

模 拟 电 子 技 术

王瑞琴 刘素芳 编
孙建设 审

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 2 年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是为高等职业技术学校和高等专科学校工科类专业“电子技术”课程编写的教材。采用模块化结构,包括常用半导体器件、基本放大电路、运算放大器与信号发生器、电源 4 个模块。各模块分为理论学习和课堂演练两部分,并附有阅读材料和自我检测题,使理论知识与实际应用紧密结合,突出了重点。

本书可作为高等职业技术学校和高等专科学校工科类专业教材,也可供中等专业学校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/王瑞琴,刘素芳编. —北京:中国
铁道出版社,2002.2
ISBN 7-113-04533-2

I. 模… II. ①王…②刘… III. 模拟电路—电子
技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 004639 号

书 名:模拟电子技术

作 者:王瑞琴 刘素芳 编

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑:崔忠文 任 军 **编辑部电话:**路电(021)73146
市电(010)51873146

封面设计:李艳阳

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787×1092 1/16 **印张:**11.5 **字数:**279 千

版 本:2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 7-113-04533-2/TN·143

定 价:23.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

联系电话:路电(021)73169,市电(010)63545969

前 言

本书是为高等职业技术学校和高等专科学校工科类专业“电子技术”课程编写的教材。

电子技术是一门理论与实践紧密结合的课程。它主要介绍与电子技术有关的基本概念、基本分析方法、基本逻辑器件和基本应用,包括模拟电子技术与数字电子技术两部分。本书讨论模拟电子技术部分的有关知识。

根据高职、高专的培养目标和要求,在编写本书时突出了以下特点:

1. 降低理论知识的深度。对理论知识,要求着重掌握应用特性,而对深奥繁杂的理论来源与推导尽量采用“黑箱”的处理方法。

2. 注重技能的培养与训练。具体做法是:

(1)采用模块化结构。主要内容分为理论学习和课堂演练两部分,使理论知识与实际应用紧密联系,前后呼应,学用结合。课堂演练只提出了参考内容,没有统一的格式规范,教师可根据各校电子设备的实际情况灵活掌握。

(2)按照技能培训的规律,由浅入深、循序渐进地安排教学内容。

(3)书中有查阅电子元器件手册及合理选用电子元器件的训练内容。

3. 各模块后均附有自我检测题,便于学生深入理解和掌握书中的内容。

4. 书中某些模块后附有阅读材料,阅读材料的内容不作为应知应会的内容。

阅读材料有以下三类:

(1)“黑箱”化处理后某些“黑箱”内的理论知识,写入阅读材料以作参考。

(2)当课堂演练条件不具备时,作为正文的补充。

(3)拓宽知识内容,以满足不同层次学生的需要。

5. 适当引入电子新器件、新技术的内容,以适应培养面向 21 世纪人才的需要。

本书自 1998 年试用以来,在教学实践中不断修改和完善,深受广大师生欢迎。此次出版又进行了适当的修订,但模块的基本结构不变。全书由王瑞琴、刘素芳编,孙建设审。模块 1、模块 2 由王瑞琴编写,模块 3、模块 4 由刘素芳编写。

本书与王桂馨、张惠敏编、王学力审的《数字电子技术》配套使用。

本书在编写及出版过程中得到了郑州铁路职业技术学院各级领导及应用电子教研室的热情帮助和大力支持,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中的错误及不妥之处敬请读者批评指正。

编 者

2002 年 1 月

目 录

模块 1 常用半导体器件	1
1.1 半导体和 PN 结	1
1.1.1 半导体	1
1.1.2 P 型半导体和 N 型半导体	1
1.1.3 PN 结及其单向导电性	1
课堂演练	2
阅读材料	2
1.2 半导体二极管	5
1.2.1 二极管的结构	5
1.2.2 二极管的伏安特性和参数	5
1.2.3 二极管的应用	6
课堂演练	7
阅读材料	7
1.3 半导体三极管	8
1.3.1 三极管的结构	8
1.3.2 三极管的电流放大作用	8
1.3.3 三极管在放大电路中的三种连接方式	10
1.3.4 三极管的特性曲线	10
1.3.5 三极管的主要参数	11
课堂演练	12
阅读材料	14
1.4 场效应管	15
1.4.1 结型场效应管	15
1.4.2 绝缘栅场效应管	18
1.4.3 场效应管使用注意事项	21
课堂演练	22
阅读材料	23
1.5 查阅电子元器件手册的练习	25
1.5.1 电子元器件的基本知识	25
1.5.2 电子元器件手册查阅方法简介及练习	32
自我检测题	35
模块 2 基本放大电路	40
2.1 共发射极放大电路	40
2.1.1 放大电路的组成	40

