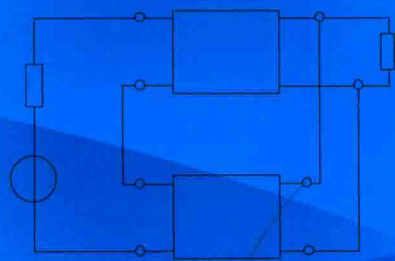


普通高等教育“十二五”规划教材

模拟电子技术

MONI DIANZI JISHU

● 李 琳 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

模拟电子技术

MONI DIANZI JISHU

● 李 琳 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是按照教育部教学指导委员会最新修订的模拟电子技术基础课程教学的基本要求,结合作者的多年教学经验编写而成。全书共分七章,主要讲述半导体器件的工作原理,基本放大电路的组成原理、工作状态的分析以及放大电路的参数计算,差动放大电路和集成运算放大电路的分析和计算,负反馈放大电路,波形产生与变换电路,功率放大电路和直流电源。

本书适用于高等学校工科机电类专业的本科生及大专生使用,也可用作专业自考教材,供工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/李琳主编. —北京:化学工业出版社,
2015.7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-24107-8

I. ①模… II. ①李… III. ①模拟电路-电子技术-
高等学校-教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 112783 号

责任编辑:高 钰

文字编辑:云 雷

责任校对:边 涛

装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 11½ 字数 256 千字 2015 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:26.00 元

版权所有 违者必究

前言

模拟电子技术是电子信息类专业重要的技术基础课程，也是一门应用性很强的专业基础课。通过本课程的学习，可以使读者在掌握模拟电子技术基本知识的基础上，培养分析和设计模拟电路的能力，并为学习后续课程和今后在实际工作中应用电子技术打好基础。

本书根据高等学校培养目标的要求以及现代科学技术发展的需要，以开发应用型人才为目标，并结合现代电子技术系列课程的建设实际而编写。在编写过程中，注意了精选内容、突出重点，加强了基本概念、基本理论、基本的分析方法以及基本单元电路设计的讲解，弱化繁琐的理论推导，突出理论联系实际的工程特点，提高分析和解决实际问题的能力原则。本书着重介绍比较实用的工程计算和近似估算方法，列举大量应用实例，以加深读者对各单元电路功能的理解。强调课程体系的针对性，根据大中专院校的培养规格，理论上以为后续课打基础，够用为度，注重应用能力的培养。

本书共分七章，包括半导体二极管和晶体管、基本放大电路、集成运算放大器、负反馈放大电路、信号的运算与处理、信号发生电路和直流稳压电路等内容，主要介绍各种应用电路的分析、设计，其中放大电路与分立元件为主，其他应用电路均以集成电路为主。

本书简明扼要、深入浅出、注重基础、兼顾应用，书中讲述了学习要求和重点内容，并通过一定量的例题和练习题，使读者逐渐掌握分析问题、解决问题的思路和方法。

本书适合作为高等工科院校机电类专业本科生及大专生的学习教材，同时也便于读者自学。

在本书的出版过程中，林科老师参与了部分内容的编写，在此表示感谢！

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免有疏漏和不足之处，恳请本书的读者和使用本书的师生加以批评指正。

编者
2015年5月

目录

第1章 常用电子元件	001
1.1 半导体的基础知识	001
1.1.1 本征半导体	001
1.1.2 杂质半导体	003
1.1.3 PN结	004
1.2 半导体二极管	007
1.2.1 二极管的基本结构	007
1.2.2 二极管的伏安特性	007
1.2.3 二极管的主要参数	008
1.2.4 二极管的主要应用	008
1.2.5 特殊二极管	011
1.3 半导体三极管	015
1.3.1 三极管的结构	015
1.3.2 三极管的电流放大原理	016
1.3.3 三极管的特性曲线	018
1.3.4 三极管的主要参数	020
1.3.5 温度对三极管参数的影响	021
1.3.6 三极管的微变等效电路	021
1.4 绝缘栅型场效应管	023
1.4.1 场效应管的基本结构及工作原理	023
1.4.2 场效应管的特性曲线	025
1.4.3 场效应管的主要参数	026
1.4.4 场效应管的微变等效电路	027
思考题及习题	028
第2章 交流放大电路	031
2.1 共发射极放大电路	031
2.1.1 放大电路的基本概念	031
2.1.2 基本放大电路的工作原理	032
2.1.3 放大电路的静态分析	033

