



银领工程系列

电子技术

高 嵩 主 编
赵会军 副主编



高等教育出版社
Higher Education Press

内容提要

本书以电路功能为核心,围绕电路结构、器件作用展开,辅以一些基本分析计算来说明电子技术的基本知识及实际应用。目标是使学习者能基本达到工程实用程度(会看简单电路图、能模仿组成一个需要的简单电路)。按电路的功能组成本书划分为6章:直流稳压电源、交流放大电路、运算放大器、基本数字电路、模拟数字混合电路、电力电子技术。各章节重点介绍组成该部分电路的元件,这些元件组成的基本典型电路及电路实现的目标。辅以一些计算来说明电路参数与元件参数间的关系,目的是使学习者了解元件的哪些参数对电路有什么样的影响,会产生什么样的结果。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校非电类专业相应学时的教材,也可作为电工电子技术培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/高嵩主编. —北京:高等教育出版社,
2006.11

ISBN 7-04-020186-0

I. 电... II. 高... III. 电子技术-高等学校:
技术学校-教材 IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第116078号

策划编辑 孙 杰 责任编辑 唐笑慧 封面设计 王凌波 责任绘图 黄建英
版式设计 陆瑞红 责任校对 王 超 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京鑫海金澳胶印有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 12.5
字 数 300 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2006年11月第1版
印 次 2006年11月第1次印刷
定 价 14.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 20186-00

出版说明

为了认真贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》，落实《2003—2007 年教育振兴行动计划》，缓解国内劳动力市场技能型人才紧缺现状，为我国走新型工业化道路服务，自 2001 年 10 月以来，教育部在永州、武汉和无锡连续三次召开全国高等职业教育产学研经验交流会，明确了高等职业教育要“以服务为宗旨，以就业为导向，走产学研结合的发展道路”，同时明确了高等职业教育的主要任务是培养高技能人才。这类人才，既要能动脑，更要能动手，他们既不是白领，也不是蓝领，而是应用型白领，是“银领”。从而为我国高等职业教育的进一步发展指明了方向。

培养目标的变化直接带来了高等职业教育办学宗旨、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面的改变。与之相应，也产生了若干值得关注与研究的新课题。对此，我们组织有关高等职业院校进行了多次探讨，并从中遴选出一些较为成熟的成果，组织编写了“银领工程”丛书。本丛书围绕培养符合社会主义市场经济和全面建设小康社会发展要求的“银领”人才的这一宗旨，结合最新的教改成果，反映了最新的职业教育工作思路和发展方向，有益于固化并更好地推广这些经验和成果，很值得广大高等职业院校借鉴。我们的这一想法和做法也得到了教育部领导的肯定，教育部副部长吴启迪专门为首批“银领工程”丛书提笔作序。

我社出版的高等职业教育各专业领域技能型人才培养培训工程系列教材也将陆续纳入“银领工程”丛书系列。

“银领工程”丛书适合于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2006 年 3 月

前 言

本书是从高等职业技术学院培养应用型技术人才的目标出发,以非电类专业技术人员在工程中实际应用电子技术的要求为依据组织编写的。本书采用模块化结构,每个模块为一章。从电子电路基本结构出发,将电路划分成直流稳压电源、交流模拟信号放大、直流模拟信号放大、数字信号基本处理、模拟与数字混合信号变换电路等五个基本模块。为了适应机械类等专业的需要还设置了电力电子技术及应用模块。各个模块从应用的角度出发,首先介绍构成该模块的主要元器件及模块的基本组成、器件在模块中的作用及模块在电路中承担的功能。为了体现职业技术教育的原则,本书在保证内容够用的前提下,对器件内部电路和机理一般不做精细描述,重点介绍外部特性及使用方法;避免复杂公式的推导;电路以定性分析为主,为了联系实际,各模块均列举了在工程上应用的实例。为了便于教学和自学,本书编写层次按教学程序安排,每章前面有内容提要,结尾有小结和习题。本书力求做到语言通顺、深入浅出、通俗易懂。

本书参考学时为 50~70 学时,其中实验为 10~16 学时。

参与本书编写的有:承德石油高等专科学校高嵩(第 1 章、第 2 章)、赵会军(第 3 章、第 5 章)、曹登场(第 4 章、第 6 章)。其中,高嵩担任主编,赵会军担任副主编。

本书由承德石油高等专科学校廖先芸教授主审。

本书在编写过程中还得到了许多学校老师的大力支持和帮助,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中难免存在有错误和不妥之处,殷切希望使用本书的师生和广大读者提出批评和修改意见。