2.1.2 放大电路的工作原理·····	41
课堂演练·····	43
2.2 图解分析法·····	44
2.2.1 静态分析·····	44
2.2.2 动态分析·····	45
2.2.3 用图解法分析波形的非线性失真·····	47
课堂演练·····	48
2.3 微变等效电路分析法·····	49
2.3.1 放大电路的微变等效电路·····	49
2.3.2 用微变等效电路法分析放大电路·····	51
课堂演练·····	53
阅读材料·····	53
2.4 放大电路静态工作点的稳定·····	54
2.4.1 温度对静态工作点的影响·····	54
2.4.2 分压式偏置电路·····	54
课堂演练·····	57
2.5 共集电极电路和共基极电路·····	57
2.5.1 共集电极电路·····	57
2.5.2 共基极电路·····	59
2.5.3 放大电路三种基本组态的比较·····	60
课堂演练·····	60
阅读材料·····	61
2.6 多级放大电路·····	62
2.6.1 级间耦合方式·····	62
2.6.2 两级阻容耦合放大电路的分析·····	62
2.6.3 放大电路的频率特性·····	65
课堂演练·····	66
阅读材料·····	66
2.7 场效应管放大电路·····	68
2.7.1 场效应管放大电路的直流偏置电路和静态分析·····	68
2.7.2 场效应管放大电路的微变等效电路分析法·····	69
课堂演练·····	71
阅读材料·····	71
2.8 基本功率放大电路·····	72
2.8.1 功率放大电路的特点·····	72
2.8.2 乙类互补对称功率放大电路·····	72
2.8.3 甲乙类互补对称功率放大电路·····	74
2.8.4 甲乙类单电源互补对称功率放大电路·····	75
课堂演练·····	75
2.9 集成功率放大电路·····	75

2.9.1 器件外形及电路符号	75
2.9.2 DG4100 功放器件的主要参数	76
2.9.3 DG4100 集成功放典型应用电路	77
课堂演练	77
自我检测题	78
模块3 运算放大器及信号发生器	87
3.1 集成运算放大器	87
3.1.1 差动放大电路	87
3.1.2 集成运算放大电路的简介	94
课堂演练	97
3.2 负反馈放大器	98
3.2.1 负反馈的基本概念与组态	98
3.2.2 负反馈对放大电路的影响	101
课堂演练	104
3.3 集成运算放大器的基本运算电路	104
3.3.1 理想运算放大器的特点	104
3.3.2 比例运算电路	105
3.3.3 加法运算电路	107
3.3.4 减法运算电路	108
3.3.5 积分运算电路	111
课堂演练	111
3.4 滤波器	112
3.4.1 滤波电路及幅频特性	112
3.4.2 无源滤波电路	113
3.4.3 有源滤波电路	113
3.4.4 滤波器应用举例	114
课堂演练	114
3.5 正弦波振荡器	115
3.5.1 自激振荡	115
3.5.2 变压器反馈式 LC 振荡电路	116
3.5.3 RC 振荡器	118
3.5.4 石英晶体振荡器简介	121
课堂演练	122
3.6 非正弦波振荡器	123
3.6.1 比较器	123
3.6.2 方波发生器	125
课堂演练	126
阅读材料	127
自我检测题	129
模块4 电 源	134

4.1 直流电源的组成	134
课堂演练	134
4.2 整流电路	134
4.2.1 单相半波整流电路	134
4.2.2 单相桥式全波整流电路	136
课堂演练	137
阅读材料	138
4.3 滤波电路	138
4.3.1 电容滤波电路	138
4.3.2 电感滤波电路	140
4.3.3 复式滤波电路	140
课堂演练	141
阅读材料	141
4.4 稳压电路	142
4.4.1 稳压管并联型稳压电路	142
4.4.2 串联型稳压电路	145
4.4.3 集成稳压器	146
4.4.4 开关稳压电源	148
课堂演练	150
阅读材料	150
4.5 晶闸管	151
4.5.1 晶闸管的结构和工作原理	151
4.5.2 晶闸管的特性及参数	152
课堂演练	153
阅读材料	153
4.6 单相桥式可控整流电路	154
4.6.1 电阻性负载	155
4.6.2 电感性负载	155
课堂演练	156
4.7 单结晶体管触发电路	156
4.7.1 单结晶体管	156
4.7.2 单结晶体管自激振荡电路	158
4.7.3 单结晶体管同步触发电路	158
课堂演练	159
阅读材料	159
自我检测题	160
附录1 常用图形符号说明	165
附录2 EWB使用简介	167
参考文献	174

模块 1 常用半导体器件

1.1 半导体和 PN 结

1.1.1 半导体

自然界中的物质按导电能力的大小分为导体、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。锗、硅、硒、砷化镓,以及一些硫化物和氧化物等都是半导体。

半导体有热敏性、光敏性和杂敏性。当半导体所处环境温度发生变化或所受光照强度发生变化时,它的导电能力将发生明显变化,这就是半导体的热敏性或光敏性,利用这些特性可做成热敏元件或光敏元件。当在半导体中掺入微量有用杂质后,它的导电能力将增大很多,这就是半导体的杂敏性。半导体二极管、三极管等半导体器件就是利用半导体的杂敏性制造的。

1.1.2 P 型半导体和 N 型半导体

掺入杂质后的半导体称为杂质半导体。杂质半导体分为 N 型半导体和 P 型半导体两大类,下面以硅半导体为例介绍这两类杂质半导体。

若在纯净的四价元素硅中采用一定的制造工艺掺入微量五价元素(例如磷),则可制成 N 型半导体;若在纯净的四价元素硅中采用一定的制造工艺掺入微量的三价元素(例如硼),则可制成 P 型半导体。

