

电子技术

(电工学 II)

北京航空航天大学 合编
西北工业大学
李郁分 主编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书为高等工业院校非电专业电子技术课程教材。全书共分六章：第一章介绍半导体的基本知识及整流电路；第二章介绍晶体管放大器；第三章介绍集成运算放大器；第四章介绍正弦振荡器；第五章介绍直流电源；第六章介绍数字电路。每章后有小结和习题。书后附各种半导体器件的特性参数及参考书目。

书中带“*”的章节为参考内容。

本书可作为高等工科院校、自修大学、夜大学和业余大学的教材，亦可供有关科技人员参考。

电 子 技 术

(电工学 I)

北京航空航天大学 合编
西北工业大学
李 郁 分 主 编
责任编辑 王晓光

国防工业出版社出版

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码100044)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营
国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张16¹/₂ 382千字

1990年4月第一版 1990年4月第一次印刷 印数：0,001—5,000册

ISBN 7-118-00624-6/TN·113 定价：3.30元

前 言

本书为航空航天工业部规划教材。由北京航空航天大学 and 西北工业大学合编，作为高等工业院校非电类各专业本科用的必修教材。全书内容覆盖了国家教委电工学课程教学指导小组提出的非电专业电子技术（电工学Ⅱ）课程教学基本要求。有些部分的内容略有加深和展宽，便于在教学中灵活处理和选用。

本书采用“管、路结合，管为路用”的编法，将晶体二极管、整流电路及稳压管稳压电路列为一章，晶体管、场效应管及放大电路列为一章，线性组件及集成运算放大器列为一章，可控硅及可控整流电路、晶体管稳压电源列为一章，正弦振荡器为一章，数字电路为一章。在晶体管放大器一章中，介绍放大器的工作原理与分析方法；在集成运算放大器一章中，着重介绍集成运算放大器的原理和应用；在数字电路一章中，主要介绍集成数字电路的逻辑功能。为了使学生在本课程中“使用计算机不断线”，在整流电路、晶体管放大器和集成运算放大器几章中，列入了用微机辅助计算举例，供教学中选用。

本书第一章由李郁分、张家喜编写，第二章由李桂云编写，第三章由葛绳刚编写，第四章由李郁分编写，第五章由张家喜编写，第六章由赵德闻、李郁分、张家喜编写。

全书初稿经主审单位南京航空学院欧阳璘、卢振球、鲍登贤三位同志审阅，提出了许多宝贵的意见和建议，我们在此表示衷心感谢。

限于编者的水平，书中不妥和错误之处恐不在少数，恳请读者批评指正。

编 者

1988年12月

CA015-101

目 录

绪 论	1
-----	---

第一章 晶体二极管和整流电路

§ 1-1 半导体和PN结简述	3
一、半导体的基本特性	3
二、PN结及其单向导电性	5
§ 1-2 晶体二极管	6
一、晶体二极管的结构	6
二、二极管的伏-安特性	7
三、二极管的主要参数	8
§ 1-3 单相整流和滤波电路	9
一、单相半波整流和电容滤波电路	9
二、单相桥式整流和电容滤波电路	11
三、RC滤波电路	13
四、电感滤波器和电感电容滤波器	15
* § 1-4 三相桥式整流电路	15
§ 1-5 稳压管及其稳压电路	16
一、硅稳压管	16
二、硅稳压管稳压电路	18
* § 1-6 微机辅助计算举例	18
小结	22
习题	23

第二章 晶体管放大电路

§ 2-1 晶体三极管	26
一、晶体三极管的外形和结构	26
二、晶体管的工作偏置和电流放大作用	30
三、晶体管的特性曲线和三种工作状态	31
四、晶体管的小信号模型	33
五、晶体管的参数	35
*六、复合晶体管	38
§ 2-2 单管交流放大器的基本工作	
原理	38
一、基本工作原理	38
二、放大器的静态与非线性失真	40
三、放大电路元件的作用	40
§ 2-3 放大器的基本分析方法	41
一、等效电路分析法	41
*二、图解分析法	44
§ 2-4 放大器的输入电阻和输出电阻	47

一、输入电阻 r_i	47
二、输出电阻 r_o	48
§ 2-5 典型单管放大器的计算	49
一、分压式电流反馈偏置电路	49
二、串联电流负反馈放大电路	51
三、射极输出器	53
§ 2-6 放大器的频率特性	55
一、中频段	56
二、低频段	56
三、高频段	57
§ 2-7 多级放大器	57
一、阻容耦合放大器	58
二、直接耦合放大器(直流放大器)	59
§ 2-8 放大器中的反馈	62
一、反馈的概念和反馈放大器的一般关系式	62
二、负反馈对放大器性能的改善	64
三、反馈的类型及其判别	65
四、反馈放大器的计算	67
五、负反馈电压放大倍数的近似计算	69
*六、放大器的自激振荡及其消除	70
§ 2-9 差动放大器	72
一、差模(差动)输入	73
二、共模输入——电路对零漂的抑制作用	74
三、比较输入	75
四、具有晶体管恒流源的差动放大电路	77
§ 2-10 互补对称电路(功率放大器)	79
一、功率放大器概述	79
二、互补对称电路的工作原理	80
三、交越失真的消除	82
*四、采用单一电源供电的互补对称电路	83
*五、具有负反馈和自举作用的互补对称电路	84
§ 2-11 场效应管放大电路	85
一、场效应管	85
二、场效应管放大电路	89
§ 2-12 放大电路举例	93
一、扩音机的主放大电路	93
二、BG805型集成放大电路	93
§ 2-13 微机辅助计算举例	94
小结	100
习题	102