编 者

2006 年 6 月

目 录

第 1 章 直流稳压电源	1	内容提要	34
内容提要	1	2.1 晶体管	35
1.1 半导体的基本知识	1	2.1.1 晶体管的基本结构	35
1.1.1 半导体的导电特征	2	2.1.2 电流分配和电流放大作用	36
1.1.2 N 型半导体和 P 型半导体	3	2.1.3 特性曲线	38
1.2 PN 结	4	2.1.4 主要参数	39
1.2.1 PN 结的形成	4	2.2 基本放大电路	40
1.2.2 PN 结的单向导电性	5	2.2.1 基本放大电路的组成及各元件的 作用	40
1.3 半导体二极管	6	2.2.2 放大电路的静态分析	42
1.3.1 二极管的结构	6	2.2.3 放大电路的动态分析	42
1.3.2 二极管的伏安特性	6	2.2.4 静态工作点的设置与稳定	47
1.3.3 二极管的主要参数	7	2.2.5 发射极电阻及信号源内阻对放大器 性能的影响	51
1.4 二极管的一项重要应用——整流	8	2.3 射极输出器	53
1.4.1 单相半波整流电路	8	2.3.1 射极输出器静态工作点的计算	53
1.4.2 单相桥式整流电路	10	2.3.2 射极输出器动态分析计算	54
1.5 稳压二极管	13	2.4 阻容耦合多级放大电路	55
1.5.1 稳压二极管的伏安特性	13	2.5 场效应管放大电路	58
1.5.2 稳压二极管的主要参数	13	2.5.1 绝缘栅场效应管	59
1.5.3 稳压二极管的应用	14	2.5.2 场效应管放大电路	62
1.6 三端集成稳压器	16	2.6 功率放大器	64
1.6.1 三端集成稳压器的分类	16	2.6.1 功率放大电路的作用及基本要求	64
1.6.2 集成稳压器的主要参数	17	2.6.2 互补对称功率放大电路	66
1.6.3 W78 × ×、W79 × × 系列集成稳压器 的使用方法	18	2.6.3 集成功率放大器	69
1.7 常用的整流组合元件	20	本章小结	70
1.8 直流稳压电源	22	习题	70
1.8.1 电容滤波电路	22	第 2 章 运算放大器	75
1.8.2 电感滤波电路	26	内容提要	75
1.8.3 直流稳压电源	26	3.1 集成运算放大器	76
本章小结	29	3.1.1 集成运算放大器的基本组成	76
习题	30	3.1.2 集成运算放大器的主要参数	77
第 2 章 交流放大电路	34		

3.2 放大电路中的负反馈	79	本章小结	134
3.2.1 反馈的基本概念	79	习题	135
3.2.2 负反馈的基本类型	79		
3.2.3 反馈类型的判断	80	第 5 章 模拟数字混合电路	139
3.2.4 负反馈对放大电路性能的影响	82	内容提要	139
3.3 理想集成运算放大器的分析方法	83	5.1 D/A 转换器	139
3.3.1 理想的运算放大器	83	5.1.1 D/A 转换器的基本原理及分类	139
3.3.2 反相输入运算电路的分析方法	85	5.1.2 D/A 转换器的主要指标	141
3.3.3 同相输入运算电路的分析方法	88	5.1.3 D/A 集成电路介绍	141
3.3.4 差分输入运算电路的分析方法	91	5.2 A/D 转换器	143
3.3.5 精密放大电路	92	5.2.1 逐次逼近式 A/D 转换器原理	143
3.3.6 非线性电路的分析方法	93	5.2.2 双积分式 A/D 转换器原理	144
3.4 集成运算放大器使用中应注意的 问题	98	5.2.3 A/D 转换器的主要指标	145
3.4.1 合理选用集成运算放大器的型号	98	5.2.4 实用的 A/D 转换器	145
3.4.2 集成运算放大器的消振和调零	98	5.3 555 电路及其应用	149
3.4.3 集成运算放大器的保护措施	99	5.3.1 555 电路的工作原理	149
本章小结	100	5.3.2 555 电路的应用实例	150
习题	100	本章小结	154
		习题	154
第 4 章 基本数字电路	104		
内容提要	104	第 6 章 电力电子技术	156
4.1 逻辑门电路	104	内容提要	156
4.1.1 数制与编码	104	6.1 电力电子器件	157
4.1.2 逻辑代数及应用	107	6.1.1 晶闸管(SCR)	157
4.1.3 晶体管的开关作用	111	6.1.2 其他类型的晶闸管	162
4.1.4 基本逻辑门电路	112	6.2 晶闸管单相可控整流电路	163
4.1.5 TTL 门电路	114	6.3 单结晶体管触发电路	165
4.2 组合逻辑电路	116	6.3.1 单结晶体管	166
4.2.1 组合逻辑电路的分析方法	116	6.3.2 单结晶体管多谐振荡电路及单结晶 体管触发电路	167
4.2.2 组合逻辑电路的设计	117	6.4 晶闸管应用举例	169
4.2.3 中规模组合逻辑电路的应用	119	6.4.1 电扇自动开关	169
4.3 触发器	124	6.4.2 灯光自动调节电路	170
4.3.1 基本 RS 触发器	124	6.5 直流-交流逆变电路	171
4.3.2 可控 RS 触发器	126	6.5.1 有源逆变电路产生逆变的条件	171
4.3.3 JK 触发器	128	6.5.2 具有反电动势负载的三相半波可控 整流电路	172
4.3.4 D 触发器	129	6.5.3 三相半波逆变电路	173
4.4 时序逻辑电路	130	6.5.4 有源逆变的应用	174
4.4.1 寄存器	130		
4.4.2 计数器	132		

6.6 交流-交流变频电路	175	习题	181
6.7 交流调压电路	177		
6.7.1 相位控制交流调压电路	177	附录	183
6.7.2 通断控制交流调压电路	178	附录1 半导体器件命名方法	183
6.7.3 脉宽控制交流调压电路	178	附录2 常用半导体器件的参数	184
6.8 晶闸管的保护	179		
6.8.1 晶闸管的过电流保护	179	参考文献	189
6.8.2 晶闸管的过电压保护	180		
本章小结	181		