N 型半导体和 P 型半导体不但比纯净半导体的导电能力增大很多,而且导电能力的增大程度与掺入杂质的浓度成正比,我们可以通过控制杂质掺入的浓度来控制杂质半导体导电能力的强弱。

1.1.3 PN 结及其单向导电性

1. PN 结的形成

用特定的制造工艺使 P 型半导体和 N 型半导体相结合,在其交界面上将形成一个特殊的薄层,这个薄层就是 PN 结。图 1.1—1 为 PN 结的结构示意图,其中字母 P 代表 P 型半导体,字母 N 代表 N 型半导体,中间划有虚线的部分代表 PN 结。

2. PN 结的单向导电性

如图 1.1—2(a)所示,给 PN 结加正向电压(又称正向偏置),即外加电压 V 的正极接 P 型半导体,负极接 N 型半导体,则 PN 结的宽度变窄,此时 PN 结呈现很小的正向电阻,PN 结内部从 P 到 N 流过较大的正向电流 I_F ,我们把这种状态称为 PN 结的正向导通状态。

如图 1.1—2(b)所示,给 PN 结加反向电压(又称反向偏置),即外加电压 V 的负极接 P 型半导体,正极接 N

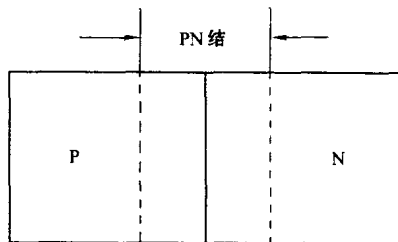


图 1.1—1 PN 结的结构示意图

型半导体,则 PN 结的宽度变宽,此时 PN 结呈现很大的反向电阻,PN 结内部只有很小的反向电流 I_R 流过,我们把这种状态称为 PN 结的反向截止状态。反向电流 I_R 虽然很小,但受温度影响很大,环境温度升高时,反向电流显著增大。这个特性对半导体器件的性能影响很大,在使用时必须加以注意。

PN 结加正向电压导通,加反向电压截止,这种导电特性就称为 PN 结的单向导电性。

[课堂演练]

1. 观察、认识半导体器件的外形

准备若干二极管、三极管、热敏元件、光敏元件等半导体器件,观察其外形。

2. 观察 PN 结

准备若干外壳透明的二极管及去掉外壳的二极管,观察内部的 PN 结。

3. PN 结的单向导电性实验

二极管就是管壳加引线的 PN 结,观察二极管的单向导电性,即 PN 结的单向导电性。

步骤如下:

- (1)按图 1.1—3(a)接线,将 PN 结加正向电压,则灯亮。
- (2)按图 1.1—3(b)接线,将 PN 结加反向电压,则灯不亮。

[阅读材料]

1. 本征半导体的导电特性

纯净的半导体又称本征半导体,本征半导体具有晶体结构。以硅(Si)晶体为例,硅原子核最外层有四个价电子,每个价电子都受到相邻两个原子核

的束缚形成共价键结构。在室温下,由于热或光的作用,少数共价键上的电子会被拉出来成为自由电子,同时在共价键上留下相同数量的空位,这些空位叫空穴,这种现象叫本征激发,如图

1.1—4 所示。空穴很容易被从邻近共价键上拉出来的价电子填补,于是邻近共价键上又出现了新的空穴,新的空穴再被其邻近的共价键上的价电子填补,依次填补下去,就形成了价电子填补空穴的运动,这个运动在形式和效果上都与带正电荷的空穴作相反运动相同。为了与带负电荷的自由电子的运动区分开,就把价电子的运动称为空穴运动(方向相反),认为空穴是一种带正电荷的载流子。所以本征半导体中有两种载流子,即带负电荷的自由电子(简称电子)和带正电荷的空穴。电子数目和空穴数目相等。在一定的温度下本征半导体中的载流子数目很少,但随温度升高增加很快。

