各种基本功能电路以及由基本功能电路组成的各种装置或系统,具体应用于自动控制、无线电通信及计算技术等方面。

电子器件包括晶体二极管、晶体管、场效应管及各种集成组件(如运算放大组件、TTL与非门及各种MOS门电路)等等,它们具有体积小,重量轻,能量消耗少,工作速度快,灵敏度高等优点。

电子技术是把电子器件应用到各个领域中的应用技术。电子技术发展很快,目前已普遍地渗透到国民经济的各个部门。

电子技术基础课的任务是在介绍常用半导体器件的基础上,着重研究电子电路的基本概念、基本原理与基本分析方法。对于学员来说,本课提供必要的电子技术知识,通过本课程的学习,培养读图能力及分析解决问题的能力。

电子技术课强调理论与实际的结合。另外,电子技术课的内容比较庞杂,新概念多,电路形式多,初学者往往感到入门难,不易掌握。针对这些情况,提供几点建议,供学习时参考。

(1) 应注意抓基本概念。这是学好本课的前提。并要学会用这些基本概念去分析各种问题。

(2) 电子电路中既有“管”,又有“路”。要贯彻“管为路用”的原则。从本专业的要求出发,我们主要是使用这些管子,所以研究管子时主要抓它们的外特性,对内部结构及载流子的运动不必深究。而同一类型的管子在不同的电路中功能也不尽相同,学习时应主要抓住各种基本电路的工作原理及用途。

(3) 电子电路的器件如二极管、晶体管等,都是非线性元件,所以在研究电子电路时经常采用等效的方法,图解的方法,对这些分析方法应掌握。对电子电路的研究经常采用定性分析,定量估算,再进行实验调整,最终以调整结果为准。定量估算可以进一步加深对内容的理解和巩固,但不必片面追求估算值的精确程度。

(4) 电子电路的工作原理常比较复杂,有时与多种因素有关,这时往往要略去次要因素,抓住主要矛盾。

(5) 电子电路中有时交直流共存于同一电路中,在分析电路时要分清它的直流通路及交流通路,搞清直流量和交流量之间的相互联系。

(6) 在学习要经常注意总结对比,找出各章节间的相互联系和区别。在遇到难点时,首先要了解问题是怎样提出的,有些什么矛盾,它是怎样一步步解决的。要有一个层次清晰的分析问题的思路,否则就会感到内容繁多,头绪纷纭。

(7) 课后要及时复习,认真读书、对所学内容理解后,再去完成作业。并注重练习电路图的画法,熟练掌握直流通路及交流通路的画法。要重视实验课,熟悉电子仪器的使用方法,通过实验使所学的知识得到验证和巩固,培养分析问题和解决问题的能力。

在学习要有信心和决心并注意改进学习方法,这样是会取得好的学习效果的。

第一章 晶体二极管整流与滤波电路

第一节 半导体的基本知识

自然界中所有的物质，按照它们的导电能力，可分为导体、绝缘体和半导体三类。

在金属导体中由于原子外层的电子受原子核的束缚力很小，因此有大量的电子能够脱离原子核的束缚而成为自由电子。它们在外电场的作用下，作定向运动形成电流。这种运载电荷形成电流的粒子称为载流子。

在绝缘体中，由于原子外层的电子受原子核的束缚力很大，这些外层电子很难成为自由电子，因此绝缘体的导电能力很差。

半导体的原子结构比较特殊，它的导电能力介于导体和绝缘体之间。半导体之所以在现代科学技术中得到广泛的应用，在于它的导电能力随外界条件而变化，利用这一特点，我们可以人为地改变半导体的导电特性。

半导体特点如下：

第一、半导体的电阻率受所含杂质的影响极大，纯净的半导体中只要掺入微量的杂质，其电阻率就会惊人地减小。例如，半导体硅材料中只要掺入百万分之一的磷，其电阻率几乎下降到纯净硅的百万分之一（注意，此时硅的纯度仍为99.9999%）。

第二、半导体的电阻率随温度升高按指数规律减小。例如，纯净的锗从20℃升到30℃时，电阻率几乎减小一半。

第三、光照可以改变半导体的电阻率，还可产生电动势。

半导体具有这些独特的导电性主要是由于下列几种导电方式形成的。

一、本征半导体

纯净的半导体（纯度要求99.99999%以上），叫做本征半导体。它是制造半导体器件的基本材料，目前用得最多的是单晶硅和单晶锗。

硅和锗都是四价元素，即它们原子的最外层轨道上有四个价电子，如图 1-1 所示。将硅与锗材料提炼成单晶体时，原子排列得非常整齐，彼此之间的距离都是相等的。由于绝大多数半导体都具有这种晶体结构，所以往往把半导体材料称做晶体材料，这就是晶体管名称的由来。

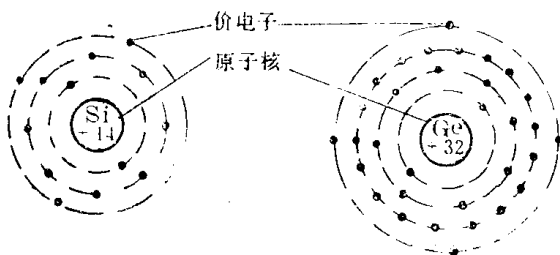


图 1-1 硅和锗原子结构示意图

在单晶硅和单晶锗中，每个原子最外层的四个价电子既受自身原子核的束缚，又与相邻的四个原子有联系。如以一个原子为中心来看，这个中心原子拿出一个价电子和它的一个相邻的原子共用，而这个相邻的原子也拿出它的一个价电子和中心原子共用。因此，每个相邻的原子之间都共有一对价电子。这一对电