2.1.4	放大电路的动态分析	035
2.2	工作点稳定的放大电路	042
2.2.1	温度对静态工作点的影响	042
2.2.2	分压式偏置电路	043
2.3	共集电极放大电路	046
2.3.1	电路的组成	047
2.3.2	静态分析	047
2.3.3	动态分析	047
2.3.4	射极输出器的应用	049
2.4	阻容耦合多级放大电路及其频率特性	049
2.4.1	多级放大电路的耦合方式	050
2.4.2	阻容耦合多级放大电路的分析	052
2.5	放大电路的频率响应	054
	思考题及习题	056
第3章	集成运算放大电路	061
3.1	差动放大电路	061
3.1.1	直接耦合放大电路的零点漂移	061
3.1.2	差动放大电路的工作原理	062
3.1.3	差动放大电路的输入输出方式	065
3.2	集成运放结构、特性和分析依据	068
3.2.1	集成运放的结构和参数	068
3.2.2	集成运放的理想化模型	072
3.2.3	集成运放的电压传输特性和分析依据	072
3.3	模拟运算电路	074
3.3.1	比例运算电路	074
3.3.2	模拟运算电路	080
3.4	有源滤波电路	086
3.4.1	滤波电路的作用和分类	086
3.4.2	低通滤波电路	087
3.4.3	高通滤波电路	089
3.4.4	带通滤波电路和带阻滤波电路	089
3.5	电压比较器	091
3.5.1	简单电压比较电路	091
3.5.2	滞回电压比较电路	094
	思考题及习题	096

第4章 负反馈放大电路	102
4.1 反馈的基本概念	102
4.1.1 反馈的定义	102
4.1.2 反馈的分类	104
4.2 负反馈放大电路的组态和判定	106
4.3 负反馈对放大电路性能的影响	110
4.3.1 提高放大倍数的稳定性	111
4.3.2 扩展通频带	112
4.3.3 减小非线性失真	112
4.3.4 负反馈对输入电阻的影响	113
4.3.5 负反馈对输出电阻的影响	114
4.4 负反馈放大电路的分析计算	116
4.5 负反馈放大电路的自激振荡	122
4.5.1 产生自激振荡的原因及条件	122
4.5.2 自激振荡的判断方法	123
4.5.3 常用的消除自激振荡的方法	123
思考题及习题	124
第5章 波形产生与变换电路	127
5.1 非正弦波产生电路	127
5.1.1 矩形波产生电路	127
5.1.2 三角波产生电路	130
5.1.3 锯齿形波产生电路	131
5.2 正弦波产生电路	132
5.2.1 产生正弦波振荡的条件	132
5.2.2 正弦波振荡电路的组成	133
5.3 RC 正弦波振荡电路	133
5.3.1 RC 串并联网络的选频特性	134
5.3.2 RC 正弦波振荡电路	135
5.4 LC 正弦波振荡电路的组成	138
5.4.1 变压器耦合 LC 振荡电路	138
5.4.2 电感三点式 LC 振荡电路	139
5.4.3 电容三点式 LC 振荡电路	139
5.5 石英晶体振荡电路	140
思考题及习题	141

第 6 章 功率放大电路	145
6.1 功率放大电路概述	145
6.1.1 功率放大电路的概念	145
6.1.2 功率放大电路的分类及特点	146
6.2 互补对称功率放大电路	147
6.2.1 双电源互补对称电路 (OCL 电路)	147
6.2.2 单电源互补对称电路 (OTL 电路)	148
6.3 集成功率放大电路	150
思考题及习题	151
第 7 章 直流电源	154
7.1 直流电源的组成	154
7.2 单相整流电路	155
7.2.1 单相半波整流电路	155
7.2.2 单相全波整流电路	156
7.2.3 单相桥式整流电路	158
7.3 滤波电路	160
7.3.1 电容滤波电路	160
7.3.2 电感滤波电路	161
7.4 稳压电路	162
7.4.1 稳压电路的主要指标	162
7.4.2 硅稳压管电路	163
7.5 集成稳压电路	165
7.5.1 三端集成稳压器的应用	165
7.5.2 集成稳压器的主要参数	167
7.6 开关型稳压电路	168
思考题及习题	170
参考文献	173