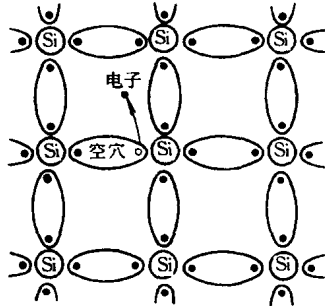


图 1.1—4 单晶体中本征激发产生电子与空穴

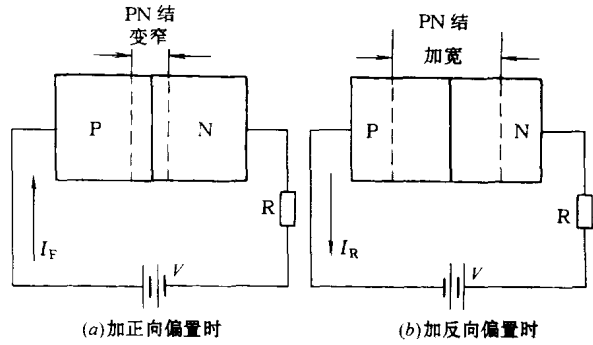


图 1.1—2 PN 结的单向导电性

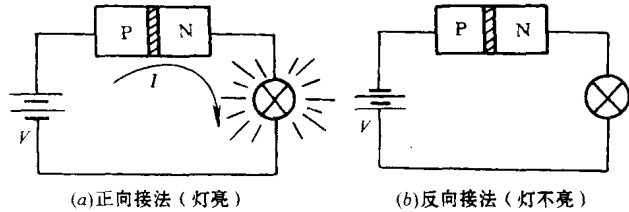


图 1.1—3 PN 结单向导电性实验

2. P型半导体和 N 型半导体的形成和特点

(1) P 型半导体

因本征半导体中载流子数目很少、不好控制且受温度影响大,所以用途有限。若在本征半导体中掺入微量有用杂质可以克服以上缺点。仍以硅半导体为例。在本征硅半导体中掺入微量三价元素硼(B),因为硼原子比硅原子少一个价电子,所以在形成共价键结构时便产生一个空位。这个空位很容易被邻近硅原子共价键中的价电子填补,使硼原子成为不能移动的负离子,而失去价电子的共价键上出现一个空穴。负离子与空穴数目相同,所带电荷大小相等,极性相反,杂质半导体对外呈电中性,如图 1.1—5(a)所示。负离子被束缚在晶格中不能移动,不参与导电。

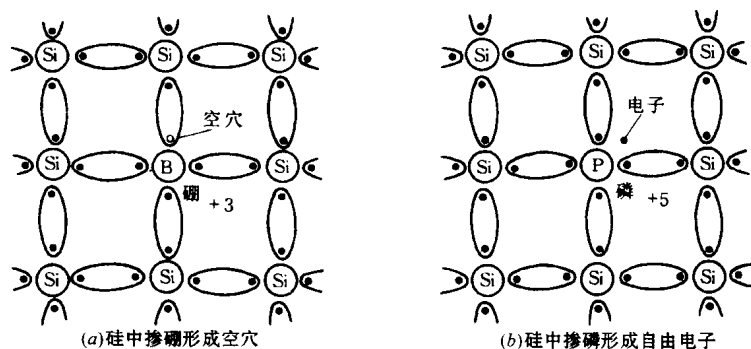


图 1.1—5 硅单晶中掺入杂质示意图

这种半导体中空穴数目比自由电子数目大的多,空穴为多数载流子简称多子,由掺入杂质产生(由本征激发产生的空穴忽略不计);自由电子为少数载流子简称少子,由本征激发产生。半导体主要靠空穴导电,被称为空穴型半导体即 P 型半导体。

(2) N 型半导体

在本征硅半导体中掺入微量五价元素磷(P),因为磷原子比硅原子多一个价电子,所以在形成共价键结构时便多余一个电子,它很容易成为自由电子而使磷原子成为不能移动的正离子。正离子与电子所带电荷大小相等极性相反,数目相同,如图 1.1—5(b)所示。正离子同样不参与导电。

这种半导体中自由电子为多子,由掺入杂质产生(由本征激发产生的电子忽略不计);空穴为少子,由本征激发产生。半导体主要靠自由电子导电,被称为电子型半导体,即 N 型半导体。

3. PN 结的形成

用一定工艺使 P 型半导体和 N 型半导体结合,在 P 型半导体和 N 型半导体交界面两侧存在着空穴和电子浓度差,P 区的空穴浓度大于 N 区,N 区的电子浓度大于 P 区,所以空穴和电子都要从浓度大的地方向浓度小的地方扩散,如图 1.1—6(a)所示。扩散的结果使交界面附近的 P 区一侧失去空穴而留下不能移动的负离子,N 区一侧因失去电子而留下不能移动的正离子;与此同时,扩散到 N 区的空穴与 N 区的电子复合,扩散到 P 区的电子与 P 区的空穴复合,所以在交界面两侧就会出现由数量相等的正、负离子组成的空间电荷区,这就是 PN 结,如图 1.1—6(b)所示。空间电荷区靠 N 区一侧带正电、靠 P 区一侧带负电,产生一个方向由 N 区向 P 区的内电场。

根据内电场的方向不难看出,一方面内电场将阻碍多子继续扩散,另一方面内电场将使 N 区的少子(空穴)向 P 区漂移(载流子在内电场作用下的运动称作漂移运动),P 区的少子(电

子)向 N 区漂移。

PN 结刚形成时,多子的扩散运动占优势,随着内电场的增强,少子的漂移运动也在加强,最终扩散运动与漂移运动达到动态平衡。这时就形成了具有一定宽度空间电荷区的平衡 PN 结,平衡 PN 结中的合成电流等于零。