第三章 集成运算放大器

§ 3-1 线性组件	115
一、线性组件的结构	115
二、线性组件的基本组成部分	116
三、线性组件的主要参数	117
四、线性组件的图示符号	118
§ 3-2 集成运算放大器 (集成运大)	
的基本性能	119
一、集成运放的基本分析要领	119
二、集成运放的三种联接方式	120
§ 3-3 集成运放的运算功能	124
一、加法运算	124
二、积分运算	125
三、微分运算	127
*四、集成模拟乘法器	128
§ 3-4 集成运放应用举例	130
一、电子模拟计算	130
二、电压-电流转换器	131
三、有源滤波器	132
四、比较器	133
*五、矩形波发生器 (多谐振荡器)	134
*六、电压数字变换器	135
*七、采样保持器	136
* § 3-5 集成运放的运算误差	137
* § 3-6 微机辅助计算举例	140
小结	142
习题	143

第四章 正弦振荡器

§ 4-1 正弦振荡器的基本原理	153
一、振荡条件	153
二、振荡的建立与稳定	154
三、选频	154
§ 4-2 LC 正弦振荡器	155
一、LC 振荡器的工作原理和振荡频率	155
二、LC 振荡器应用举例——电子接近开关	156
* § 4-3 石英晶体正弦振荡器	157
§ 4-4 RC 桥式正弦振荡器	158
小结	160
习题	160

第五章 直流电源

§ 5-1 晶体管串联稳压电路	163
一、基本电路和稳压原理	163
二、晶体管稳压电源的组成环节	164

三、典型晶体管稳压电源	164
§ 5-2 集成稳压电路	165
一、W1 系列集成稳压电源	165
二、LWY8 型集成稳压电源	166
§ 5-3 开关稳压电路	168
§ 5-4 可控硅元件	170
一、可控硅的基本结构	170
二、可控硅的导电原理	171
三、可控硅的伏-安特性	172
四、可控硅的主要参数	172
五、可控硅的简单测试	173
§ 5-5 单相可控整流电路	174
一、单相半波可控整流电路	174
二、单相桥式可控整流电路	177
§ 5-6 单结晶体管触发电路	180
一、单结晶体管	180
二、单结晶体管触发电路	182
§ 5-7 可控硅的保护	185
一、过电流保护	185
二、过电压保护	186
§ 5-8 可控整流电路应用举例	186
小结	188
习题	189

第六章 数字电路

§ 6-1 概述	190
一、数字电路和脉冲信号	190
二、数制和编码	191
§ 6-2 基本逻辑门电路	194
一、与门	194
二、或门	196
三、非门	197
四、复合门电路	198
§ 6-3 集成逻辑门电路	199
一、晶体管-晶体管逻辑门电路	199
二、MOS 逻辑门电路	201
三、集成三态门电路	203
§ 6-4 数字电路的逻辑分析	204
一、逻辑代数 (布尔代数) 的基本知识	204
二、逻辑函数的表达式和真值表	206
三、逻辑函数与逻辑电路	207
四、逻辑函数的公式化简法	208
五、逻辑函数的图解化简法——卡诺图	209
化简法	209
§ 6-5 组合逻辑电路	211
一、编码器	211

二、译码器	212
三、全加器	217
§ 6-6 时序逻辑电路	218
一、触发器	218
二、寄存器和移位寄存器	224
三、计数器	227
§ 6-7 模拟量与数字量的转换	232
一、数/模 (D/A) 转换器	232
二、模/数 (A/D) 转换器	233
• § 6-8 脉冲波形的产生和整形	234
一、单稳态触发器	235
二、多谐振荡器	236
三、施密特触发器	237
§ 6-9 数字电路应用举例	238
小结	241
习题	242

附 录

附录一 国产半导体器件型号组成部分的 符号及其意义	248
附录二 几种半导体二极管的参数	249
附录三 几种稳压二极管的参数	249
附录四 几种晶体管的部分参数	250
附录五 几种场效应管的参数	252
附录六 几种固体线性组件的特性参数	253
附录七 几种可控硅的参数	254
附录八 半导体集成电路型号命名法	255
附录九 几种TTL与非门的主要参数	256
附录十 部分半导体集成电路产品国内外 型号对照表	256
参考文献	257