第 1 章

直流稳压电源

内 容 提 要

本章首先介绍常用纯净半导体和杂质半导体的导电性,及由两种杂质半导体构成的 PN 结的导电性,从结构、工作原理和伏安特性等方面,介绍半导体二极管;然后介绍二极管的一项重要应用——整流;最后介绍由交流电变换成直流电所需要的各种基本电路组成和工作原理,包括由交流变换成直流的整流电路、减小整流后电压脉动成分的滤波电路、克服由于电源电压和负载阻抗波动使输出电压波动的稳压电路,并从实用的角度介绍目前该类电路中常用的三端稳压器。

1.1 半导体的基本知识

电子电路中常用的半导体器件有二极管、晶体管、运算放大器等,它们都是由半导体材料制成的。为了掌握各种器件的结构和工作原理,应首先了解有关半导体的特性。

自然界中不同的物质,由于原子结构不同,其导电能力各不相同。根据导电能力的强弱,可以把物质分成导体、半导体和绝缘体。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间。现代电子产品中用得最多的半导体材料是硅(Si)和锗(Ge),它们都是四价元素,即最外层轨道上的电子都是4个。

当硅和锗半导体材料被制成晶体时,其原子排列就由杂乱无章的状态变成非常整齐的状态。

每个原子最外层的4个价电子,不仅受自身原子核的束缚,而且还与相邻的4个原子发生联系。每两个相邻的原子都有一对共有的价电子,形成共价键,共价键结构使原子最外层的电子数达到八个,满足了稳定条件。图1.1.1所示为硅单晶体的共价键结构。

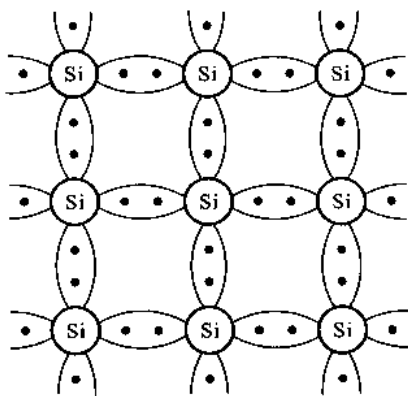


图 1.1.1 硅单晶体的共价键结构

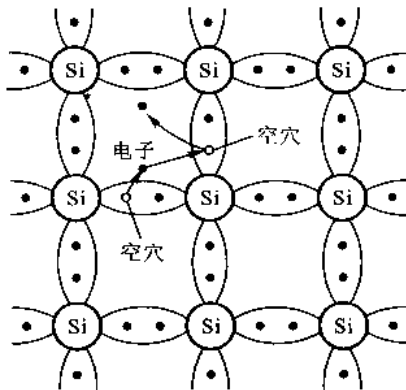


图 1.1.2 空穴形成过程

1.1.1 半导体的导电特征

处于共价键结构的价电子,在一定的温度下,由于热运动,其中有的电子可能获得一定能量后挣脱原子核的束缚(电子受到激发),成为自由电子。温度越高,晶体中产生的自由电子便越多。在电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后,共价键中就留下一个空位,称为空穴,如图1.1.2所示。在一般情况下,原子是中性的。当电子挣脱共价键的束缚成为自由电子后,原子的中性便被破坏,而显出正电性。中性的原子因失去一个电子而带正电,同时形成了一个空穴,故也可以认为空穴带正电。有空穴的原子可以吸引相邻原子中的价电子填补这个空穴(递补空穴),同时在这个相邻原子中出现另一个空穴。如此继续下去,就如同一个空穴在运动。打个通俗的比喻,好比大家坐在剧场里看节目,如果前面走了一个人,就出现一个空位,于是坐在后面的观众就喜欢向前坐,这样,就出现了人们依次填补空位而向前坐的情况,看起来就好像空位子向后运动。显然,这种空位的移动同没有座位的人到处走动不一样,后者好比自由电子的运动,而前者则好比空穴的运动。这种由热运动形成的自由电子和空穴是成对出现的,自由电子在运动的过程中由于失去能量可能被具有空穴的原子俘获,也就是说在晶体内部这种自由电子-空穴对在不断地出现又在不断地复合,这种出现和复合在一定的外界条件下将达到动态平衡。晶体内部自由电子-空穴对的数量多少取决于外界条件,外界温度越高或光照越强,晶体内部的自由电子-空穴对的数量就越多。

当在半导体两端加上外电压时,半导体中的自由电子和空穴都将定向移动,它们的定向移动在晶体内部将出现两种类型的电流:一是自由电子作定向运动所形成的电子电流;二是价电子递补空穴运动所形成的空穴电流。所以在半导体中,不仅有电子载流子,还有空穴载流子,这是半导体导电的一个重要特征,也是半导体和金属导体在导电机理上的本质区别。由上述分析已知外界温度光照变化将影响半导体内部载流子的数量,因此温度越高或光照越强,半导体的导电能

力就越强。

上面的分析都是对纯净单晶体来讲的。这种纯净单晶体就是不含其他杂质的半导体,称为本征半导体。在常温下,本征半导体中虽然存在着电子、空穴载流子,但数目很少,因此导电性能很差。如果在本征半导体中掺入微量的某种杂质后,其导电能力就可增加几十万乃至几百万倍。利用半导体的这种特性就可做成各种不同用途的半导体器件,如半导体二极管、晶体管及运算放大器等。