子，既围绕着各自的原子核转动，又绕着相邻的原子核转动。图 1-2 以平面图的形式表示了这种情况，图中黑点表示价电子，圆圈代表硅原子。中心原子自身有四个价电子，而它又可以和四周相邻的四个原子结合。实际上，晶体中每一个原子都可以看成是这种中心原子，它们的排列方式都是一样的。

由两个相邻原子共用的一对价电子，使这两个原子之间产生了一种束缚力，就象链条一样把两个原子互相拉住，不易分开。这两个共用的价电子所形成的束缚作用叫做共价键，在图 1-2 中用虚线表示共价键，这种结构称共价键结构。

在温度接近绝对零度时，共价键中的价电子被束缚得很紧，半导体和绝缘体一样，不能导电。

在室温（如 20℃）的情况下，共价键中的价电子受到热的激励，有少数价电子能够挣脱共价键的束缚而成为自由电子，同时在原来的位置上留下一个空位，这个空位叫做空穴。空穴带有和自由电子相等的电量，但它呈现正电性。

由于温度上升，使半导体中同时出现电子空穴对的现象叫热激发，如图 1-3 所示。与此同时，半导体中的自由电子也可以去填补空穴的位置，即自由电子、空穴对同时消失的现象叫复合。

半导体中既有热激发现象，又存在复合现象，即半导体中自由电子和空穴对不断产生，同时又不不断复合。在一定温度条件下，热激发和复合达到动态平衡，于是半导体中的电子、空穴对维持一定的数量。温度越高，电子、空穴对的数量就越多，因此温度对半导体的导电性能有很大的影响。

空穴可以移动，空穴带正电荷，它就可以吸引邻近原子的价电子。当邻近的价电子填补了空穴的位置后，又在它原来的位置上留下了一个空穴，如图 1-4 所示。所以，空穴可以移动，但它移动的方向恰与电子的运动方向相反。打个通俗的比喻，众人坐在剧场里，如果前排走了一个人，后排的观众依次向前移，而空位向后移。由此可见，空穴也是载运电流的粒子，所以在半导体中把自由电子和空穴统称为载流子。

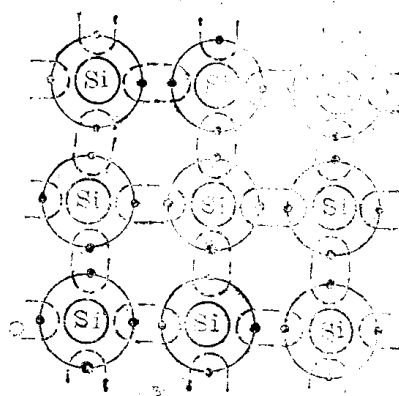


图 1-2 共价键结构平面示意图

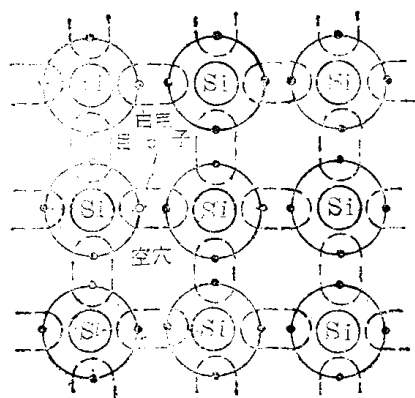


图 1-3 本征激发产生自由电子和空穴

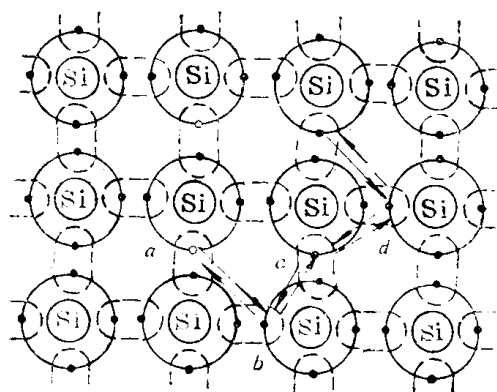


图 1-4 空穴的移动

注：虚线箭头表示空穴移动的方向；
实线箭头表示价电子移动的方向。

本征半导体的导电能力很差，如在本征半导体中有选择地掺入其它元素，则可改变它的导电性，从而制造出各种半导体器件。

二、N型半导体和P型半导体

在硅单晶体中，若掺入少量的五价元素磷，由于磷原子的最外层是五个价电子，其中四个分别与相邻的四个硅原子相结合，组成共价键以外，还多出一个受原子核束缚很弱的价电子，它很容易受激励并成为自由电子。一般在室温的情况下，它就可以挣脱原子核的束缚成为自由电子。这样，掺入的每一个磷原子都可以提供一个自由电子，使半导体的导电能力大为增强。若在每立方厘米硅中，掺入的磷原子仅为硅原子的 10^6 分之一，掺杂后的杂质半导体中载流子浓度的数量级为 10^{16} 。它比室温条件下由本征激发产生的载流子浓度要大 10^6 倍，由此可见，掺杂质对半导体的导电能力有很大的影响。