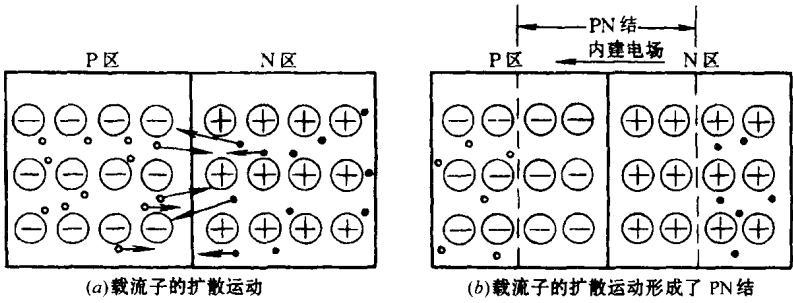


图 1.1—6 PN 结的形成

4. PN 结的单向导电性

(1) PN 结加正向电压

PN 结加正向电压也称 PN 结正向偏置,如图 1.1—7(a)所示。外电场与内电场方向相反,内电场被削弱,空间电荷区变窄,使多子的扩散运动大于少子的漂移运动。因多子浓度大,所以使 PN 结流过较大的以扩散电流为主的正向电流 I_F ,PN 结呈现较小的正向电阻,PN 结处于正向导通状态。

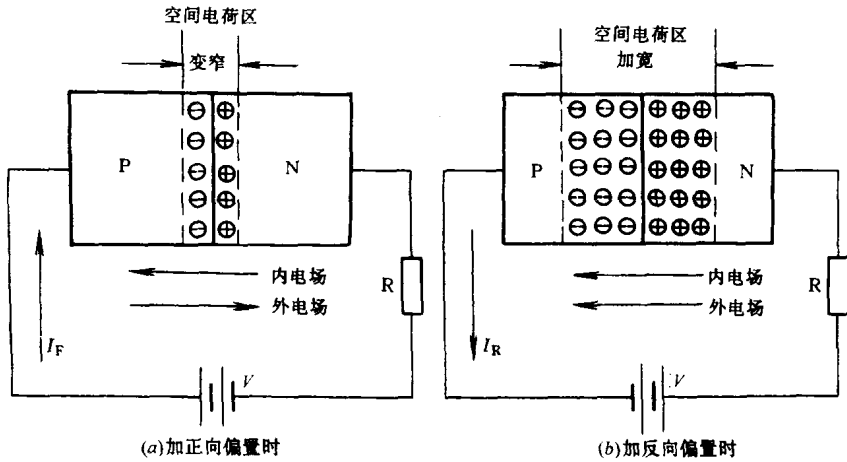


图 1.1—7 PN 结的单向导电性

(2) PN 结加反向电压

PN 结加反向电压也称 PN 结反向偏置,如图 1.1—7(b)所示。外电场与内电场方向相同,外电场加强了内电场,空间电荷区变宽,使少子的漂移运动大于多子的扩散运动。因少子数量很少,所以 PN 结流过微小的以漂移电流为主的反向电流 I_R ,PN 结呈现很大的反向电阻,PN 结处于反向截止状态。

因反向电流 I_R 由少子漂移形成,而少子又是由本征激发产生,所以 I_R 与环境温度关系密切, I_R 随温度上升而显著增大。

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的结构

PN 结加上引出线和管壳就构成半导体二极管(简称二极管)。它的结构示意图如图 1.2—1 所示,由 P 区引出的电极为二极管的正极,由 N 区引出的电极为二极管的负极。二极管电路符号如图 1.2—2 所示,常用二极管外形图如图 1.2—3 所示。

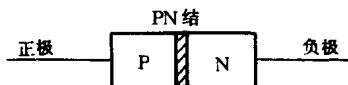


图 1.2—1 二极管的结构示意图



图 1.2—2 二极管的电路符号

半导体二极管的类型很多。按材料分,最常用的有硅二极管和锗二极管两种;按用途又可分为整流二极管、稳压二极管、检波二极管等。

1.2.2 二极管的伏安特性和参数

1. 二极管的伏安特性曲线

加在二极管两电极间的电压 U (本书中电压用 U 或 u 表示,电位用 V 表示)与流过二极管的电流 I 的对应关系称为二极管的伏安特性。伏安特性可以用特性曲线表示,图 1.2—4(a)和(b)分别是硅二极管和锗二极管的伏安特性曲线。

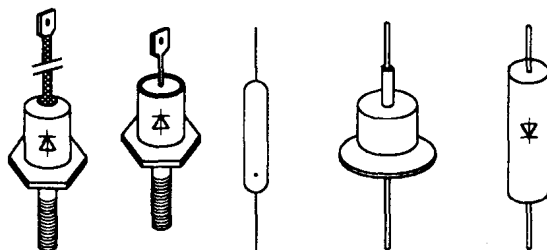
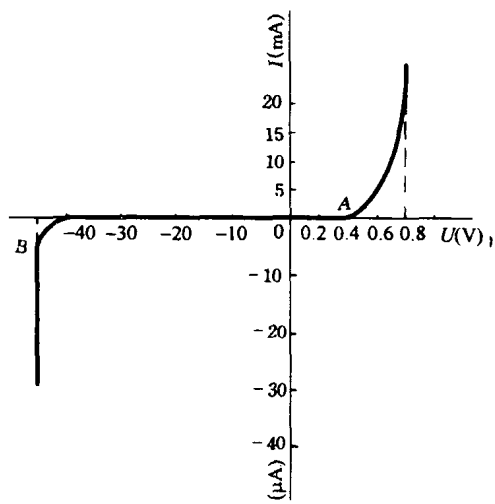