绪 论

电子技术是研究电子器件的应用的科学。现代电子科学技术的发展和应用,引起了人类从生产到生活各方面的巨大变革。到了 20 世纪 90 年代的今天,电子技术的应用越来越广泛,无论是工农业生产、国防建设和科学技术的各个方面,还是人们生活中的衣食住行等等,全都离不开它。之所以这样,是由于电子器件具有反应迅速、灵敏度高以及使用轻便可靠等优点的缘故。例如,高速的电子计算机,每秒能进行 10 亿次以上的运算;精确的电子温度调节器,可以将温度的变化维持在千分之一摄氏度的范围以内。

电子技术是在 19 世纪末叶无线电发明之后才发展起来的。到了 1906 年世界上第一个真空三极管问世后,电子技术领域发生了一系列重大的变化。真空管时代持续了 40 多年,它不仅引起了通信技术的深刻变革,而且逐步推广到国民经济的各个部门,推动了测量技术、计算技术及自动控制技术等方面的迅速发展。

1948 年,世界上第一个晶体三极管诞生。它具有比真空管体积小、重量轻、功耗小和寿命长等一系列优点,很快地取代了真空管在电子技术领域中的主导地位。这是电子技术领域的一次飞跃。因此人们往往把真空管称为第一代电子器件,而把晶体管称为第二代电子器件。

但是晶体管时代只维持了 13 年。由于电子计算机的广泛应用,宇宙航行的迅速发展,对电子线路的微型化和可靠性提出了更高的要求。1960 年世界上第一次出现了把四个元件组成的单元电路集中制作在一小块硅片上的新型电子器件,这就是人们熟知的“集成电路”。它打破了几十年来一直由分立元件组成电子电路的传统观念,给电子技术带来深刻的影响。因此,集成电路通常被称为第三代电子器件。

到了 70 年代,从电路的集成进一步发展到系统的集成,这就是大规模集成电路,称为第四代电子器件。随着科学技术的不断发展,目前,电子技术又进入了第五代超大规模集成电路的发展时期。

在现代电子技术中,按照不同的信号型式,将电子电路划分为两大类:模拟电子电路与数字电子电路。前者处理的是模拟信号,后者处理的是数字信号。模拟信号是指模拟物理量的电压或电流,它的幅度是平滑地、连续地变化。数字信号则是离散的、不连续的。在电子技术中,模拟电子电路与数字电子电路,二者相互联系,相辅相成,又各成体系和具有各自的特点。本书的各章内容,就是按这个体系而编排的。

电子技术课是一门实践性比较强的技术基础课。要求通过本课程的学习,获得电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能,为学习后续课程与专业知识以及将来从事技术工作和科学研究工作打下电子技术方面的基础,培养分析和解决电子技术问题的基本能力。

电子技术课主要讨论各种半导体电路的基本原理及其在工业上的应用。采用“管、路结合,管为路用”的原则。“管”是指各种半导体管,“路”是指由半导体管和电阻、电容等元件所组成的各种电子电路。也就是说,在学习“管”时,应着重了解它的特性和

使用；学习“路”时，则必须从物理概念出发，掌握一些典型电路的原理和功能，并学会看懂电子电路图的门径。

实验是培养学生基本技能的主要环节，在课程中占有重要的地位，应保证实验学时和创造良好的实验条件，使学生有充分实践的机会。同时通过电化教育、实物教学和演示等环节，以加深学生对物理概念的理解。为了培养学生使用电子计算机的能力，还应为学生安排一定的上机时间。

习题是培养学生分析和解决问题能力的重要手段，也是加深和巩固所学基本理论的重要措施，学生也可以用来检查自己的学习情况。本书中安排了较多的习题，供在教与学的过程中根据具体情况选用。

第一章 晶体二极管和整流电路

§ 1-1 半导体和PN 结简述

一、半导体的基本特性

半导体是一种导电性能介于导体和绝缘体之间的物质。常用的半导体，例如硅(Si)和锗(Ge)，属于四价元素，即其原子的最外层轨道上有四个价电子，如图 1-1 所示。

纯净的半导体称为本征半导体，其原子排列很整齐，且每个原子的四个价电子分别

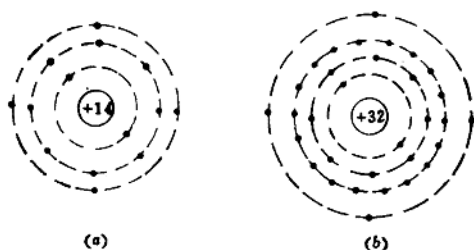


图1-1 半导体的原子结构

(a) 硅原子结构；(b) 锗原子结构。

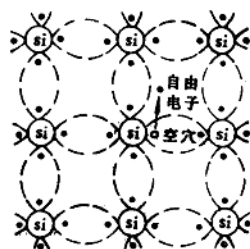


图1-2 硅原子的共价键结构

为相邻四个原子所共有，如图 1-2 所示，称为共价键结构。当温度为绝对零度(-273°C)时，价电子无力脱离共价键的束缚，半导体相当于绝缘体。但在室温下，由于热能转化为电子的动能，有些价电子会挣脱共价键的束缚，成为自由电子；与此同时，在原共价键的位置上就留下一个空位，称为空穴，如图 1-2 中所示。可见，在本征半导体中，有一个自由电子，就有一个空穴，它们成对产生，称为电子空穴对。当温度增高时，电子空穴对将增多，这种现象称为热激发。