在这种半导体中，自由电子的数量（ 10^{16} 数量级）远大于空穴的数量（ 10^{10} 数量级），所以自由电子是这种半导体中的多数载流子，而空穴则是这种半导体的少数载流子。由于这种半导体主要是依靠自由电子导电，故称为电子型半导体或N型半导体，如图1-5所示。

如果在硅晶体中掺入三价元素硼，由于硼原子最外层只有三个价电子，当它与相邻的四个硅原子相结合而形成共价键时，就自然提供了一个空穴，如图1-6所示。在这种半导体中，空穴的数量远大于自由电子的数量，所以空穴是这种半导体的多数载流子，而自由电子则是这种半导体的少数载流子。由于这种半导体主要依靠空穴导电，故称为空穴型半导体或P型半导体。在图1-6中，硼原子B提供一个空穴，（a处），而该空穴可吸引旁边的电子b，则空穴移动到b处。图中箭头表示的是电子运动方向，与空穴运动方向相反。

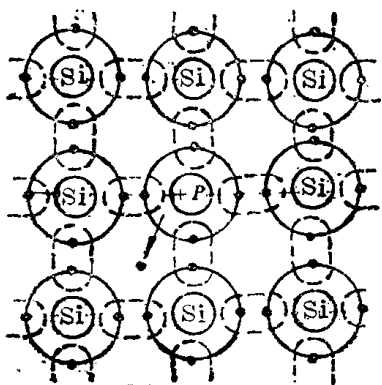


图 1-5 N型半导体

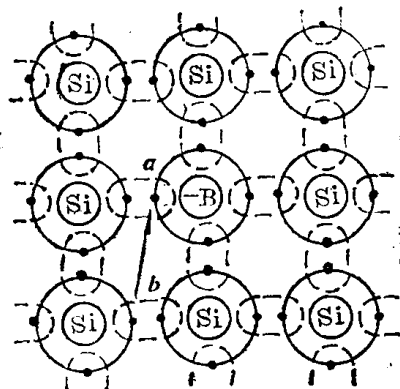


图 1-6 P型半导体

第二节 PN结及其单向导电性

由上节可知，掺杂对提高半导体的导电能力有极大的影响，但掺杂的意义远非如此。在一块完整的硅晶片上，用掺杂的工艺使一边形成N型半导体，另一边形成P型半导体，这样在N型和P型的交界面处就会形成一种特殊的薄层，这个薄层叫做PN结，由此我们可以做出晶体二极管、三极管等许多半导体器件。了解和掌握PN结的基本特性，是掌握这些器件工作原

理的基础。

一、PN结的形成

单独的P型或N型半导体接入电路只能起电阻的作用。当P型半导体和N型半导体“结合”在一起时，由于P型半导体的空穴浓度高，自由电子的浓度低；而N型半导体的自由电子浓度高，空穴浓度低，所以交界面两侧的载流子在浓度上形成了很大的差别。这时就在交界面附近产生了多数载流子的扩散运动。所谓扩散运动，就是载流子由浓度高的地方向浓度低的地方运动，即P区的多数载流子（空穴）向N区扩散，同时N区的多数载流子（电子）向P区扩散，如图1-7（b）所示。随着扩散运动的进行，在P区和N区的交界面P区一侧出现一层带负电的粒子区（这是不能移动的电荷），而在交界面N区一侧出现一层带正电的粒子区，于是，在交界面的两侧就出现了一个空间电荷区。

空间电荷区又称耗尽层或阻挡层。耗尽层是指这个区域中的自由电子和空穴都已消耗尽了。

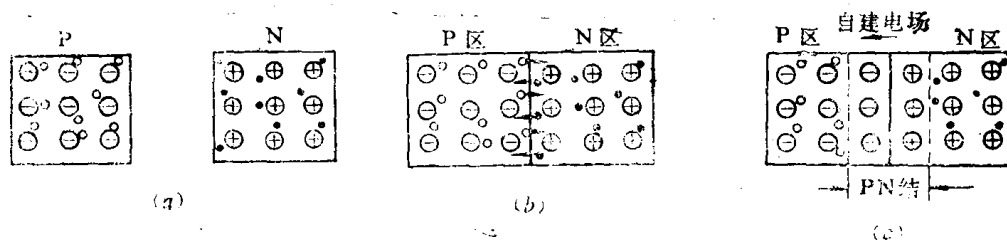


图 1-7 PN结的形成

(a) P型和N型半导体中的杂质原子；(b) PN结的多数载流子的扩散；(c) PN结

在图1-7（c）中，空间电荷区的电荷右侧为正，左侧为负，产生了一个内电场。显然，这个内电场对多数载流子的扩散运动起阻碍作用；但却对少数载流子的运动有促进作用。内电场把P区的少数载流子（包括由N区扩散到P区的）——电子拉向N区，把N区的少数载流子（包括由P区扩散到N区的）——空穴推向P区。少数载流子在内电场作用下的这种运动称为漂移运动。扩散运动与漂移运动是互相对立的。

随着多数载流子扩散运动的进行，空间电荷区里不能移动的电荷增多，空间电荷区逐渐变宽，内电场增强。于是，阻碍扩散的作用越强，漂移作用也越来越强。当扩散运动进行到一定程度时，在同一时间内，扩散运动和漂移运动达到了暂时的、相对的动态平衡，建立了一定宽度的空间电荷区，这个空间电荷区就是PN结。

