

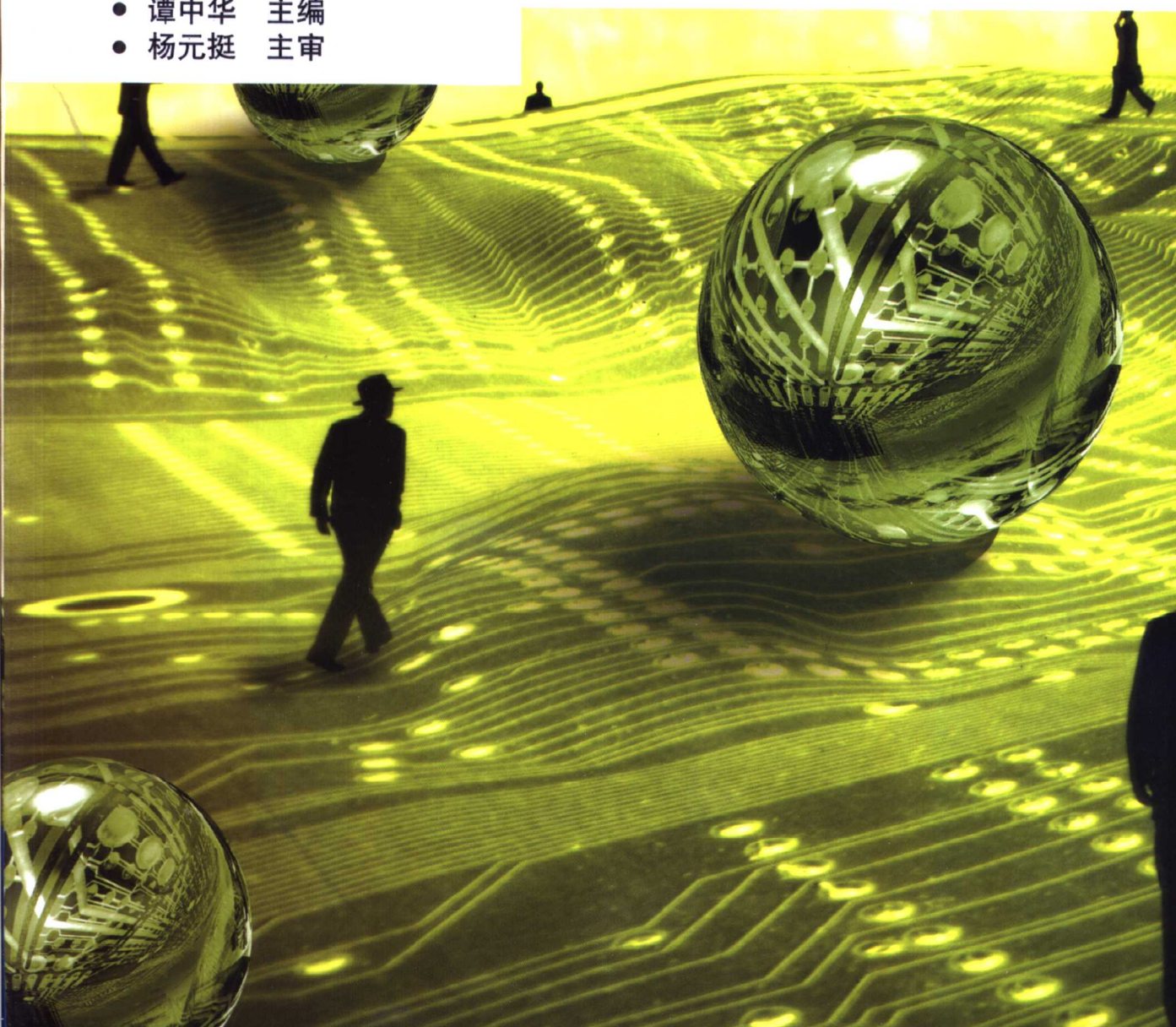
高等职业教育电子信息类贯通制教材

· 电子技术专业



模拟电子线路

- 谭中华 主编
- 杨元挺 主审



 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

本书配有电子教学参考资料包

<http://www.phei.com.cn>

高等职业教育电子信息类贯通制教材（电子技术专业）

模拟电子线路

谭中华 主 编

杨元挺 主 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要内容包括：半导体器件、基本放大电路、负反馈放大器、运算放大器、正弦波振荡器、低频功率放大器、直流稳压电源、发送与接收原理、高频小信号放大器、调幅技术、调频技术、自动控制电路。