自由电子带负电，能参与导电，称为载流子。空穴是由于共价键失去电子而形成，带正电。一个共价键出现空穴，很容易被邻近另一共价键中价电子移过来填充，从而又在移出电子的共价键中出现空穴，如此连续进行，表现为空穴移动，即相当于正电荷移动，所以空穴也是一种载流子。这样，当半导体加上外电压时，自由电子和空穴将按相反方向运动，构成的电流方向一致。所以，半导体中的电流是电子流和空穴流之和。

在半导体中，当自由电子与空穴相遇时，自由电子便填补了空穴，二者同时消失，这种现象称为复合。自由电子与空穴不断地复合，同时热激发又不断地产生电子空穴对，二者外于动态平衡状态。所以，在一定环境下，半导体中的载流子——自由电子和空穴的数目基本上一定。

在室温下，本征半导体的自由电子和空穴数量很少，导电能力很差。但是，如果在在本征半导体中掺入少量其它元素（一般称为杂质），导电能力将显著提高，这种半导体称为掺杂半导体。

图 1-3(a) 是在本征硅中掺入五价元素磷 (P) 的情况, 由于掺入的磷原子比硅原子少得多, 晶体结构基本上不变, 只是某些位置上的硅原子被磷原子所代替。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, 自然多出一个自由电子, 这样就使硅半导体中的电子载流子数目大大增加, 而空穴数目仍然很少, 主要靠自由电子

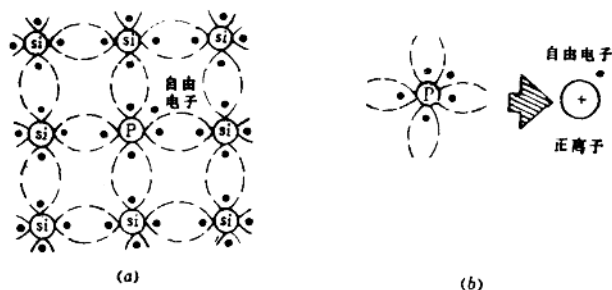


图 1-3 N 型半导体

(a) 晶体结构; (b) 简化示意图。

导电, 这种掺杂半导体称为电子型半导体, 又称为 N 型半导体。或者说, 在 N 型半导体中, 自由电子是多数载流子, 简称多子; 空穴是少数载流子, 简称少子。

图 1-3(b) 为 N 型半导体结构的简化示意图。其中 “ $\cdot$ ” 代表多数载流子电子, 可在半导体中自由运动; “ $\oplus$ ” 代表失去一个电子的五价杂质 (磷) 离子, 带正电。正离子由原子核及绕核旋转的电子所组成, 不能自由移动, 因此正离子不是载流子。(图中未画出少数载流子空穴。)

如果在本征硅中掺入三价元素硼 (B), 则晶体排列如图 1-4(a) 所示, 每个硼原子与相邻四个硅原子组成共价键时, 有一个共价键缺少一个电子, 便自然地形成一个空

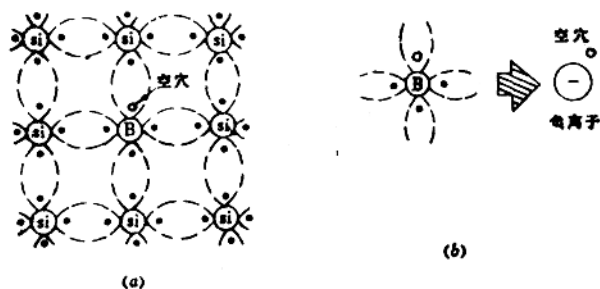


图 1-4 P 型半导体

(a) 晶体结构; (b) 简化示意图。

穴, 从而使这种半导体中空穴数目显著增加而自由电子数目仍然很少, 主要靠空穴导电, 称为空穴型半导体, 又称 P 型半导体。与 N 型半导体相反, P 型半导体的多子是空穴, 少子是自由电子。

图 1-4(b) 为 P 型半导体结构的简化示意图, 其中 “ $\circ$ ” 表示多数载流子空穴, 可自由运动; “ $\ominus$ ” 代表供出一个带正电的空穴的三价杂质 (硼) 离子, 带负电。负离子和正离子一样, 也不能自由移动, 因而也不是载流子 (图中未画出少数载流子电子)。

不论是P型半导体还是N型半导体，多子的浓度基本上取决于掺杂浓度，少子的浓度则随温度的升高而增加，即决定于热激发。

在一块半导体内，既含有五价杂质又含有三价杂质时，如果五价杂质比三价杂质多，为N型半导体；反之，三价杂质比五价杂质多，则为P型半导体。根据这个道理，可以在一块N型半导体的一部分中加入适量的三价杂质，制成一小块P型半导体。这样，在一块半导体内将具有两种不同的类型——P型和N型两部分。