二、PN结的单向导电性

1. PN结正向偏置

如果在PN结两侧，外加一组电压，其方向是P区接正，N区接负，这个外加电压称为正向电压，也叫PN结处于正向偏置。这时由外加电压产生的电场（外电场）与PN结的内电场方向相反，因而削弱了内电场，使空间电荷区变窄。这样，自然有利于多数载流子的扩散运动，而不利少数载流的漂移运动。于是，在正向电压作用下，多数载流子将顺利通过PN结，形成较大的正向电流。外加电压越大，正向电流就越大。这时PN结所呈现的电阻（正向电阻）是很小的，PN结处于导通状态。如图1-8（a）所示。

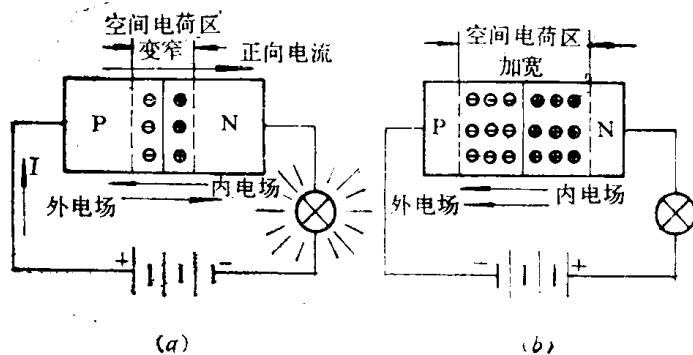


图 1-8 PN结的单向导电性
(a) 外加正向电压PN结导通；(b) 外加反向电压PN结截止

2. PN结反向偏置

如果给PN结加一个反向电压，即N区接正，P区接负，如图1-8(b)所示。此时，PN结处于反向偏置状态。当PN结反偏时，外加电场和内电场的方向一致，使空间电荷区变宽。因而内电场增强，使多数载流子的扩散运动受到阻碍，但少数载流子的漂移运动却得到加强。由于少数载流子的数量很少，因此，这些极少量的少数载流子在反向电压的作用下，通过PN结漂移到对方去而形成极微小的反向电流（又称反向漏电流），其方向是从N到P。这时PN结所呈现的电阻（反向电阻）很大，PN结处于截止状态。

由以上分析可知，PN结正向偏置时，PN结导通，电流可以顺利通过；PN结反向偏置时，PN结截止，阻止电流通过。PN结具有的这种特性称为“单向导电性”。PN结的单向导电性是晶体二极管、三极管及其它许多半导体器件作用原理的基础。

应当指出，反向电流是由少数载流子形成的，而少数载流子的数量与温度有关，温度越高，由热激发产生的少数载流子数量越多，因此，PN结的反向电流随温度的上升而增大。在使用半导体器件时，要考虑环境温度对器件的影响。

第三节 晶体二极管

一、结构及用途

晶体二极管是由一个PN结作为管心，由P端和N端分别接两个电极，再加管壳封装而成。常见的二极管的外形如图1-9(a)所示。

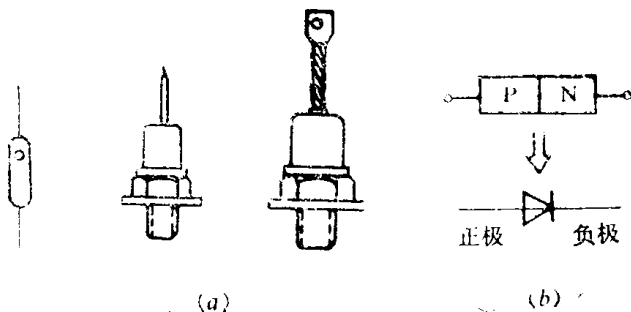


图 1-9 二极管的外形及符号
(a) 二极管外形；(b) 二极管的符号

晶体二极管的两个电极分别称为阳极（又称正极，即P型半导体的引出线）和阴极（又称负极，即N型半导体的引出线）。由于晶体二极管具有单向导电性，在电路中，通常用如图1-9（b）所示的符号来表示，箭头所指方向是正向电流的方向。

按照内部结构的不同，晶体二极管分为点接触式和面接触式两种。点接触式是由一根很细的金属丝和一块半导体的表面接触，然后通以强脉冲电流使金属丝与半导体牢固地烧结在一起构成PN结，见图1-9（a）所示。它能通过的电流很小，另外它的结面积很小，极间电容亦很小，可用于高频检波和小功率整流。

面接触型二极管的PN结是用合金法或扩散法做成的，其结构如图1-10（b）所示。它的PN结面积大，可承受较大的电流，所以它适合于做整流管，但由于结电容较大，不适用于高频电路。

根据所采用的半导体材料不同，常用的二极管又分为锗二极管和硅二极管两种。

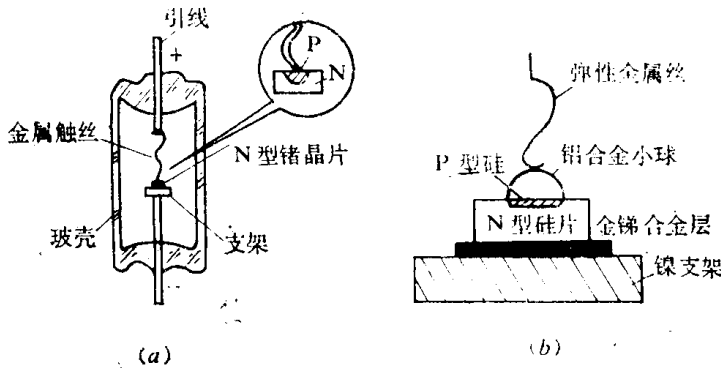


图 1-10 二极管的结构
(a) 点接触式二极管；(b) 面接触式二极管

二、伏安特性

流过二极管的电流与二极管两端电压的关系称为二极管的伏安特性。各种不同型号的二极管，伏安特性都大致相同。人们根据实测的数据描绘出的二极管伏安特性如图1-11（a）所示。