1.1.2 N 型半导体和 P 型半导体

在本征半导体中有控制有选择地掺入微量的有用杂质,就能制成具有特定导电性能的杂质半导体,下面就来讨论两种常用的杂质半导体。

一、N 型半导体

在本征半导体硅(或锗)中掺入微量的五价元素,例如磷(P),由于掺入的数量极少,所以本征半导体的晶体结构不会改变,只是晶体结构中某些位置上的硅原子被磷原子取代,当这些磷原子与相邻的4个硅原子组成共价键时,将多余一个电子,如图1.1.3所示。多余的一个电子在获得外界能量时,比其他价键上的电子更容易脱离原子核的束缚而成为自由电子。所以在这种半导体中有更多的自由电子,这就显著提高了其导电能力。而这些电子脱离原子核的束缚成为自由电子后,并不能形成共价键上的空穴,但共价键上的电子在获得能量后仍然要脱离原子核的束缚成为自由电子-空穴对。由于这种半导体中自由电子的数量多,所以空穴被复合掉的机会就多,在同样外界条件下这种半导体中的电子载流子数量远大于本征半导体,而空穴数量小于本征半导体,所以这种半导体以自由电子导电为主,称其为电子导电型半导体,简称N型半导体。在N型半导体中,自由电子为多数载流子,空穴为少数载流子。

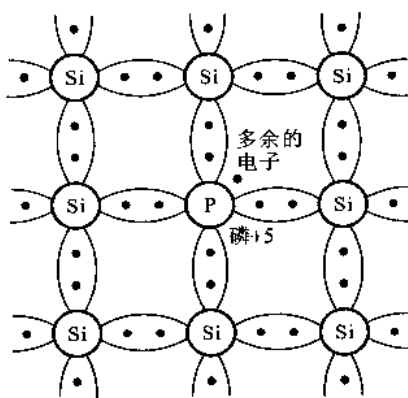


图 1.1.3 N 型半导体

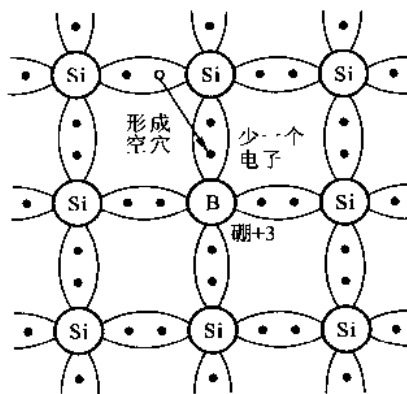


图 1.1.4 P 型半导体

二、P 型半导体

在本征半导体中掺入微量的三价元素,例如硼(B),由于掺入的数量极少所以不会改变硅的晶体结构,只是晶体结构中某些位置上的硅原子被硼原子取代,当这些原子与相邻的4个硅原子组成共价键时,将少一个电子,如图1.1.4所示。由于缺少一个电子就构不成最外层轨道上有8

个电子这种稳定状态。为了达到最稳定状态就要夺取相邻原子的电子,当其夺得相邻原子的电子后自己就达到了稳定结构,但是相邻原子由于失去电子就形成了空穴。所以在同样外界条件下这种半导体中有大量的空穴。同理,由于热激发也要产生自由电子-空穴对。由于这种半导体中空穴数量很多,所以自由电子被复合的机会多。在同样外界条件下这种半导体中的空穴载流子数量远大于本征半导体,所以称其为空穴导电型半导体,简称P型半导体。在P型半导体中,空穴为多数载流子,自由电子为少数载流子。

1.2 PN 结

P型或N型半导体的导电能力虽然比本征半导体大大增强,但仅用其一种材料并不能直接制成半导体器件。通常是在一块晶片上,采取一定的掺杂工艺措施,在两边分别形成P型半导体和N型半导体,在两者的交界处就形成一种特殊的薄层,这种薄层就称为PN结。PN结是构成各种半导体器件的基础。PN结具有什么特性呢?如果在电源和灯泡所组成的电路中,接入一个PN结,如图1.2.1(a)所示,电源正极与P型半导体连接,灯泡亮,说明通过PN结的电流较大。如果调换电源极性,如图1.2.1(b)所示,电源正极与N型半导体连接,此时灯泡不亮,说明通过PN结的电流很小或没有电流通过PN结。这说明PN结具有单向导电的特性。PN结之所以具有这样的特性,是由它的内部结构所决定的。

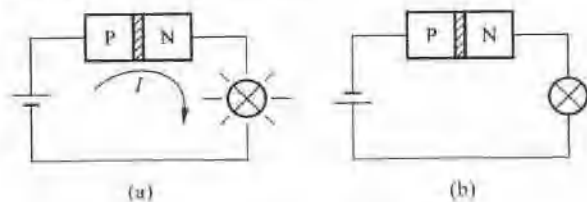


图 1.2.1 PN 结的单向导电特性

1.2.1 PN 结的形成

图1.2.2所示的是一块晶片(硅或锗),两边分别形成P型和N型半导体。图中“ $\ominus$ ”代表得到一个电子的三价杂质(例如硼)离子,“ $\oplus$ ”代表失去一个电子的五价杂质(例如磷)离子。由于P型半导体中有大量的空穴和少量的电子,N型半导体中有大量的电子和少量的空穴,浓度相差很大。因此空穴要向N区扩散,自由电子也要向P区扩散(所谓扩散就是物质从浓度大的地方向浓度小的地方运动),如图1.2.2(a)所示。扩散的结果在P区中靠近交界面的一边出现一层带负电荷的粒子区,在N区中靠近交界面的一边出现一层带正电荷的粒子区。于是,在交界面附近形成一个空间电荷区,这个空间电荷区就是PN结,如图1.2.2(b)所示。