本书可作为高职高专院校电子与信息类专业的教材，也可作为相关领域工程技术人员的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子线路/谭中华主编. —北京：电子工业出版社，2004.3

高等职业教育电子信息类贯通制教材·电子技术专业

ISBN 7-5053-9678-1

I. 模 II. 谭… III. 模拟电子—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 (2004) 第 011785 号

责任编辑：朱怀永 特约编辑：郭拓荒

印 刷：北京李史山胶印厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销：各地新华书店

开 本：787×1092 1/16 印张：14.75 字数：371.2 千字

印 次：2004 年 3 月第 1 次印刷

印 数：6 000 册 定价：19.00 元

凡购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。
联系电话：(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlls@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言



本教材是高等职业教育电子信息类贯通制系列教材之一，根据教育部高职高专培养目标和对本课程的基本要求编写而成。

在编写本书过程中，编者力求做到以下几点：

第一，保证基本内容。这是由课程的性质决定的。《模拟电子线路》是电子与信息类专业入门性质的重要技术基础课程，通过本课程的学习使学生掌握电子技术方面的基本理论、基础知识和基本技能，培养学生分析问题和解决问题的能力，并为学习后续课程和今后在专业中应用电子技术打好基础。所以在本教材中十分重视讲清楚基本概念、基本原理和基本分析方法。

第二，注重实践。《模拟电子线路》是一门实践性很强的课程，在本教材中叙述电路的原理时，着重讲清物理概念，尽量避免繁琐的理论计算和推导，介绍比较实用的工程计算和近似估算方法；对于各种模拟集成电路，着重介绍电路的性能特点和正确使用方法，至于电路内部比较复杂的结构，只要求一般了解；结合各章内容，尽量介绍实用电路。

第三，通俗易懂。本书在内容的取舍上严格按高职教材“必需”、“够用”的原则进行，使教材内容做到清楚、准确、简洁。在编写过程中，尽量注意深入浅出，说理清楚，力求做到通俗易懂，可读性好。

本书内容包括半导体器件、基本放大电路、负反馈放大器、运算放大器、正弦波振荡器、低频功率放大器、直流稳压电源、发送与接收原理、高频小信号放大器、调幅技术、调频技术、自动控制电路。每章均按以上的“三点原则”进行编写，在每章后面有本章小结。为了帮助读者进行复习、自我考核以及掌握基本要求，每章给出了习题。这些习题与思考题大多体现了教学的基本要求，也有少数难度稍大的习题。

本书第 1, 8, 10, 11, 12 章由重庆电子职业技术学院谭中华老师编写；第 2 章由大连电子学校孙吉云老师编写；第 4, 6 章由重庆电子职业技术学院李蕾老师编写；第 3, 5, 7, 9 章由四川省电子工业学校吕强老师编写；本书由福建电子工业学校杨元挺老师主审。

本书可作为高职高专院校电子与信息类专业的教材，也可作为相关领域工程技术人员的参考书。

本书还配有教学指南、电子教案及习题答案（电子版），请有此需要的教师与电子工业出版社联系，我们将免费提供。E-mail: Ve@phei.com.cn

由于编者的水平有限，本书难免有欠妥之处，真诚希望广大读者批评指正。

编 者

2003 年 5 月



目 录



第 1 章 半导体器件	1
1.1 PN 结.....	1
1.1.1 半导体基本概念.....	1
1.1.2 PN 结.....	1
1.2 二极管.....	2
1.2.1 二极管的结构与类型.....	2
1.2.2 二极管的伏安特性.....	3
1.2.3 二极管的参数.....	4
1.2.4 二极管的应用.....	5
1.2.5 特殊二极管.....	6
1.2.6 二极管的检测.....	7
1.3 晶体三极管.....	8
1.3.1 三极管的结构与符号.....	8
1.3.2 三极管的放大原理.....	9
1.3.3 三极管的特性曲线.....	10
1.3.4 三极管的参数.....	12
1.3.5 三极管的检测.....	13
1.3.6 特殊三极管.....	14
1.4 场效应管.....	15
1.5 集成运放.....	19
本章小结.....	20
习题 1.....	22
第 2 章 基本放大电路	24
2.1 放大电路概述.....	24
2.1.1 放大电路的概念.....	24
2.1.2 放大电路的性能指标.....	24
2.2 共射基本放大电路.....	26
2.2.1 基本放大电路的组成.....	26
2.2.2 基本放大电路的工作原理.....	27
2.3 图解法分析放大电路.....	30
2.3.1 静态分析.....	30