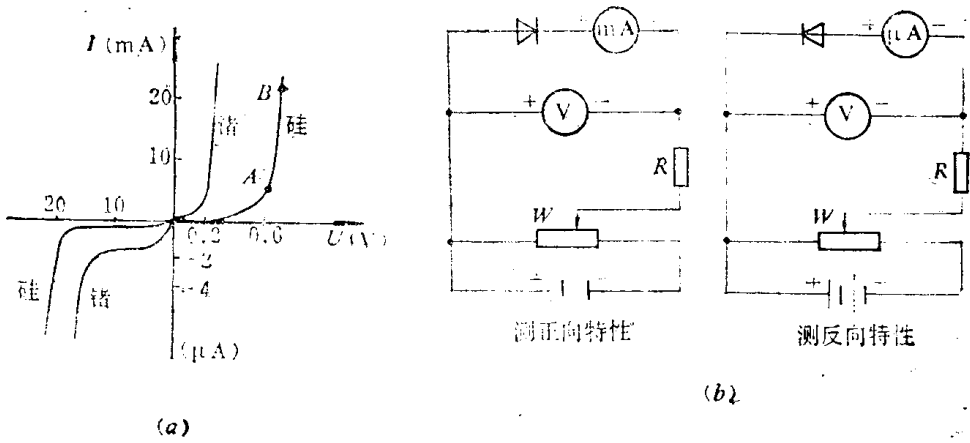


图 1-11 二极管的伏安特性及测试电路
(a) 伏安特性；(b) 测正反向特性电路

1. 正向特性

当外加电压为零时, 电流也为零, 曲线通过坐标零点。当外加正向电压较低时, 外电场还不足以克服PN结内电场对多数载流子形成的阻力, 因此这时的正向电流仍为零, 二极管呈现出很大的电阻。这个范围称为“死区”, 相应的电压称为死区电压。锗管的死区电压大约为0.1V, 硅管的死区电压大约为0.5V。当外加正向电压大于死区电压(有时又称起始电压)后, 电流急剧增大。为了方便, 一般情况下, 认为锗管的正向导通压降约为0.2V, 硅管的正向导通压降为0.7V。

例1-1 在图1-12的电路中, 二极管为硅管, 试分析当输入电压 U_i 为5V时, 输出电压 U_o 约为多少? 若输入电压增加到10V时, 输出电压是否也成倍增加?

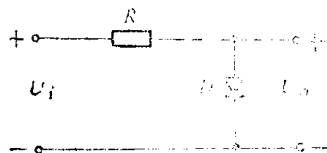


图 1-12 例1-1图

解: 当 $U_i = 5V$ 时, 硅二极管 D 导通, $U_o = U_D = 0.7V$ 。

当 $U_i = 10V$ 时, 硅二极管 D 仍导通, 但这时流过二极管的电流增大很多, 此电流在 R 上的压降增大, 而硅二极管两端的电压增加很少, 可认为 $U_o = U_D = 0.7V$ 。

通过此例, 我们应明确这一概念, 当二极管正向导通时, 其两端的电压 U_D 可认为基本不变。

2. 反向特性

当二极管两端加有反向电压时, 反向电流极小, 当反向电压不超过某一范围时, 反向电流的大小基本恒定, 故通常称为反向饱和电流。因为是反向电流是由少数载流子产生的。在一定温度下的每一个单位时间内, 只要外电场到了足以使它们全部都通过PN结而形成电流, 即使外加电压再升高也不能使少数载流子有所增加, 所以反向电流是基本恒定的。硅管的反向电流一般约为一微安至几十微安, 而锗管则可达几百微安。

但是当反向电压不断增大而超过某一数值时, 反向电流会急剧增大。这是由于外加电压过高, 外电场太强, 使PN结中的束缚电子也脱离共价键而形成自由电子和空穴, 这些载流子加上热激发产生的少数载流子, 在强电场的作用下又和晶体结构中的原子发生碰撞, 产生出更多的自由电子和空穴, 形成很大的反向电流, 这种现象叫反向击穿, 相应的电压叫反向击穿电压。正常使用的二极管不允许出现这种现象, 否则将使二极管失去单向导电性而遭损坏。

三、主要参数

参数是用来表示半导体器件的性能及其适用范围的一些数据。只有了解二极管参数, 才能正确选择和使用二极管。在此只介绍二极管的主要参数。

1. 最大整流电流 I_{DM}

这是指长期工作时, 二极管能允许通过的最大正向平均电流值。

使用二极管时, 如果电流太大, 发热过甚, 就会使PN结烧坏。在选用二极管时, 工作电流不得超过它的最大整流电流。

2. 最高反向工作电压 U_{DM}

这是指二极管工作时, 所能承受的反向电压的峰值。为了防止二极管因反向击穿而损坏, 通常标定的最高反向工作电压比击穿电压值低。在选用二极管时, 加在二极管上的反向电压峰值不允许超过这一数值。