第 1 章

常用电子元件

本章学习要点：放大电信号处理中最基本和最重要的环节，在许多实际应用电路中，放大电路可以将微弱的、变化的小电信号放大到需要的幅度，以便对于电信号进行更多形式的处理。通常交流放大电路是由电压放大电路和功率放大电路组成，而且常常是多级放大电路。同时，放大电路又是其他信号处理电路（如有源滤波电路、振荡电路）的基础组成部分。

本章的主要内容是由构成基本放大电路的几种半导体元件，包括二极管、三极管、场效应管等元件。在以下各章中，将详细讨论这些电路的结构、工作原理、分析和计算方法，以及电路的特点和典型应用。

1.1 半导体的基础知识

自然界的物质按其导电性能可分为导体、绝缘体和半导体。

电阻率在 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下的物质称为导体。导体一般为低价元素，如铜、铁、铝等金属，其最外层电子受原子核的束缚力很小，因而极易挣脱原子核的束缚成为自由电子。因此在外电场作用下，这些电子产生定向运动形成电流，呈现出较好的导电特性。

高价元素（如惰性气体）和高分子物质（如橡胶、塑料）最外层电子受原子核的束缚力很强，极不易摆脱原子核的束缚成为自由电子，所以其导电性极差，可作为绝缘材料，这些物质的电阻率在 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上。

电阻率在 $10^{-4} \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 之间的物质称为半导体。半导体材料最外层电子既不像导体那样极易摆脱原子核的束缚成为自由电子，也不像绝缘体那样被原子核束缚得那么紧，因此半导体的导电特性介于导体和绝缘体之间，如硅、锗、砷化物等。

1.1.1 本征半导体

不含任何杂质的半导体称为本征半导体。自然界中属于半导体的物质很多，常用的半导体材料主要有硅和锗。它们都是四价元素，在原子结构中最外层轨道上有四个价电子。其简化原子结构模型如图 1-1 所示。

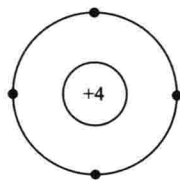


图 1-1 硅和锗简化原子结构模型

把硅或锗等半导体材料拉制成单晶体时，相邻两个原子的一对最外层电子成为共有电子，它们一方面围绕自身的原子核运动，另一方面又出现在相邻原子所属的轨道上，形成共价键结构，如图 1-2 所示。

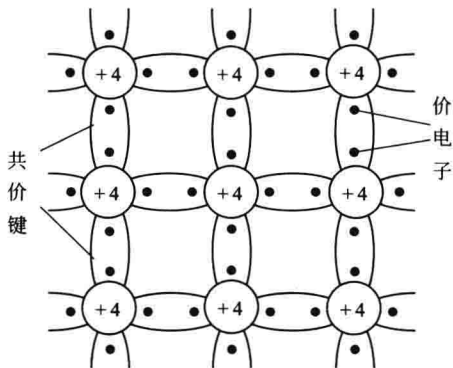


图 1-2 本征半导体共价键晶体结构示意图

在绝对零度时，价电子没有能力挣脱共价键的束缚而成为自由电子，这时的半导体就是良好的绝缘体。当温度升高，共价键中的价电子由于热运动而获得一定的能量，其中少数能够摆脱共价键的束缚而成为自由电子，同时必然在共价键中留下空位，称为空穴。空穴带正电，如图 1-3 所示。这种现象称为本征激发。由此可见，半导体中存在着两种载流子：带负电的自由电子和带正电的空穴。本征半导体中，自由电子与空穴是同时成对产生的，因此，它们的浓度是相等的。