2.3.2	动态分析	31
2.3.3	电路参数改变对静态工作点的影响	32
2.3.4	静态工作点对波形失真的影响	33
2.3.5	最大输出电压幅值 U_{omax}	34
2.4	微变等效电路法分析放大电路	34
2.4.1	晶体管简化的微变等效电路	34
2.4.2	用微变等效电路法分析放大电路	35
2.5	工作点稳定电路	37
2.5.1	温度变化对静态工作点的影响	37
2.5.2	分压式偏置电路	37
2.6	共集电极电路和共基极电路	39
2.6.1	共集电极电路	39
2.6.2	共基极电路	41
2.7	场效应管放大电路	43
2.7.1	场效应管的偏置电路	43
2.7.2	场效应管放大电路的动态分析	44
2.8	多级放大电路	46
2.8.1	多级放大电路的耦合方式	46
2.8.2	多级放大电路的动态分析	48
2.9	放大电路的频率特性	49
2.9.1	频率特性的基本概念	49
2.9.2	通频带	50
2.10	直接耦合放大电路	50
2.10.1	零点漂移	50
2.10.2	基本差动放大电路	50
2.10.3	实用差动放大电路	52
2.10.4	差动放大电路的四种接法	53
	本章小结	55
	习题 2	55
第 3 章	负反馈放大器	60
3.1	负反馈的基本概念	60
3.1.1	什么是反馈	60
3.1.2	反馈的分类及判断	61
3.2	负反馈的框图和一般关系式	64
3.3	负反馈对放大电路性能的影响	66
3.3.1	提高放大倍数的稳定性	66
3.3.2	减小非线性失真	66
3.3.3	改善放大电路的频率特性—展宽通频带	67
3.3.4	改变输入电阻和输出电阻	67
3.4	负反馈的引入方法	68
3.5	深度负反馈放大电路的估算	69

3.5.1 深度负反馈的特点	69
3.5.2 深度负反馈放大电路的计算	70
本章小结	71
习题 3	72
第 4 章 集成运算放大器	75
4.1 理想运算放大器	75
4.2 三种基本电路	76
4.3 线性应用	79
4.3.1 基本运算电路	79
4.3.2 有源滤波器	83
4.4 集成运放的非线性运用	85
4.4.1 电压比较器	86
4.4.2 精密整流电路	89
4.5 集成运放简介	90
本章小结	91
习题 4	91
第 5 章 正弦波振荡器	93
5.1 自激式振荡器的基本工作原理	93
5.1.1 自激振荡现象	93
5.1.2 产生正弦波自激振荡的条件	94
5.1.3 自激式振荡器的组成	95
5.2 LC 正弦波振荡器	95
5.2.1 LC 并联谐振特性	95
5.2.2 变压器反馈式 LC 正弦波振荡器	97
5.2.3 三点式振荡器的组成原则	98
5.2.4 电感三点式振荡器 (哈特莱振荡器)	98
5.2.5 电容三点式振荡器 (考毕兹振荡器)	99
5.2.6 电容三点式振荡器的改进	100
5.3 石英晶体振荡器	102
5.3.1 石英谐振器	102
5.3.2 石英晶体振荡电路	104
5.3.3 晶体振荡电路举例	106
5.4 RC 正弦波振荡器	106
5.4.1 RC 串联电路的选频特性	106
5.4.2 RC 桥式振荡器	107
本章小结	109
习题 5	109
第 6 章 低频功率放大器	111
6.1 功率放大器的概述	111
6.1.1 功率放大器的特点和分类	111