二、PN结及其单向导电性

当一整块半导体的一部分是P型，另一部分是N型时，在P区和N区的交界处就形成一个特殊的薄层，称为PN结，又叫阻挡层或耗尽层或空间电荷区，如图1-5所示。它是构成各种半导体器件的基础。

PN结形成的原理是这样：由于P区的空穴浓度大于N区，N区的自由电子（以下简称电子）浓度大于P区，因此在P区和N区的交界面附近，将发生多数载流子向对方区域扩散运动。P区的空穴扩散到N区去，使交界面附近的P区留下不可动的负离子；N区的电子扩散到P区去，使交界面附近的N区留下不可动的正离子。这样，在交界面的两侧，便形成了一个载流子极少的空间电荷层，它产生一个由N区指向P区的电场，叫做内电场，如图1-5中所示。显然，内电场的作用是阻止多子继续扩散，却推动少子（P区电子和N区空穴，图1-5中未画出）向对方区域漂移（一般把载流子在电场作用下的运动称为漂移运动，以区别于由浓度不均匀分布而引起的扩散运动）。随着扩散的进行，空间电荷层逐渐加宽，内电场愈来愈强，扩散运动逐渐减弱而漂移运动却愈来愈强。当二者达到动态平衡后，交界面通过的净电流为零，空间电荷层不再加宽，PN结处于相对稳定状态。

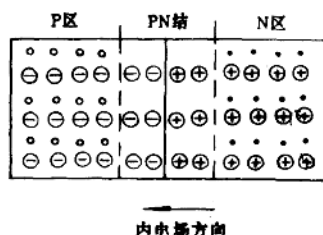


图1-5 PN结

以上是PN结无外加电压时的情况，实际工作中PN结总有外加电压，当外电压极性不同时，将出现两种不同的情况：

图1-6(a)为PN结外加正向电压（称为正向偏置，简称正偏），即外电压正极接P区，

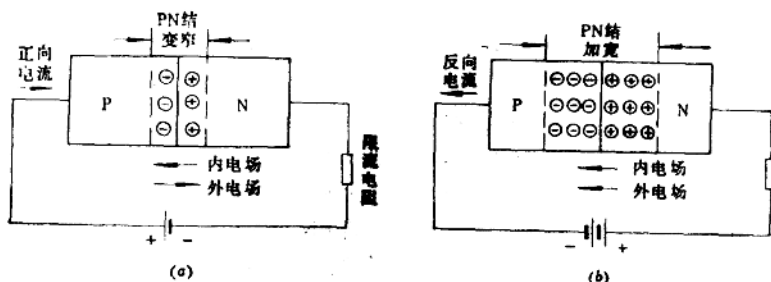


图1-6 PN结外加电压

(a) 加正向电压，导通；(b) 加反向电压，截止。

负极接N区。这时外电场与内电场的方向相反，使内电场削弱，空间电荷区变窄，扩散运动超过漂移运动，多子能持续不断地越过PN结，形成较大的正向电流，其方向为从P区到N区，PN结表现为一个低电阻，称为PN结导通。

图1-6(b)为PN结外加反向电压（称为反向偏置，简称反偏），即外电压正极接N区，负极接P区。外电场与内电场方向一致，使内电场增强，PN结变宽，多子的扩散运动难于进行，少子的漂移运动却得到加强。因此，P区的少子电子和N区的少子空穴通过PN结，形成了由N区向P区的反向电流。反向电流受温度的影响较大，所以半导体器件的温度特性较差。温度一定时，少子浓度不变，当外加反向电压在一定范围内变化时，反向电流几乎不变，所以反向电流也称为反向饱和电流，其数值一般远远小于正向电流，可以看成PN结反向不导通，即处于截止状态。

综上所述，PN结在正向偏置时导通，反向偏置时截止，这种特性称为PN结的单向导电性。

§ 1-2 晶体二极管

一、晶体二极管的结构

晶体二极管简称二极管，由一个PN结加上电极引线和管壳而构成。图1-7(a)为两种二极管的外形图，图(b)为二极管的表示符号，A为P区的引出线端，称为阳极；K为N区的引出线端，称为阴极。

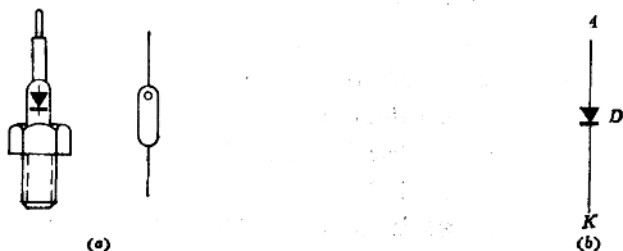


图1-7 晶体二极管
(a) 外形，(b) 表示符号。

按内部结构的不同，二极管可分为面接触型和点接触型两类。

(一) 平面型二极管

如图1-8(a)所示，在一块N型硅片的表面，用氧化方法生成一层二氧化硅薄膜，再用光刻法在二氧化硅层上开出一个“窗口”，通过窗口对N型硅片进行高浓度的硼扩散，使靠近窗口处的N型硅获得足够的硼原子而转变为P型硅，从而形成一个PN结，再加上电极引线和外壳。这种管子属于面接触型，其PN结面积较大，可以通过较大电流（几百毫安至几百安），但结电容大，适用于低频和整流电路。