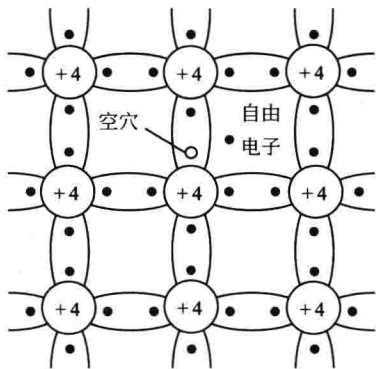


图 1-3 本征半导体中的自由电子和空穴

共价键中出现空穴后，在外电场的作用下，邻近的价电子就有可能填补到这个空位上，而在这个电子原来的位置上又留下新的空穴，以后其他电子又可以转移到这个空位

上,如图 1-4 所示。如此下去,好像空穴在移动,但空穴运动方向与价电子运动方向相反。

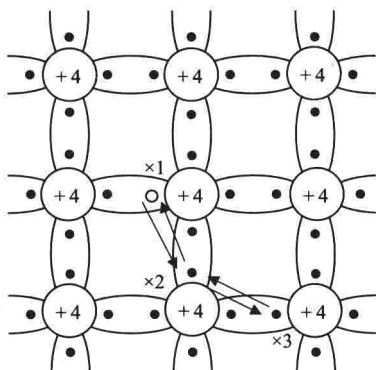


图 1-4 本征半导体中自由电子和空穴的运动

这样,当半导体两端加上电压后,半导体中将出现两部分电流:一是本征激发的自由电子在电场力作用下作定向运动所形成的电子电流;二是空穴移动产生的空穴电流(实际上是束缚电荷移动产生的电流)。半导体中同时存在电子导电和空穴导电,这是半导体最大的特点。

自由电子和空穴都称为载流子,它们总是成对产生,同时又不断复合。在一定温度下,载流子的产生过程与复合过程是相对平衡的,载流子的数目便维持在一定值。温度越高,本征激发就越强烈,半导体中的载流子数目就越多。在常温附近,温度每升高 8°C ,硅的载流子数目就增加一倍;每升高 12°C ,锗的载流子数目就增加一倍。因此,半导体导电能力随温度的升高而显著增强。但尽管如此,常温下的本征半导体的导电能力还是很弱的。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体内掺入微量的杂质就形成了杂质半导体。按掺入的杂质的性质,杂质半导体可分为 N 型半导体和 P 型半导体两类。

(1) N 型半导体

在本征半导体中,掺入微量 5 价元素,如磷、锑、砷等,则原来晶格中的某些硅(锗)原子被杂质原子代替。由于杂质原子的最外层有 5 个价电子,因此它与周围 4 个硅(锗)原子组成共价键时还多余 1 个价电子。多余的价电子不受共价键的束缚,只受自身原子核的吸引,由于这个吸引力很微弱,因此它只要得到较少的能量就能成为自由电子,并留下带正电的杂质离子(不能参与导电),如图 1-5 所示。显然,这种杂质半导体中电子数目远远大于空穴的数目,自由电子成为这种半导体的主要导电方式,所以称为电子型半导体或 N 型半导体。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)。由于 5 价杂质原子可提供自由电子,故称为施主杂质。

(2) P 型半导体

在本征半导体中,掺入微量 3 价元素,如硼、镓、铟等,则原来晶格中的某些硅

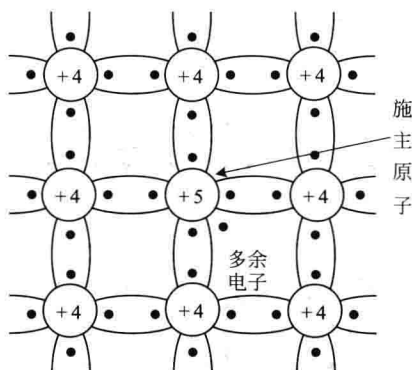


图 1-5 N 型半导体的晶体结构

(锗)原子被杂质原子代替。由于杂质原子的最外层只有 3 个价电子，当它和周围的硅(锗)原子组成共价键时，因为缺少一个电子，所以形成一个空位。其他共价键的电子，只需要摆脱一个原子核的束缚就转移至空位上，形成空穴，并留下带负电的杂质离子(不能参与导电)，如图 1-6 所示。显然，这种杂质半导体中空穴数目远远大于自由电子数目，空穴成为这种半导体的主要导电方式，所以称为空穴型或 P 型半导体。P 型半导体中，空穴是多数载流子，自由电子是少数载流子。