正负电荷在交界面两侧形成一个内电场,方向由N区指向P区。内电场对多数载流子的扩散运动起阻挡作用,但对少数载流子(P区的自由电子和N区的空穴)则推动它们越过PN结,进入对方。这种少数载流子在内电场作用下有规则的运动称为漂移运动。

扩散运动和漂移运动是互相联系,又是互相矛盾的。开始时扩散运动占优势。随着扩散运动的进行,内电场逐步加强。内电场的加强使扩散运动逐步减弱,漂移运动逐渐加强。最后,扩

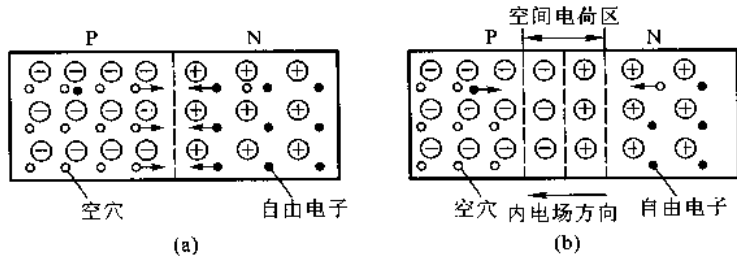


图 1.2.2 PN 结

散运动和漂移运动达到动态平衡,这时,空间电荷区的宽度基本上稳定下来,如果外界条件不变化就保持这种状态,但如果外界条件发生变化则空间电荷区的宽度也随之变化而达到一种新的平衡状态。

1.2.2 PN 结的单向导电性

PN 结在无外加电压的情况下,扩散运动和漂移运动处于动态平衡。如果给 PN 结加上一个外部电压,情况会怎么样呢? 当给 PN 结加正向电压,即外电源的正极接 P 区,负极接 N 区,如图 1.2.3(a) 所示,这时外加电场与内电场方向相反,于是多数载流子在外加电压的作用下进入空间电荷区使离子数量减少,使 PN 结变窄因而削弱了内电场,这将有利于扩散运动的进行,从而使多数载流子顺利通过 PN 结,形成较大的正向电流。这时,在 PN 结中有大量的载流子运动,所以 PN 结呈低电阻状态。

如果给 PN 结加反向电压,即外电源的正极接 N 区,负极接 P 区,如图 1.2.3(b) 所示。外加电场和内电场方向相同,在外电场的作用下将把多数载流子拉离 PN 结,结果使 PN 结变宽,内电场增强,多数载流子的扩散运动更难以进行。但加强了少数载流子的漂移运动。由于少数载流子数量很少,所以仅能形成很小的反向电流。因为 PN 结中仅有极少的载流子运动,所以 PN 结呈高电阻状态。应当注意,反向电流基本不受外加电压的影响,但受外界条件的影响。因为少数载流子是由热激发产生的,环境温度越高、光照越强,少数载流子数量就越多,反向电流也就越大,所以,温度对反向电流的影响很大。

由以上分析可知,PN 结加正向电压时,有较大的正向电流流过,这种情况称为“导通”。加反向电压时,通过的反向电流很小(工程上常常略去),这种情况称为“截止”。PN 结所具有的这

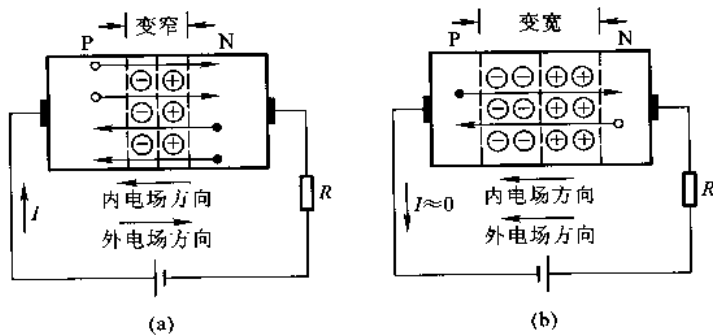


图 1.2.3 PN 结加外电场时的变化情况

种特性称为“单向导电性”。

1.3 半导体二极管

1.3.1 二极管的结构

半导体二极管是由 PN 结加上相应的电极引线和管壳做成的,按结构可分为点接触型二极管和面结合型二极管两种。点接触型二极管的结构如图 1.3.1(a)所示。它的特点是 PN 结的面积非常小,因此不能通过较大电流,但高频性能好,故适用于高频和小功率工作,一般用于检波或脉冲电路。

面结合型二极管的结构如图 1.3.1(b)所示,它的主要特点是 PN 结的结面积很大,故可通过较大的电流,但工作频率较低,一般用作整流。二极管的符号如图 1.3.1(c)所示。