图 1.2—3 常用二极管外形

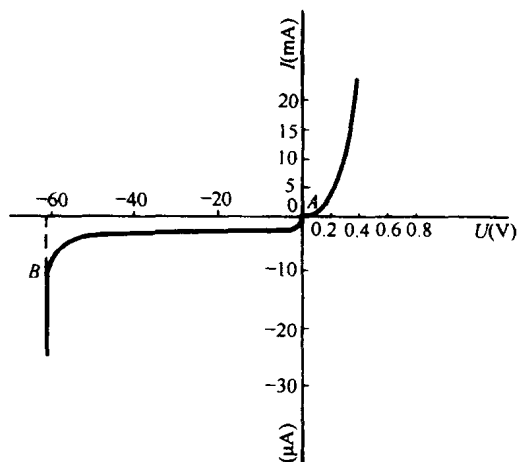
特性曲线可以分为三部分,分述如下。

(1) 正向特性曲线

正向特性曲线有以下特点:



(a) 硅二极管 2CP 的特性曲线



(b) 锗二极管 2AP 的特性曲线

图 1.2—4 二极管的伏安特性曲线

①曲线从坐标原点开始。当 $U=0$ 时, $I=0$ 。

②当 U 为正但很小时, 正向电流 I 非常小(几乎为 0), 对应于特性曲线 OA 段, 这个区域通常称为“死区”。

③当 U 为正且超过一定值后(这个值称为“死区电压”, 锗管为 0.1 V , 硅管为 0.5 V), 对应图 2.1—4 中 A 点以后的曲线, 正向电流增加很快, 这时二极管处于正向导通状态。正常使用时, 正向电流在较大范围内变化, 二极管两端的正向压降变化不大, 硅管的正向压降约为 $0.6\sim 0.8\text{ V}$, 锗管约为 $0.2\sim 0.3\text{ V}$ 。二极管的死区电压和正向压降值是两个非常有用的数值, 在以后的学习中要经常用到。

(2) 反向特性曲线

在反向电压作用下, 反向电流很小, 对应于曲线 OB 段, 这时二极管处于反向截止状态。在常温下, 硅管的反向电流比锗管小的多, 硅管在 $1\text{ }\mu\text{A}$ 以下, 锗管在几 μA 至几十 μA 之间, 在选用管子时要考虑到这一因素。温度升高, 反向电流将显著增大, 这一特点在 1.1.3 中已有说明。

由正向特性和反向特性可知, 二极管具有单向导电性; 二极管的实质就是 PN 结, 这也验证了前面所讲的 PN 结的单向导电性的理论分析。

(3) 反向击穿特性曲线

反向电压在一定范围内时, 反向电流基本不随反向电压增加而增加, 但当反向电压超过一定值后(这个电压称反向击穿电压 U_{BR}), 反向电流突然急剧增大, 对应 B 点以后的曲线, 二极管失去单向导电性, 这种现象称为二极管的反向击穿。普通二极管不允许工作在反向击穿状态。

2. 二极管的主要参数

电子器件的参数是用来表征器件的性能优劣和适用范围的, 是合理选择和正确使用器件的依据。二极管有以下主要参数。

(1) 最大整流电流 I_{FM}

最大整流电流 I_{FM} 是指二极管长期运行时, 允许通过的最大正向平均电流。 I_{FM} 与环境温度和散热条件有关, 在实际应用时不能超过此值, 否则将会烧坏二极管。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM}

最高反向工作电压 U_{RM} 是指二极管工作时所允许加的最高反向电压。超过此值二极管就有可能被反向击穿而损坏。一般元器件手册上给出的最高反向工作电压约为反向击穿电压 U_{BR} 的一半。如 2AP1 锗二极管的反向击穿电压约为 40 V , 而最高反向工作电压定为 20 V 。

(3) 反向电流 I_{R}

反向电流 I_{R} 是指二极管未被击穿时的反向电流。 I_{R} 越小说明二极管的单向导电性能越好。温度升高, I_{R} 会急剧增大, 使用二极管时要注意温度的影响。

1.2.3 二极管的应用

二极管的基本特性是单向导电性, 利用这个特性可以组成多种应用电路。其中整流电路将在“模块 4 电源”中专门讨论, 这里只介绍限幅电路的结构和工作原理。

限幅是将电路的输出电压限制在某一数值之下, 图 1.2—5(a) 是限幅电路的原理图。为使电路分析简单起见, 把电路中的二极管看作理想

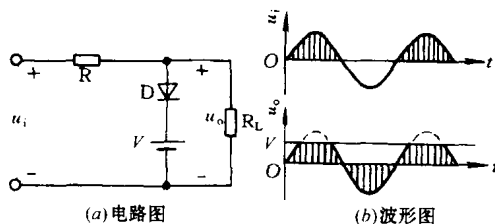


图 1.2—5 二极管限幅电路

元件,即认为它正向导通电阻为零(此时二极管两端相当于短路),反向截止电阻为无穷大(此时二极管两端相当于断开)。

设定 $R \ll R_L$, u_i 为正弦波。当 $u_i < V$ 时,二极管的正极电位低于负极电位,所以 D 承受反向电压而截止(D 两端相当于断开), $u_o = u_i$; 当 $u_i > V$ 时,二极管的正极电位高于负极电位,所以 D 承受正向电压而导通(D 两端相当于短路), $u_o = V$, 图 1.2—5(b) 是 u_i 和 u_o 的波形图。很显然, u_o 的波形幅值被限制在 V 以下。