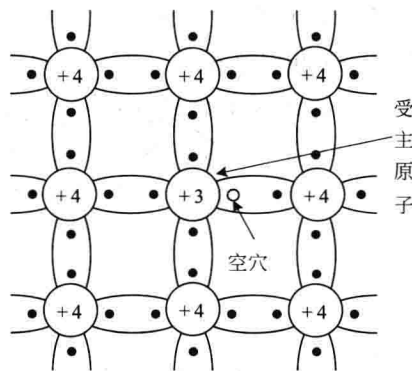


图 1-6 P 型半导体的晶体结构

总之，在杂质半导体中，多数载流子由掺杂形成，其数量取决于掺杂浓度，少数载流子由本征激发产生，其数量由温度决定。在常温条件下，即使杂质浓度很低，多数载流子的数目仍要远远大于少数载流子的数目，因此杂质半导体的导电性能由掺杂浓度决定。

1.1.3 PN 结

在一块本征半导体中，用工艺的办法让一边形成 N 型半导体，另一边形成 P 型半导体，则在两种半导体的交界处形成了 PN 结。PN 结是构成各种半导体器件的基础。

(1) PN 结的形成

图 1-7 (a) 中，P 型半导体中的 $\ominus$ 表示得到一个电子的杂质离子，“○”表示空穴；N 型半导体中， $\oplus$ 表示失去一个电子的杂质离子，“·”表示自由电子。不考虑少数载流子，在 P 型和 N 型半导体的交界面两侧，由于电子和空穴的浓度相差很大，因此将产生扩散

运动。N 区中界面附近的自由电子向 P 区扩散，与 P 区中的空穴复合；P 区中界面附近的空穴向 N 区扩散，与 N 区中的自由电子复合。这样，在界面附近，P 区带负电荷，N 区带正电荷，这个空间电荷区就形成了 PN 结，如图 1-7 (b) 所示。带负电的 P 区和带正电的 N 区间的电位差 U_D 称为电位壁垒。空间电荷区中的电场称为内电场，其方向从 N 区指向 P 区。

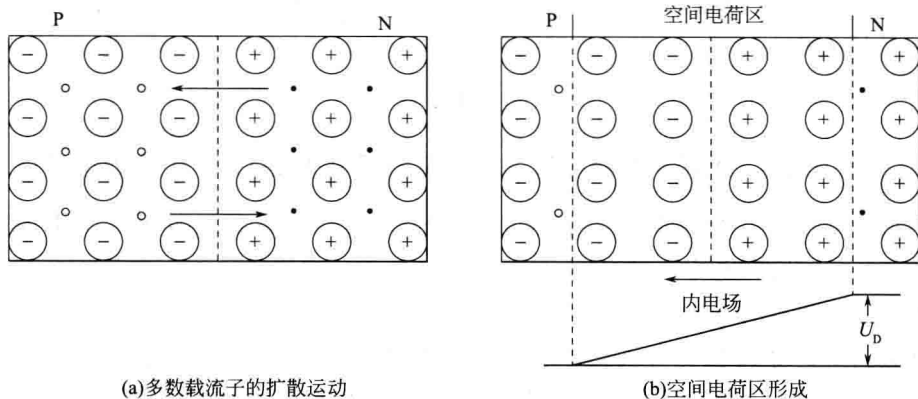


图 1-7 PN 结的形成

在此电场的作用下，P 区中的少数载流子自由电子在电场力的作用下向 N 区移动，N 区中的少数载流子空穴向 P 区移动。通常把载流子在电场力作用下的定向移动称为漂移运动。在这里少数载流子的漂移运动的结果使空间电荷区变窄。扩散与漂移是相互联系又相互矛盾的，扩散使空间电荷区加宽，内电场增强，从而对进一步的扩散产生阻力；另一方面，内电场的增强又使少子的漂移运动得到加强，而漂移又使空间电荷区变窄，内电场减弱，这又使扩散容易进行。当扩散和漂移达到动态平衡时，空间电荷区的宽度就稳定下来，PN 结就处于相对稳定的状态，这时，空间电荷区的宽度一般为几微米至几十微米，电位壁垒 U_D 的大小，硅材料为 $0.6 \sim 0.8V$ ，锗材料为 $0.2 \sim 0.3V$ 。