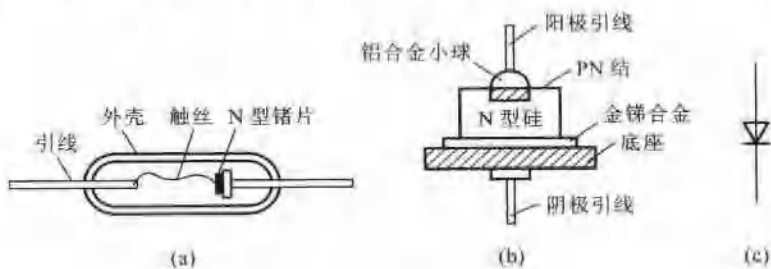


图 1.3.1 二极管的结构和符号

1.3.2 二极管的伏安特性

二极管既然是由 PN 结做成的,那么它一定具有单向导电性。但是,仅仅知道二极管具有单向导电性是不够的,还必须知道二极管电压和电流的关系,也就是它的伏安特性,才能够正确使用它。

测试二极管伏安特性的电路如图 1.3.2 所示。改变可调电阻 R_p 的大小,可以测出不同端电压下流过二极管的电流。把所测数据画在直角坐标图上,就得到二极管的伏安特性曲线,如图 1.3.3 所示。由图可见,当外加正向电压很小时,由于外电场还不能克服内电场对扩散运动的阻力,故正向电流很小,几乎为零。当正向电压超过一定数值后,电流增长很快。这个一定数值的

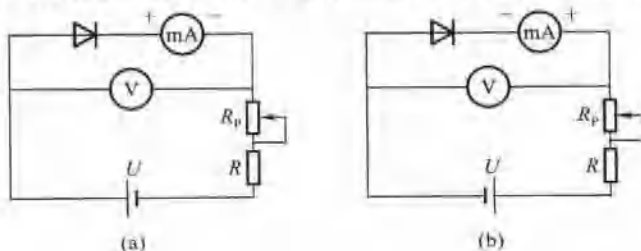


图 1.3.2 测试二极管伏安特性的电路

正向电压称为死区电压,其大小与管子的材料及环境温度有关。一般硅二极管的死区电压约为 0.5 V ,锗二极管的约为 0.2 V 。

在给二极管加反向电压时,如图 1.3.2(b) 所示,由少数载流子的漂移运动形成很小的反向电流。反向电流有两个特点,一是它随温度的上升增长很快;另一特点是只要外加反向电压在一定范围内,反向电流基本上维持一定大小,和反向电压的数值没有关系,因此称其为反向饱和电流。

如果继续增加反向电压的数值,会出现什么情况呢?从实验中见到,反向电压增加到一定数值后,反向电流突然增大,二极管失去单向导电性,这种现象称为击穿。为什么会出现击穿呢?从其微观分析可知,给 PN 结加反向电压,价电子也会从外电场获得能量,当其具有的能量达到一定大小后就要脱离原子核的束缚,成为自由电子。也就是当外电场达到一定大小后在外电场的作用下,把共价键上的电子从其价键上拉了出来,当大量的价电子被从价键上拉出来后,自然使载流子的数量急剧增加,从宏观上表现出来就是反向电流急剧增大。这种在外电场的作用下把共价键上的电子拉出来造成反向电流急剧增大的现象称为齐纳击穿。被从共价键上拉出来的电子因其具有很大的能量,所以在电场中具有很高的速度。这些高速运动的电子会撞击其他的原子并把其能量传递给被撞击原子的价电子,结果使得这些价电子也脱离原子核的束缚,成为高速运动的电子,它们又会去撞击其他原子,这样不断进行下去,就像滚雪球一样自由电子越来越多,这也会使反向电流急剧增大,这种情况称为雪崩击穿。无论是齐纳击穿还是雪崩击穿均不能造成二极管的永久损坏,只要去掉反向电压,二极管仍能恢复正常工作,这种击穿称为电击穿。但是制造二极管的材料总是有一定电阻的,大量高速运动的电子通过二极管,就如同很大的电流通过电阻一样将产生大量的热,这些热量若不能及时散发出去就会造成材料温度升高最后出现化学变化,也就是出现热击穿。一旦出现热击穿,就再也不能恢复原来的性能。产生击穿时的电压称为二极管的反向击穿电压。二极管在使用时如果没有特殊的限流措施,所加的反向电压必须小于击穿电压一定的数值。

用不同材料和不同工艺制造的二极管,它们的伏安特性虽然有差异,但伏安特性曲线的形状却是相似的。

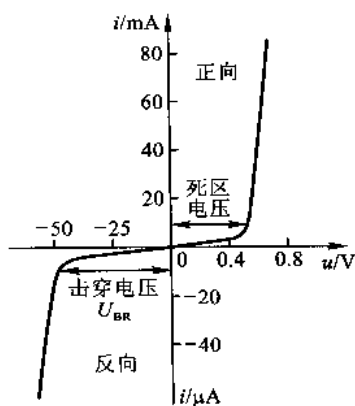


图 1.3.3 二极管的伏安特性曲线

1.3.3 二极管的主要参数

二极管的特性除了用伏安特性曲线表示外,还可以用一些数据来说明,这些数据就是二极管的参数,在工程上必须根据二极管的参数,合理地选择和使用管子,才能充分发挥每个管子的作用。

一、最大整流电流 I_F

最大整流电流是指二极管长期工作允许通过的最大正向平均电流。因为电流通过 PN 结要引起管子发热,电流过大,发热量超过限度就会烧坏 PN 结。所以在使用二极管时,通过管子的正向平均电流不允许超过所规定的最大整流电流值。一般地,点接触型二极管的最大整流电流在几十毫安以下,面结合型二极管的最大整流电流可达数百安培以上,有的甚至可达几千安培