二极管限幅电路可用作保护电路,以防止半导体器件由于过压而被损坏,也可用来产生数字信号中的恒幅波。

[课堂演练]

1. 加深对二极管的认识。

准备不同型号的普通二极管、发光二极管和光电二极管若干。观察外形,查看管壳上的标识,然后检测二极管的好坏、判别二极管的管脚极性。

(1) 检测二极管的好坏

检测二极管的好坏就是检测二极管的单向导电性,用万用表的欧姆挡测量二极管的正、反向电阻即可。若测得正向电阻为几 $k\Omega$ 以下,反向电阻为几百 $k\Omega$ 以上,则二极管性能良好;若正、反向电阻均为无穷大,则此二极管断路,二极管已坏;若测得正、反向电阻均为 0,则此二极管短路,二极管已坏;若测得正、反向电阻相差不大,则此二极管性能不好,不能使用。测试小功率二极管时要用万用表的 $R \times 100$ 或 $R \times 1 k$ 挡,否则会损坏二极管。

(2) 判别二极管的管脚极性

将好的二极管选出后再判断管脚极性。用万用表欧姆挡时,其内部电路如图 1.2—6 所示。万用表的红表笔(表的“+”端)接表内电池的负极;黑表笔(表的“-”端)接表内电池的正极。当测得二极管电阻阻值较小,说明二极管加的是正向电压,则黑表笔接的是二极管的正极,红表笔接的是二极管的负极。

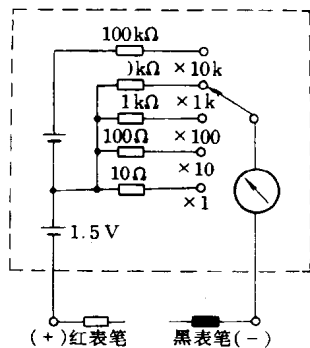


图 1.2—6

2. 用 JT—1 型晶体管图示仪测试二极管的伏安特性。

测试一只硅二极管和一只锗二极管。

3. 用示波器观察二极管限幅电路输入电压与输出电压的波形。

[阅读材料]

二极管的种类很多,除了前面介绍的普通二极管和将在模块 4 介绍的稳压二极管外,还有发光二极管、光电二极管等。

1. 发光二极管

发光二极管也是一种常见的二极管。当它正向导通且正向电流达到一定值时,二极管能发光。光的颜色由所用材料决定,有红色、绿色、黄色等。图 1.2—7 是它的电路符号。发光二极管常用作显示器件(如指示灯)。由于它的工作电压低(几 V)、电流小(几 mA 到几十 mA)、体积小、寿命长,得到广泛应用。

2. 光电二极管

光电二极管的主要特点是:它的反向电流随光照的强度的增加而增加,即反向电流与光的照度成正比。图 1.2—8 是它的电路符号。光电二极管常用作传感器的光敏元件,可将光信号转换为电信号。大面积的光电二极管可用来作能源,即光电池。

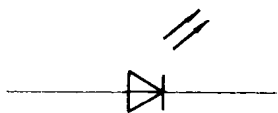


图 1.2—7 发光二极管的电路符号

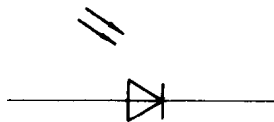
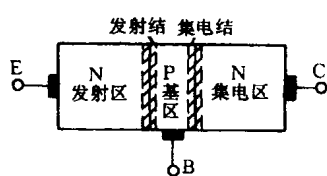


图 1.2—8 光电二极管的电路符号

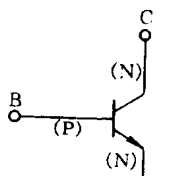
1.3 半导体三极管

1.3.1 三极管的结构

半导体三极管又称为晶体三极管。它的种类很多,按材料分,有硅管和锗管;按功率大小分,有大、中、小功率管;按工作频率分,有高频管和低频管;按内部结构的不同又分为 NPN 型和 PNP 型两大类。图 1.3—1、图 1.3—2 所示分别为 NPN 型和 PNP 型三极管的内部结构示意图和电路符号。

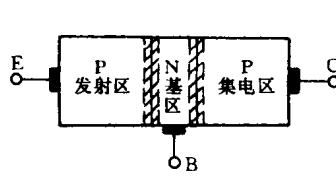


(a) 内部结构示意图

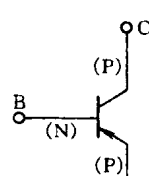


(b) 电路符号

图 1.3—1 NPN 型三极管



(a) 内部结构示意图



(b) 电路符号

图 1.3—2 PNP 型三极管

三极管的管芯由三层半导体构成,三层半导体形成两个背靠背的 PN 结。三层半导体分别称为发射区、基区和集电区,各区引出一个电极依次称为发射极 E、基极 B 和集电极 C,两个 PN 结分别称为发射结和集电结。三极管电路符号中箭头的方向表示发射结加正向电压时,发射极电流的方向。