(二) 点接触型二极管

如图1-8(b)所示，用一根金属丝压在N型硅（或锗）晶片上，采用“电形成”工艺

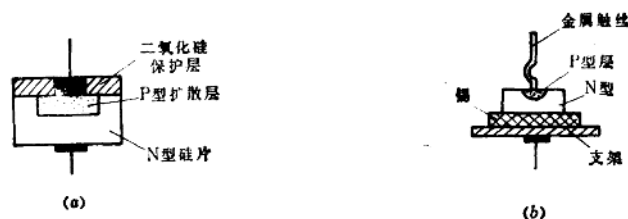


图1-8 晶体二极管构造示意图

(a) 平面型; (b) 点接触型。

(在短时内通过较大电流), 使金属丝上一部分金属原子掺入N型晶体中去, 从而在接触处形成P型区, 构成一个PN结。这种管子的PN结面积小, 允许通过电流小(几十毫安以下), 但结电容小, 适用于高频信号的检波和脉冲电路中。

二极管按所用半导体材料的不同, 分硅管和锗管两种。如2CP型为硅二极管, 2AP型为锗二极管。

二、二极管的伏-安特性

二极管的伏-安特性是指加到管子两端的电压和流过管中电流之间的关系。

二极管属于非线性元件, 其伏-安特性可用测量的方法绘出曲线, 如图1-9所示。

当外加正向电压时, 管中产生电流。但正向电压较小时, 不足以克服内电场对多子扩散的阻力, 正向电流很小, 这个范围称为死区。硅管的死区电压约为0.5V, 锗管约为0.15V。当正向电压超过死区值后, 内电场被显著削弱, 二极管的电阻变小, 电压上升时, 电流便增加得很快。

当外加反向电压时, 管中流过由少子形成的反向电流, 这一电流随反向电压增加而很快达到饱和, 以后反向电压再增加, 反向电流基本不变。当反向电压继续增加到一定数值时, 过强的外电场破坏共价键而把价电子强行拉出, 使少子数目急剧上升; 强电场也可以引起电子与原子碰撞, 产生大量的电子和空穴, 使反向电流剧增。这种现象称为击穿, 击穿时的反向电压称为反向击穿电压。二极管发生反向击穿时, 如在电源回路中串入一限流电阻, 将反向电流限制在容许的范围内, 则PN结不会损坏。当反向电压降低后, 管子仍可以恢复到原来的状态, 这就是电击穿, 其过程是可逆的。电击穿时, 在较大的电流变化范围内, PN结两端电压几乎不变, 利用这一特性可作稳压管。但如果电源回路中无限流电阻或限流电阻太小, 则反向电流将增至很大, 使PN结的温度(它与PN结的反向电压及反向电流的乘积成正比)上升。当超过允许的结温时, PN结将被烧毁, 这就是热击穿, 其过程是不可逆的。

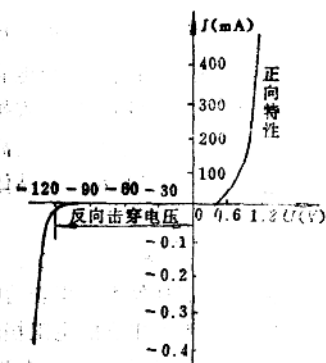


图1-9 硅二极管的典型伏-安特性

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:硅管正向导通时的压降较大,一般为 $0.6\sim 0.8\text{V}$,反向饱和电流较小,一般为几微安至几十微安;锗管的正向导通压降较小,一般为 $0.2\sim 0.3\text{V}$,其热激发比硅管容易,少子较多,反向电流比硅管大。

三、二极管的主要参数

二极管的参数是用来表征二极管的性能及其适用范围的一些数据,是正确选择和使用二极管的主要依据。

(一) 最大整流电流

指二极管应用于纯电阻负载的半波整流电路中,在规定的散热条件下长期运行时,允许通过的最大正向平均电流。使用时应注意通过管子的平均电流不能大于这个数值,否则将会使管子的结温超过允许值而损坏。

(二) 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的一半,定义为最高反向工作电压。使用时,施加在管子上的反向电压不得超过这个数值,以防止因反向电压过高而引起反向电流剧增,破坏二极管的单向导电性,甚至使管子温度过高而损坏。

(三) 反向电流

指最高反向工作电压时管子的电流。反向电流愈小,管子的单向导电性愈好。温度对反向电流的影响较大,使用时要注意。

(四) 最高工作频率

二极管具有结电容效应,即当外加电压改变时,PN结的宽窄随之而变,亦即空间电荷区的电荷量随之而变,呈现电容效应。结电容限制了二极管的工作频率。因为外加电压的频率过高时,高频电流将直接从结电容通过,这样就破坏了二极管的单向导电性。所以,每个二极管都规定有一个最高工作频率。

书后附录二列出了几种国产晶体二极管的参数。管子型号的文字符号含义可参看附录一。

*

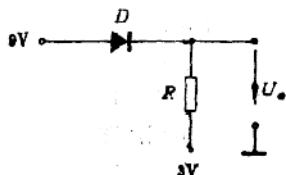
*

*

思考题1-1 怎样使用万用表的电阻档来判断二极管的正(阳)、负(阴)极与好坏?