以上。

二、最大反向电压 U_{RM}

最大反向电压是保证二极管不被击穿而给出的最高反向工作电压,通常是反向击穿电压的1/2或2/3,以保证二极管在使用中不致因反向过电压而损坏。点接触型二极管的最大反向电压一般为数十伏以下,面结合型二极管的最大反向电压一般可达数百伏。

三、最大反向电流 I_{RM}

最大反向电流是指给二极管加最大反向电压时的反向电流值。反向电流大,说明管子的单向导电性能差,并且受温度的影响大。硅二极管的反向电流一般在几个微安以下。锗二极管的反向电流较大,为硅二极管的几十到几百倍。

在选用二极管时,要根据管子的参数去选择,既要使管子能得到充分利用,又要保证管子能够安全工作。此外,还要注意通过较大电流的二极管一般都需要加散热器,散热器的面积必须符合要求,否则也会损坏二极管。

1.4 二极管的一项重要应用——整流

利用二极管的单向导电性能可以将正负交替变化的正弦交流电变换成单方向的脉动直流电,这一过程称为整流。能完成这种功能的电路称为整流电路,下面介绍两种常用的整流电路。

1.4.1 单相半波整流电路

图1.4.1所示是单相半波整流电路。它是最简单的整流电路,由整流变压器Tr、整流元件D(晶体二极管)及负载 R_L 组成。(注:当负载需要的电压值与电源能提供的电压值相符合时变压器也可以不用。)

设整流变压器二次侧的电压为

$$u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t \quad (1.1)$$

其波形如图1.4.2(a)所示。由于二极管D具有单向导电性,只有它的阳极电位高于阴极电位时才能导通。在变压器二次侧电压 u_2 的正半周时,其极性为上正下负,即a点的电位高于b点,二极管因承受正向电压而导通。这时负载电阻 R_L 上的电压为 u_0 ,通过的电流为 i_0 。在电压 u_2 的负半周时,a点的电位低于b点,二极管因承受反向电压而截止,负载电阻 R_L 上电压为零。因此,在负载电阻 R_L 上得到的是半波电压 u_0 。二极管导通时正向压降很小,可以忽略不计,因此,可以认为 u_0 这个半波电压和变压器二次侧电压 u_2 的正半波是相同的,如图1.4.2(b)所示。负载电阻上得到的整流电压 u_0 是大小变化的单向脉动直流电压, u_0 的大小常用一个周期的平均值来表示,单相半波整流电压的平均值为

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} \approx 0.45U_2 \quad (1.2)$$

从图1.4.3所示的波形来看,如果使半个正弦波与横轴所包围的面积等于一个矩形的面积,矩形的宽度为周期 T ,则矩形的高度就是这半波的平均值,或者称为半波的直流分量。

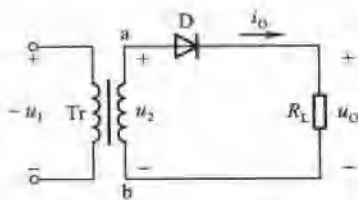


图1.4.1 单相半波整流电路

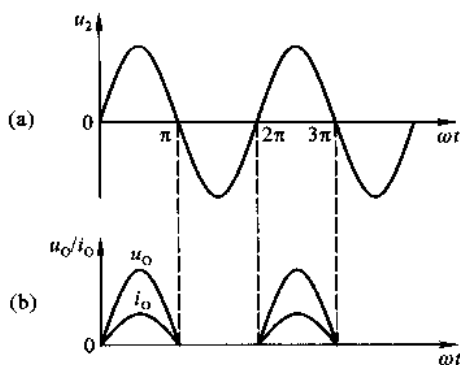


图 1.4.2 电压、电流波形图

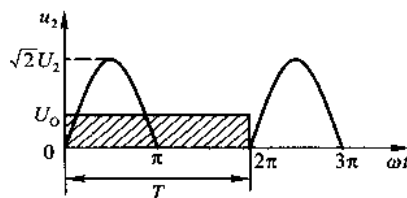


图 1.4.3 电压平均值示意图

式(1.2)表示整流电压平均值与变压器二次侧交流电压有效值之间的关系。由此可得出流过负载电阻 R_L 的整流电流 i_O 的平均值

$$I_O = \frac{U_O}{R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L} \quad (1.3)$$

组成单相半波整流电路时,除根据负载所需要的直流电压(即 U_O)和直流电流(即 I_O)选择整流元件外,还要考虑整流元件截止时所承受的最大反向电压 U_{DRM} 。很显然,单相半波整流电路中二极管截止时承受的最高反向电压就是变压器二次侧交流电压的幅值 U_{2m} ,即

$$U_{\text{DRM}} = U_{2m} = \sqrt{2} U_2 \quad (1.4)$$

变压器二次侧电流 i_2 与整流输出电流 i_O 相同,其有效值 I_2 与整流输出平均电流 I_O 的关系可以利用二者与 I_{2m} 相同的关系求得,因为 $i_2 = I_{2m} \sin \omega t$, 而 $i_O = I_{2m} \sin \omega t$ (在 $0 \sim \pi$ 段), 变压器二次绕组电流有效值为

$$\begin{aligned} I_2 &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_2^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (I_{2m} \sin \omega t)^2 d(\omega t)} \\ &= I_{2m} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right) d(\omega t)} = \frac{I_{2m}}{2} \end{aligned}$$