(2) PN 结的单向导电性

① PN 结外加正向电压。

将电源的正极接 P 区，负极接 N 区，则称此为正向接法或正向偏置。此时外加电压

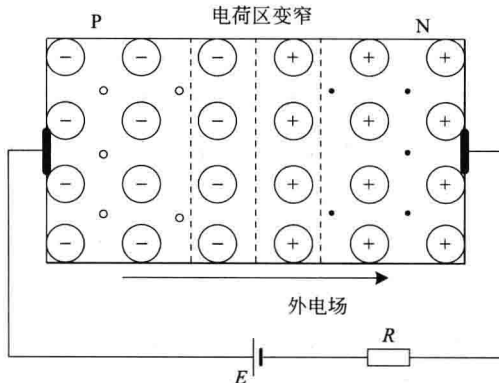


图 1-8 PN 结正向偏置电路

在空间电荷区产生一个与内电场方向相反的外电场，如图 1-8 所示，图中的 R 为限流电阻。在外电场的作用下削弱了内电场，PN 结的动态平衡被破坏，在外电场的作用下，P 区中的空穴进入空间电荷区与一部分负离子中和，N 区中的自由电子进入空间电荷区与一部分正离子中和，从而使整个空间电荷区变窄，多子的扩散运动增强，形成较大的扩散电流，这个电流称为正向电流，其方向从 P 区指向 N 区。

此时，PN 结处于导通状态，它所呈现出的电阻为正向电阻，其阻值很小。正向电压与正向电流存在指数关系：

$$I_D = I_S e^{\frac{U}{U_T}} \tag{1-1}$$

式中， I_D 为流过 PN 结的电流； U 为 PN 结两端电压； $U_T = \frac{kT}{q}$ 称为温度电压当量，其中 k 为玻耳曼常数， T 为绝对温度， q 为电子的电量。在室温下即 $T = 300\text{K}$ 时， $U_T = 26\text{mV}$ ； I_S 为反向饱和电流。

② PN 结外加反向电压。

将电源的正极接 N 区，负极接 P 区，则称此为反向接法或反向偏置。此时外加电压在空间电荷区产生一个与内电场同向的外电场，因而增强了内电场的作用。在外电场的作用下，P 区中空穴和 N 区中的自由电子各自背离空间电荷区运动，使空间电荷区变宽，从而抑制了多子的扩散，加强了少子的漂移，形成反向电流，如图 1-9 所示。

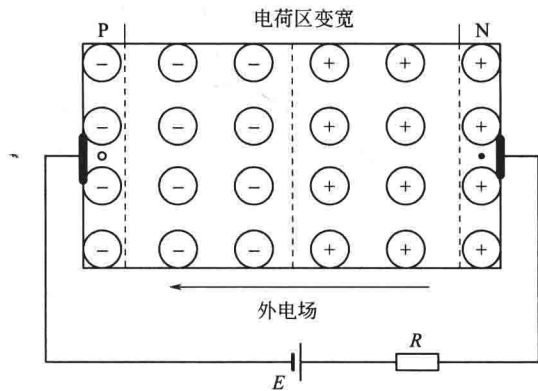


图 1-9 PN 结反向偏置电路

由于少子的浓度很低，因此这个反向电流非常小。在一定温度条件下，当外加电压超过零点几伏时，少子基本全被电场拉过去形成漂移电流，此时反向电压再增加，载流子数目也不会增加，因此反向电流也不会增加，故反向电流又称反向饱和电流，一般用 I_S 表示，即 $I_D = -I_S$ 。

此时，PN 结处于截止状态，呈现的电阻称为反向电阻，其阻值很大，高达 $10^5 \Omega$ 以上。

综上所述，PN 结正向偏置时，回路中有较大的正向电流，PN 结呈现的电阻很小，PN 结处于导通状态；PN 结反向偏置时，回路中的电流非常小，PN 结呈现的电阻非常高，PN 结处于截止状态。

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的基本结构

半导体二极管 (Diode) 是由 PN 结加上引线和管壳构成的。与 P 型半导体相连的引线为二极管的阳极, 也称正极; 与 N 型半导体相连的引线为二极管的阴极, 也称负极。二极管的外形和电路符号分别如图 1-10 (a)、(b) 所示。

二极管的类型很多, 按制造二极管的材料分, 有硅二极管和锗二极管。按制造工艺来分, 二极管又可分点接触型和面接触型两类。点接触型二极管 PN 结面积小, 不能通过较大电流, 适用于数字电路、高频检波等电路; 面接触型二极管 PN 结面积大, 可以通过较大电流, 适用于整流等电路。