思考题1-2 用万用表的电阻档测二极管的反向电阻时,为了使万用表的测试棒与管子的引出线之间电接触好些,在测试时有人用两手分别把接触处捏紧,测出的反向电阻值却不准,数值偏低,为什么?测正向电阻时如果也用两手分别捏紧,测出值却误差并不大,为什么?

例题1-1 在例题1-1图中,设 D 为硅二极管,求 $U_o=?$



例题1-1图

解 由于二极管 D 承受正向电压导通

$$\therefore U_o = 9 - 0.7 = 8.3 \text{ V}$$

若忽略管子的正向压降, 则

$$U_o = 9 \text{ V}$$

*

*

*

§ 1-3 单相整流和滤波电路

各种电子电路一般都需要直流电源来供电, 一些电气设备和生产过程 (如直流电动机和电磁工作台、电解和电镀等), 也只有在直流供电时才能工作。但是, 电网供给的都是 50Hz 交流电。利用二极管构成的整流电路, 可以将交流电变成脉动直流, 再通过滤波器加以滤波, 便得到平直的直流电。

在讨论整流电路时, 为了使问题简化, 常假定整流二极管为理想二极管, 即管子受正向电压作用导通时, 认为它的内电阻为零 (即不考虑管子的正向压降); 当管子受反向电压作用截止时, 认为它的内电阻为无穷大 (即不考虑它的反向电流)。这样假定与实际情况很接近, 不影响对实际问题的讨论和分析。

一、单相半波整流和电容滤波电路

(一) 单相半波整流电路 (图1-10)

电路如图1-10(a)所示, 交流电源电压 u_1 (一般为220V, 50Hz的正弦交流电) 接于电源变压器的原绕组, 副绕组感应出交流电压 u_2 , 经二极管 D 接于负载电阻 R_L 。设

$$u_2 = U_{2m} \sin \omega t = \sqrt{2} U_2 \sin \omega t$$

波形如图1-10(b)中所示。

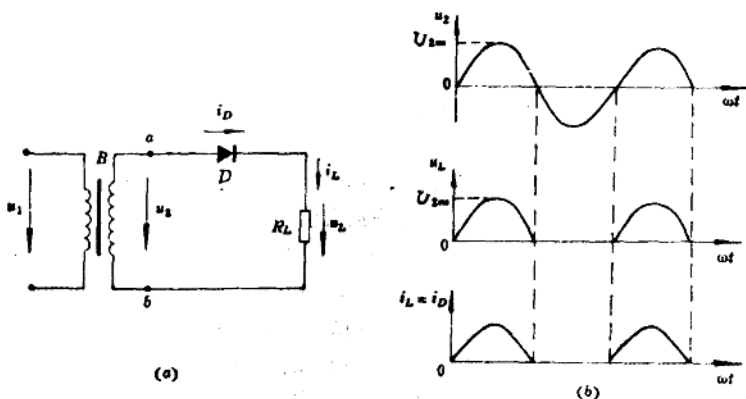


图1-10 单相半波整流电路

(a) 电路图; (b) 工作波形。

当 u_2 为正半周时, a 端为正, b 端为负, 二极管在正向电压作用下导通, 有电流流过负载 R_L ; u_2 为负半周时, a 端负 b 端正, 二极管在反向电压作用下截止, 负载电流为零。所

以, 由于二极管的单向导电性, 负载 R_L 可得到单一方向的带纹波的直流电, 如图 1-10 (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。

负载电压、电流的直流分量 (即平均值) 为

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

$$I_L = \frac{U_L}{R_L} \quad (1-2)$$

在 u_2 的正半周 ($0 \sim \pi$), $u_L = u_2$; 在 u_2 的负半周, $u_L = 0$, 故

$$U_L = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t \cdot d\omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.45 U_2 \quad (1-3)$$

$$I_L = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \frac{U_2}{R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L} \quad (1-4)$$

(二) 具有电容滤波的单相半波整流电路

交流电经整流后, 负载上得到方向不变的直流电, 但不平直, 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 1-11 (a) 所示, 图 (b) 为电路的工作波形。