由上式可见变压器二次绕组的电流不是正弦电流。

负载电流的平均值为

$$I_O = \frac{1}{T} \int_0^T i_O dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi I_{2m} \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_{2m}}{\pi}$$

所以

$$I_2 = \frac{\pi}{2} I_O = 1.57 I_O \quad (1.5)$$

例 1.4.1 有一单相半波整流电路接到电压为 220 V 的正弦工频交流电源上,如图 1.4.1 所示,已知负载电阻 $R_L = 75 \Omega$, 变压器二次侧电压有效值 $U_2 = 20 \text{ V}$, 试求 U_O 、 I_O 及 U_{DRM} 、 I_2 , 并选用二极管和变压器, 不考虑变压器的损耗。

解:

$$\begin{aligned} U_O &= 0.45 U_2 = 0.45 \times 20 \text{ V} = 9 \text{ V} \\ I_O &= \frac{U_O}{R_L} = 0.45 \frac{U_2}{R_L} = \frac{9}{75} \text{ A} = 120 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$U_{\text{DRM}} = U_{2\text{m}} = \sqrt{2}U_2 = 20\sqrt{2} \text{ V} \approx 28.8 \text{ V}$$

$$I_2 = 1.57I_0 = 1.57 \times 12 \text{ mA} = 18.84 \text{ mA}$$

查附录2,二极管选用2CP11(100 mA, 50 V)。为了使用安全,二极管的反向工作峰值电压要选得比 U_{DRM} 大一倍左右。

$$\text{变压器的变比为} \quad K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{20} = 11$$

$$\text{变压器的容量为} \quad S = U_2 I_2 = 20 \times 0.01884 \text{ V} \cdot \text{A} = 0.38 \text{ V} \cdot \text{A}$$

1.4.2 单相桥式整流电路

单相半波整流电路使用元件少,电路简单,它的缺点是只利用了电源电压的半个周期,整流输出电压的脉动较大,变压器存在单向磁化等问题。为了克服这些缺点,多采用单相桥式整流电路。它由4个二极管接成电桥形式构成。图1.4.4所示的是桥式整流电路的几种画法。

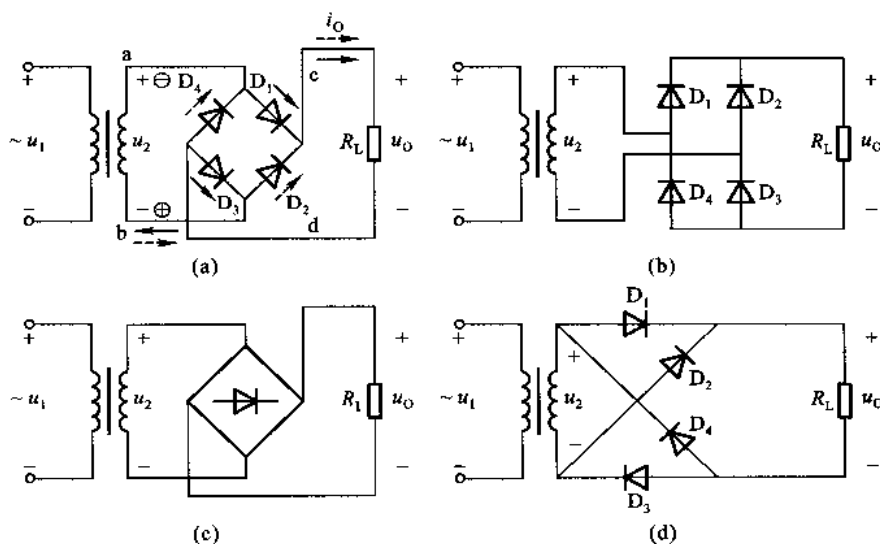


图 1.4.4 桥式整流电路的几种画法

下面按照图1.4.4中第一种画法来分析桥式整流电路的工作情况。

设电源变压器二次侧电压 $u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$, 波形如图1.4.5(a)所示。在 u_2 的正半周时,其极性为上正下负,即 a 点电位高于 b 点电位,二极管 D_1 、 D_3 因承受正向电压而导通, D_2 、 D_4 因承受反向电压而截止,电流 i_0 的通路是 $a \rightarrow D_1 \rightarrow c \rightarrow R_L \rightarrow d \rightarrow D_3 \rightarrow b$, 如图1.4.4中的实线箭头所示,这时负载电阻 R_L 上得到一个半波电压,如图1.4.5(b)中的 $0 \sim \pi$ 段所示。

在电压 u_2 的负半周时,其极性为上负下正,即 b 点电位高于 a 点电位,因此 D_1 和 D_3 截止, D_2 和 D_4 导通,电流 i_0 的通路是 $b \rightarrow D_2 \rightarrow c \rightarrow R_L \rightarrow d \rightarrow D_4 \rightarrow a$, 如图1.4.4中的虚线箭头所示。因为电流均是从 c 经 R_L 到 d,所以在负载电阻上得到一个与 $0 \sim \pi$ 段相同的半波电压,如图1.4.5(b)中的 $\pi \sim 2\pi$ 段所示。