四、温度的影响

温度对二极管的伏安特性是有影响的。如图1-13所示, 加反向电压时, 反向饱和电流

是由少数载流子产生的。但随着温度的上升，热激发产生的少数载流子数会随之增大，所以反向饱和电流也增大。与此同时，反向击穿电压就下降。

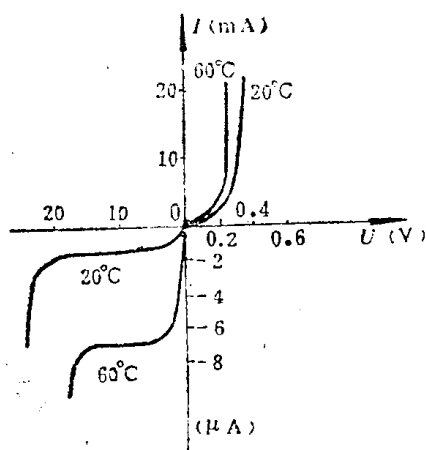


图 1-13 温度对二极管伏安特性的影响

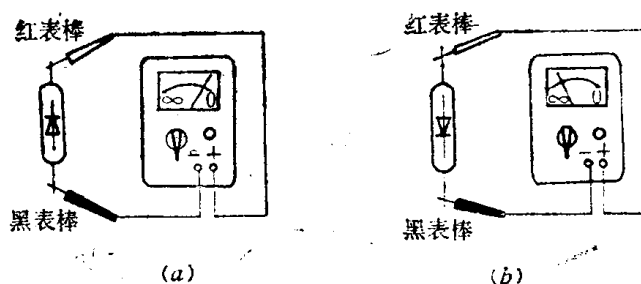


图 1-14 用万用表粗测二极管的电阻

(a) 正向电阻小; (b) 反向电阻大

温度对反向电流的影响：温度每升高 10°C ，硅管和锗管的反向电流约增大一倍。

温度对正向特性也有影响，随着温度的上升，特性曲线要左移，即在同一电流的情况下，加在二极管两端的电压值降低了。实验表明，在电流一定的条件下，温度每升高 1°C ，二极管的正向压降约减小 2mV 到 2.5mV 。这个规律对锗管和硅管都适用。

五、晶体二极管的简单测试

在使用二极管时，常需判别二极管的正负极性和粗略判断二极管的质量。最简单的办法是用一块普通万用表来测量它的正反向电阻。

测量时，把万用表拨到欧姆档，这时，表内有一个内附电池，红表棒接的是内附电池负端，黑表棒接的是内附电池正端（请注意，刻度盘上欧姆档的刻度与其它刻度正向相反，在未测量前，表针应指在欧姆档的 ∞ 处）。

一般用欧姆档的 $R \times 100$ 或 $R \times 1\text{k}$ 档位，用万用表的红、黑表棒分别正接和反接二极管的两端，可测出大、小两个阻值，如图 1-14 所示。阻值大的是反向电阻，阻值小的是正向电阻。如果测出的正反向电阻差别较大，说明二极管是好的；若测出反向电阻太小，二极管就失去了单向导电性；若正、反向电阻均为无穷大，表明二极管已断路。

二极管正、负极性的判别可根据正接和反接时的电阻大小来判断。当电阻较小时，说明二极管处于正向偏置，此时P端接的是电源正端，N端接的是电源负端。据此我们可判断出黑表棒端接触的是二极管的阳极，红表棒端接触的是二极管的阴极。

第四节 单相整流及滤波电路

在电子技术领域，几乎所有的电子仪器、自动装置等设备，都需要直流电源供电。而发电厂和电力网所供的全是交流电，这就需把交流电转换为直流电。整流电路的作用就是利用二极管的单向导电性，把交流电变为脉动的直流电。

为了使问题简化，在讨论整流电路时有两个基本假定：其一，假定整流元件是理想的开关。当二极管正向导通时，认为它的内阻是零，即不考虑它的正向压降；当整流元件反向截

止时, 认为它的内阻为无穷大, 即不考虑它的反向电流。其二, 假定整流电路的负载是电阻。这在大多数情况下是符合实际情况的。

一、单相半波整流电路

单相半波整流电路如图 1-15 所示。图中 B 为电源变压器, 它将交流电压 $\tilde{u}_1$ 变为适当数值的 $\tilde{u}_2$; D 为整流元件; R_L 为需要取用直流电的负载。