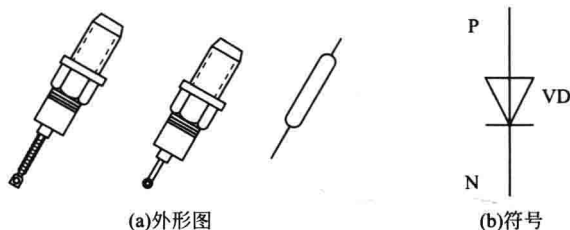


图 1-10 二极管的外形和电路符号

1.2.2 二极管的伏安特性

二极管两端电压 U 和通过二极管的电流 I_D 之间的关系, 即 $I_D = f(U)$, 称为二极管的伏安特性。根据半导体理论, 它们之间的关系可写成如下通式:

$$I_D = I_S (e^{\frac{U}{U_T}} - 1) \quad (1-2)$$

此方程称为二极管的伏安特性方程, 如图 1-11 所示, 该曲线称为伏安特性曲线。

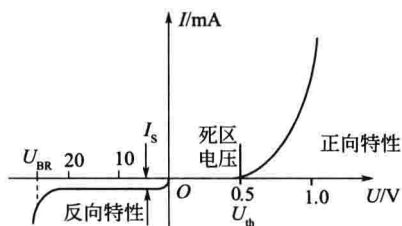


图 1-11 二极管的伏安特性

(1) 二极管的正向特性

由二极管的伏安特性曲线 (正向特性曲线在第一象限) 可以看出, 当外加正向电压很小时, 外电场还不能克服 PN 结内电场对多数载流子的扩散运动的阻碍, 故这时的正向电

流很小,只有当正向电压高于某一值 U_{on} 后,内电场被大大削弱,才有明显的正向电流,二极管导通,该电压称为死区电压或门限电压。 U_{on} 的大小与材料、温度有关,在室温下,硅管的 U_{on} 约为 $0.6\sim 0.8V$,锗管的 U_{on} 约为 $0.1\sim 0.3V$ 。

可见当二极管正向导通后,正向电流随外电压增加而明显增加,而它的正向压降却比较小,通常认为硅管的导通压降为 $0.6\sim 0.8V$,锗管的为 $0.2\sim 0.3V$ 。若将二极管视为理想二极管,则可认为其正向压降为零。

(2) 二极管的反相特性

由二极管的伏安特性曲线(反向特性曲线在第三象限)可以看出,当二极管加上反向电压时,反向电流数值很小且基本不变,称为反向饱和电流。此时二极管处于截止状态。若将二极管视为理想二极管,则可认为连接二极管的支路为开路。

(3) 二极管的反向击穿

当二极管两端所加反向电压增大到某一定值 U_{BR} 后,反向电流将急剧增大,这种现象称为击穿, U_{BR} 称为反向击穿电压。这种由于外电压增大,从而产生强大的外电场把价电子从共价键中拉出来,产生大量的载流子而使得反向电流迅速增大的击穿现象,称为电击穿(又称齐纳击穿),这种击穿是可逆的。但如果不采取措施加以限制,过大的电流会让 PN 结过热从而由电击穿转向热击穿(又称雪崩击穿),烧坏 PN 结。烧坏的结果会使二极管变为短路或开路,从而失去单向导电的性能。

1.2.3 二极管的主要参数

在选用二极管时,主要考虑以下几个参数。

(1) 最大整流电流 I_F

最大整流电流是指二极管长时间工作时,允许通过的最大正向平均电流,它由二极管的面积、材料和散热情况决定。工作时应使平均工作电流小于 I_F 。

(2) 最大反向工作电压 U_R

这是二极管加反向电压时为防止击穿所取的安全电压,超过此值时,二极管可能被击穿。为了留有余地,通常取击穿电压 U_{BR} 的一半作为 U_R 。

(3) 反向电流 I_R

I_R 是指二极管未击穿时的反向电流值。此值越小,二极管的单向导电性越好。由于反向电流是由少数载流子形成,所以 I_R 受温度的影响很大。

(4) 最高工作频率 f_M

f_M 的值主要取决于 PN 结结电容的大小,结电容越大,则二极管允许的最高工作频率越低。使用时,若工作频率超过 f_M ,则二极管的单向导电性变差,甚至无法使用。