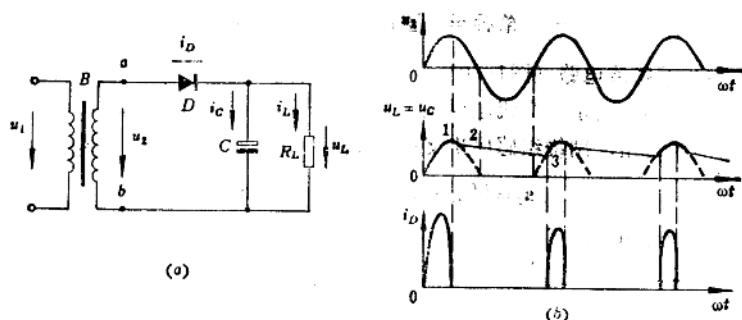


图 1-11 具有电容滤波的单相半波整流电路

(a) 电路图; (b) 工作波形。

从图中可以看到, 在 u_2 正半周二极管导电期间, 电源向负载供电, 同时向电容 C 充电, $u_2 = u_C (= u_L)$ 。所以当电源电压 u_2 上升到最大值时, 电容两端电压 u_C (即负载电压 u_L) 也跟着按正弦规律充到最大值, 如图 1-11 (b) 中的 1 点。以后 u_2 按正弦规律下降, 电容 C 则向负载 R_L 放电。在 1~2 这一段期间, 由于 u_2 下降得比较慢, 使二极管仍维持正向电压而导通, 因此电容器两端电压 u_C 依然受 u_2 的约束, 按正弦规律减小。过了 2 点, u_2 下降得比较快了, 使 $u_2 < u_C$, 则二极管受反向电压而截止, 电容器单独向负载放电, u_C 按指数规律减小, 一直到图中 3 点为止, 放电时间常数为 $R_L C$ 。也就是说, 在 2~3 期间, 负载 R_L 的电压电流是靠电容 C 放电来维持的。当过了 3 点, $u_2 > u_C$, 二极管又承受正向电压导通, 电源又向 C 充电。如此重复进行, 便得到图 1-11 (b) 中 u_L 的波形。

由以上可见, 加上滤波电容后, 负载上直流电压的波动减小了, 变得比较平直, 而

且直流电压的平均值 U_L 也提高了。在空载 ($R_L = \infty$) 情况下, 当电容器上电压充到 u_2 最大值后, 由于没有放电回路, u_c 将维持在这个数值不变, 这时负载电压完全平直, 其平均值 $U_L = \sqrt{2} U_2$ 。实际上, 整流电路输出端总接有负载 R_L , 当负载电流较大 (即 R_L 较小) 时, 放电时间常数 $R_L C$ 较小, u_c 的曲线衰减较快, 故平均值 U_L 也将降低。也就是说, U_L 的大小受负载变化的影响比较大, 这是电容滤波的一个主要缺点。

输出直流电压平均值通常按下式估算

$$U_L \approx U_2 \quad (1-5)$$

有电容滤波时, 二极管导通时间小于交流电的半个周期, 管子电流 i_D 为图1-11(b) 中所示的周期性脉冲波, 其平均值等于负载电流平均值, 即

$$I_D = I_L = \frac{U_L}{R_L} = \frac{U_2}{R_L} \quad (1-6)$$

考虑到 i_D 的脉冲性, 选二极管时, 管子的最大整流电流定额应取得比式(1-6)的值要大些。最好采用硅管, 它比锗管更经得起脉冲过电流的冲击。

另外, 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, 使管子上受到的最大反向电压为

$$U_{RM} \approx 2 U_{2m} = 2 \sqrt{2} U_2 \quad (1-7)$$

因此, 二极管的最大反向电压定额应选得大于此值, 否则二极管可能被击穿。

二、单相桥式整流和电容滤波电路

电路如图1-12(a)所示, 用四个二极管组成, 电源变压器副绕组接于两对角点 a 、 b , 负载接于另两对角点。图1-12(b)为单相桥式整流电路的另一种画法, 图(c)为简化表示法。

先讨论不加滤波电容 C 的情况;

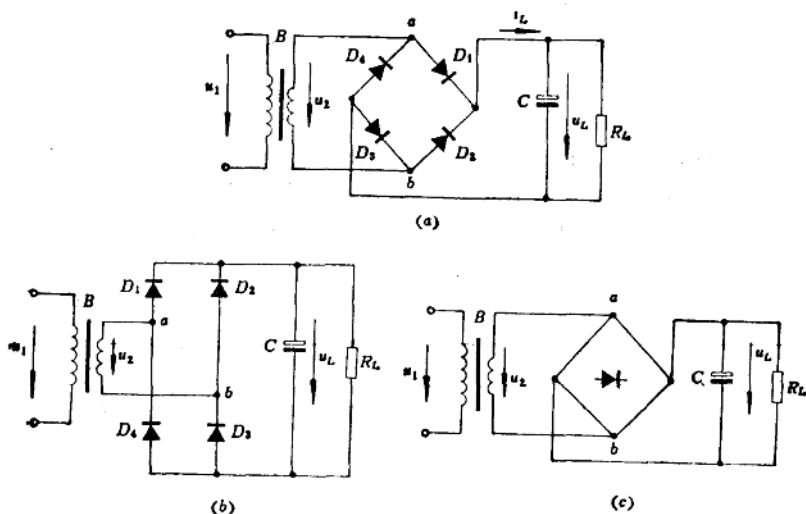


图1-12 具有电容滤波的单相桥式整流电路
(a)、(b) 电路的两种不同表示法; (c) 简化表示法。