由于三极管的性能要求,在制造三极管时应具备以下结构特点:发射区掺杂浓度高,基区很薄且掺杂浓度低,集电结面积大。所以三极管的各极不能互换使用。

图 1.3—3 所示为三极管的外形图。

1.3.2 三极管的电流放大作用

1. 三极管的工作条件

二极管的主要性能是单向导电性,三极管的主要性能是具有电流放大作用。前面介绍的三极管的结构特点是三极管具有电流放大作用的内部条件。三极管具有放大作用的外部条件是必须外加合适的偏置电压,使三极管的发射结处于正向偏置,集电结处于反向偏置。为此, NPN 型管三个电极的电位高低必须满足 $V_E > V_B > V_C$ 的关系。PNP 管三个电极的电位高低必须满足 $V_C < V_B < V_E$ 的关系。

2. 三极管的电流放大作用

我们用实验的方法来说明三极管的电流放大作用。以 NPN 型三极管为例,按上面介绍的工作条件组成放大电路,如图 1.3—4 所示。调节 R_b 使基极电流 I_B 按表 1.3—1 中的数据变化并测试出相对应的集电极电流 I_C 和发射极电流 I_E ,将结果填入表 1.3—1 中。

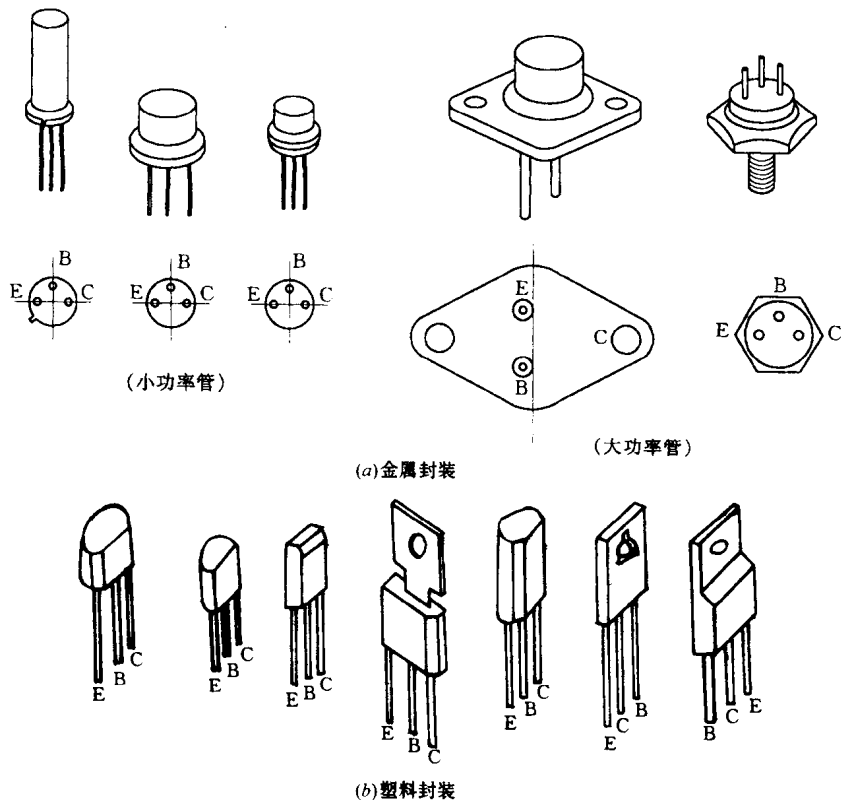


图 1.3—3 三极管的外形图

表 1.3—1 三极管各极电流的分配

电 流 \ 数 据 次 数	1	2	3	4	5	6
基极电流 I_B mA	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
集电极电流 I_C mA	0	0.43	0.88	1.33	1.78	2.22
发射极电流 I_E mA	0	0.44	0.90	1.36	1.82	2.27

分析表 1.3—1 中的数据可得出如下结论:

(1) 三极管中的电流分配关系:

表 1.3—1 中每组 I_B 、 I_C 、 I_E 数据都符合以下关系:

$$I_E = I_C + I_B$$

若把图 1.3—4 中的三极管看作一个广义的结点,则以上关系符合基尔霍夫电流定律。

(2) 三极管的电流放大作用

表 1.3—1 中每组的 I_C 均比 I_B 大的多,并且当 I_B 增大

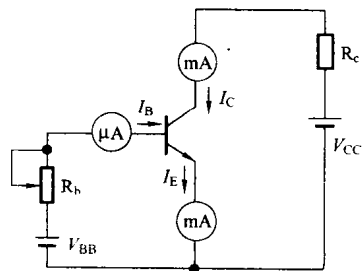


图 1.3—4 三极管电流放大作用测试电路