1.2.4 二极管的主要应用

二极管的应用范围很广,主要是利用它的单向导电性,通常用于整流、检波、限幅、元件保护等,在数字电路中常作为开关元件。

二极管的整流、检波电路放在后面的章节进行讨论,这里主要介绍二极管的限幅电路、元件保护电路和开关电路的基本原理。

(1) 限幅电路

限幅电路的作用是限制电路中输出电压的幅度。它可用于波形变换,输入信号的幅度选择、极性选择和波形整形等。

在图 1-12 的限幅电路中,假设二极管 VD 为理想二极管,改变电路中的 E 值就可以改变电路的输出电压幅度。假设输入电压 u_i 按正弦规律变化,讨论如下:

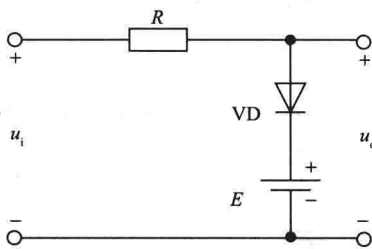


图 1-12 并联二极管上限幅电路

① 当 $E=0\text{V}$ 时, $u_i>0\text{V}$ 时二极管导通, $u_o=0\text{V}$; $u_i<0\text{V}$ 时二极管截止, $u_o=u_i$ 。波形图如图 1-13 (a) 所示。

② 当 $0<E<U_m$ 时, $u_i<E$, 二极管截止, $u_o=u_i$; $u_i>E$, 二极管导通, $u_o=E$ 。波形图如图 1-13 (b) 所示。

③ $-U_m<E<0$ 时, $u_i<-E$, 二极管截止, $u_o=u_i$; $u_i>-E$, 二极管导通, $u_o=E$ 。波形图如图 1-13 (c) 所示。

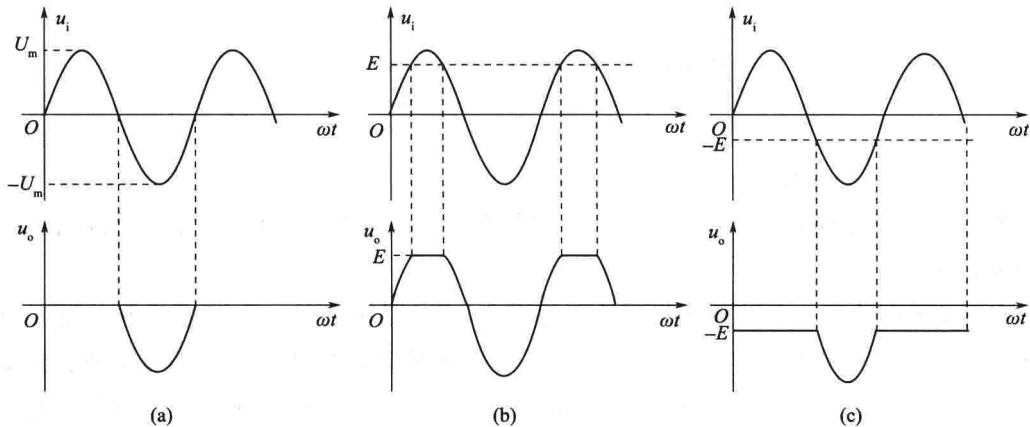


图 1-13 二极管并联上限幅电路波形关系图

通常将输出电压 u_o 开始不变的电压值称为限幅电平,图 1-13 所示的限幅电路中的电源 E 值决定电路的限幅电平。当输入电压高于限幅电平时,输出电压保持不变的限幅称上限幅,图 1-13 所示电路即为上限幅电路;当输入电压低于限幅电平时,输出电压保持不变的限幅称为下限幅。如将图 1-13 中的二极管极性反过来接,则组成下限幅电路,如图 1-13 所示。

图 1-12 和图 1-14 所示的电路中,二极管与输出端并联,故称为并联限幅电路。若二极管 VD 与输出端串联,则组成串联限幅电路,如图 1-15 所示。由上、下限限幅电路组合起来则组成双向限幅电路,如图 1-16 所示。其原理及输入输出关系波形图留待读者自行分析。