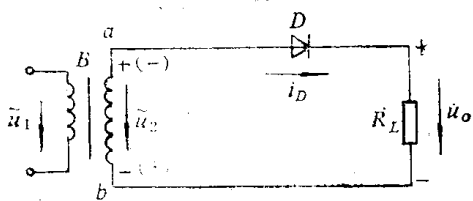


图1-15 单相半波整流电路

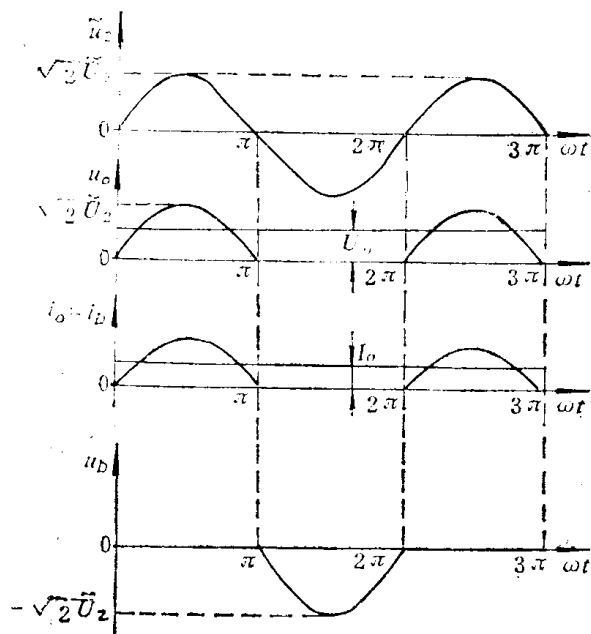


图1-16 单相半波整流电路的波形图

1. 整流过程

设变压器副边电压为 $\tilde{u}_2 = \sqrt{2} \tilde{U}_2 \sin \omega t$, 式中 $\tilde{U}_2$ 为变压器副边电压的有效值, $\tilde{u}_2$ 的波形如图 1-16 所示。

在交变电压 $\tilde{U}_2$ 的正半周 ($0 \leq \omega t \leq \pi$) 期间, 图 1-15 中变压器 B 副绕组上端为正, 下端为负, 二极管 D 正向导通。电流从变压器副绕组的上端流出, 经二极管 D 流过负载 R_L 回到变压器副绕组的下端。这时, 加在负载 R_L 上的电压就等于变压器副边电压 $\tilde{u}_2$ 。

在交变电压 $\tilde{u}_2$ 的负半周 ($\pi \leq \omega t \leq 2\pi$) 期间, 变压器副绕组的上端为负, 下端为正, 使二极管处于反向偏置状态, 故二极管 D 截止, 负载 R_L 上没有电流流过, 负载上的电压 u_o 也就为零。

因此, 尽管 $\tilde{u}_2$ 是交变的, 由于二极管的单向导电作用, 流过负载的电流却是单方向的, 所以输出电压也是单方向的。这种电路只在电源电压 $\tilde{u}_2$ 的半个周期中才有电流通过, 故称半波整流电路。

2. 负载上的直流电压和直流电流

负载电压 u_o 是一个半波脉动电压, 直流电压 U_o 是 u_o 的平均值。在整个周期内, 负载电压的平均值

$$\begin{aligned} U_o &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_o d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} \tilde{U}_2 \sin \omega t d(\omega t) \\ &= \frac{\sqrt{2} \tilde{U}_2}{\pi} \approx 0.45 \tilde{U}_2 \end{aligned} \quad (1-1)$$

同时从图 1-17 也可证明。

流过负载的直流电流平均值为

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} \approx 0.45 \frac{\tilde{U}_2}{R_L} \quad (1-2)$$

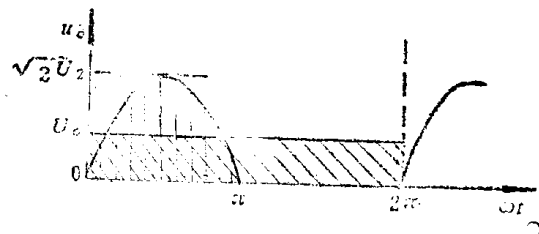


图1-17 整流电压的计算

$$\text{注: } U_o = \frac{\text{半波面积}}{2\pi}$$

把 u_o 半波波形与横轴所包围的面积 (竖线阴影部分) 展成宽度为一个周期的矩形 (斜线阴影部分), 矩形的高就等于整流电压 U_o 。

3. 二极管的电流和电压

由于二极管 D 与负载 R_L 串联, 流经二极管 D 的电流和负载电流是同一电流, 其平均值为

$$I_D = I_o \quad (1-3)$$

二极管 D 在反向截止时, 所承受的最高反向电压 U_{DM} 为 $\tilde{u}_2$ 的峰值电压:

$$U_{DM} = \sqrt{2} \tilde{U}_2 \quad (1-4)$$

单相半波电路简单, 但明显的缺点是直流输出电压低, 脉动大, 整流效率低。这种电路仅适用于小功率及对直流输出电压平滑程度要求不高的场合。

二、单相全波整流电路

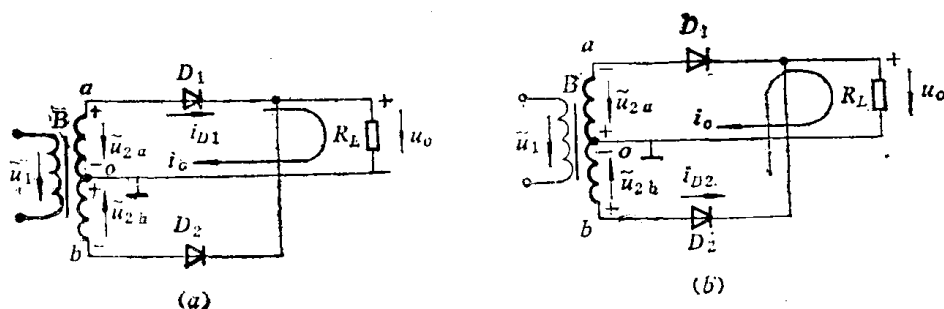


图 1-18 单相全波整流电路及整流原理

(a) D_1 导通 D_2 截止时的情况; (b) D_1 截止 D_2 导通时的情况

单相全波整流电路如图 1-18 所示。它实际上是由两个半波整流电路合成的。电源变压器副绕组分成两个对称的部分, 这两个对称绕组的公共端为中心抽头, 用 o 表示, o 端一般接到地端, 即 o 点为零电位。因此, $a-o$ 和 $b-o$ 这两部分电压 $\tilde{u}_{2a}$ 和 $\tilde{u}_{2b}$ 大小相等而相位相反, 即

$$\tilde{u}_{2a} = \sqrt{2} \tilde{U}_2 \sin \omega t,$$

$$\tilde{u}_{2b} = \sqrt{2} \tilde{U}_2 \sin(\omega t - 180^\circ)$$

其波形如图 1-19 所示。

在图 1-18 (a) 中, 当 ωt 为 $0 \sim \pi$ 期间, $\tilde{u}_{2a}$ 为正值, $\tilde{u}_{2b}$ 为负值 (即变压器副绕组 a 端为正, b 端为负), 二极管 D_1 正向偏置, 故 D_1 导通, 电流自 a 端流出, 经 D_1 流过负载 R_L 至变压器 B 的副绕组中心抽头 o , 此时, D_2 因反向偏置而截止, D_2 支路中没有电流流过。

在图 1-18 (b) 中, 当 ωt 为 $\pi \sim 2\pi$ 期间, $\tilde{u}_{2a}$ 为负值, $\tilde{u}_{2b}$ 为正值 (即 a 端为负, b 端为正)。二极管 D_1 因反偏而截止, D_1 支路中没有电流流过。此时, 二极管 D_2 正向导通, 电流自 b 端流出, 经 D_2 流过负载 R_L 至副绕组中心抽头 o 端。

在交变电压的整个周期内, D_1 、 D_2 轮流导通, 使负载 R_L 上得到一个单方向的脉动电压, 如图 1-19 (b) 所示。

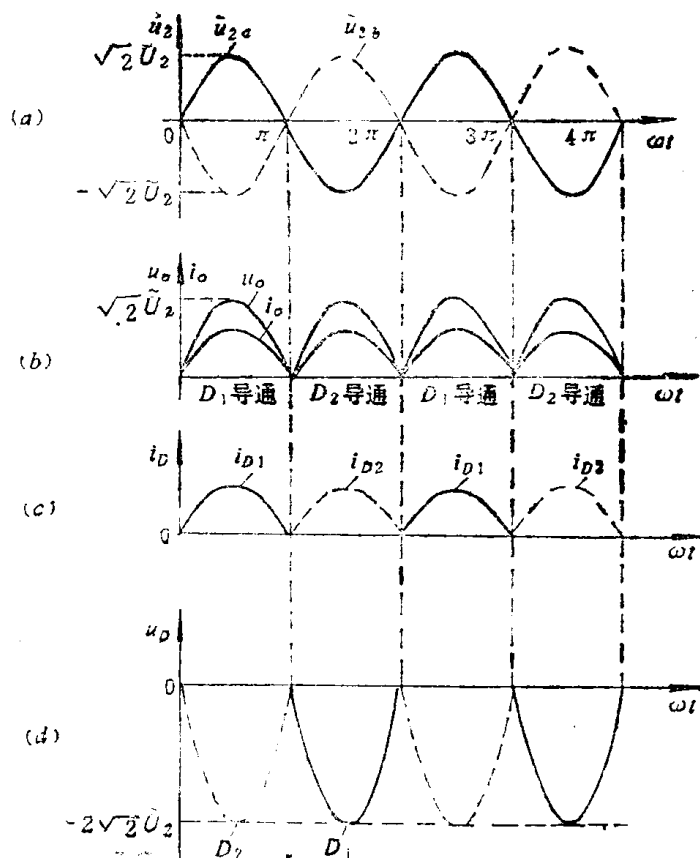


图 1-19 单相全波整流的波形图

(a) 交流电压 $\tilde{u}_{2a}$ 、 $\tilde{u}_{2b}$ 波形；(b) 负载上电压、电流的波形；

(c) 二极管中的电流波形；(d) 二极管截止时承受的反向电压波形

当 $\tilde{U}_{2a} = \tilde{U}_{2b}$ 时, 全波整流电路的负载电压和负载电流的平均值显然为半波整流时的两倍,

即

$$U_o = 0.45\tilde{U}_2 \times 2 = 0.9\tilde{U}_2 \quad (1-5)$$

$$I_o = \frac{0.9\tilde{U}_2}{R_L} \quad (1-6)$$

但是, 流过每只二极管的电流 (平均值) 却是负载电流的一半, 即

$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{1}{2}I_o \quad (1-7)$$

二极管截止时, 承受的最高反向电压为半波整流时的两倍, 即

$$U_{DM} = 2\sqrt{2}\tilde{U}_2 \quad (1-8)$$

假设 D_1 导通, D_2 截止, 忽略 D_1 的管压降, 则 D_2 其负极电位与变压器副绕组 a 端电位相等, D_2 的正极是接在副绕组 b 端的, 所以作用在 D_2 上的反向电压等于变压器整个副绕组的全部电压, 其最大值为 $2\sqrt{2}\tilde{U}_2$ 。同理, 当 D_2 导通时, 作用在 D_1 上的反向电压也是这个值。

全波整流电路虽然输出直流电压较高, 脉动减小。但是, 变压器的副绕组必须具有中心抽头, 而每半个副绕组只在半个周期有电流流过, 变压器的利用率不高, 而体积加大, 成本