6.1.2	主要技术指标	112
6.2	互补对称功率放大器	113
6.2.1	OCL 功率放大器	113
6.2.2	单电源互补对称功率放大器 (OTL)	115
6.3	集成功放简介	117
	本章小结	119
	习题 6	119
第 7 章	直流稳压电源	122
7.1	直流稳压电源概述	122
7.1.1	直流稳压电源的组成与分类	122
7.1.2	直流稳压电源的质量指标	123
7.2	整流、滤波电路	124
7.2.1	整流电路	124
7.2.2	可控硅整流电路	126
7.2.3	滤波电路	128
7.3	稳压管稳压电路	131
7.3.1	稳压管稳压电路及稳压原理	131
7.3.2	限流电阻的计算	133
7.3.3	稳压管稳压电路的特点	133
7.4	串联型稳压电源	134
7.4.1	电路原理	134
7.4.2	串联型晶体管稳压电路	134
7.4.3	影响串联型稳压电源输出电压稳定的因素	136
7.5	三端集成稳压电路	136
7.5.1	结构框图	136
7.5.2	三端集成稳压器的类型	137
7.5.3	三端集成稳压电路的应用	137
	本章小结	139
	习题 7	139
第 8 章	发送与接收原理	141
8.1	发送与接收的基本原理	141
8.1.1	发送设备	141
8.1.2	接收设备	143
8.1.3	无线电电波划分	143
8.2	信号频谱	144
8.3	模拟乘法器	145
8.3.1	模拟乘法器概述	145
8.3.2	模拟乘法器应用	145
8.4	频率变换基本原理	147
8.4.1	模拟乘法器的频率变换原理	147

8.4.2	非线性器件的相乘作用	148
8.5	变频	150
8.6	混频	152
8.6.1	模拟乘法器混频电路	152
8.6.2	三极管混频电路	152
8.6.3	混频器的失真和干扰	154
	本章小结	157
	习题 8	157
第 9 章	高频小信号放大器	159
9.1	宽带放大器	159
9.1.1	概述	159
9.1.2	扩展放大器通频带的方法	160
9.2	小信号谐振放大器	167
9.2.1	谐振放大器概述	167
9.2.2	单调谐回路谐振放大器	169
9.3	集成中频放大器	171
9.3.1	集成中频放大器的组成及特点	172
9.3.2	陶瓷滤波器	172
9.3.3	声表面波滤波器	173
	本章小结	174
	习题 9	174
第 10 章	调幅技术	175
10.1	基本性质	175
10.1.1	调幅波的数学表达式与波形	175
10.1.2	调幅波的频谱和带宽	177
10.1.3	调幅波的功率关系	178
10.2	调幅电路	179
10.2.1	普通调幅电路	179
10.2.2	双边带调幅电路	182
10.2.3	单边带调幅电路	183
10.3	检波	184
10.3.1	检波概述	184
10.3.2	同步检波器	185
10.3.3	大信号包络检波	186
	本章小结	189
	习题 10	189
第 11 章	调频技术	191
11.1	调角波的基本性质	191
11.2	调频电路	196
11.2.1	直接调频电路	196

11.2.2 间接调频电路	199
11.3 鉴频电路	201
本章小结	208
习题 11	208
第 12 章 自动控制电路	210
12.1 自动增益控制 (AGC) 电路	210
12.2 自动频率控制 (AFC) 电路	213
12.3 锁相环路	214
12.3.1 锁相环路概述	214
12.3.2 锁相环路的基本原理	215
12.3.3 锁相环路的应用	217
本章小结	220
习题 12	221
参考文献	222

第1章 半导体器件

1.1 PN 结

1.1.1 半导体基本概念

自然界的物质按导电能力不同可分为导体、半导体和绝缘体。

导电能力强的物质称为导体，如银、铜、铝等金属。导电能力弱的物质称为绝缘体，如塑料、玻璃等。导电能力介于导体与绝缘体之间的物质称为半导体，如硅、锗、硒等。纯净的半导体又称本征半导体，其内部结构按一定规律整齐排列。

半导体材料如果受热或光照后，导电性能变好，这就是半导体的热敏特性和光敏特性。如果在本征半导体中掺入微量元素后，导电性能将大大提高，这就是半导体的掺杂特性。在本征半导体中掺入不同的微量元素，就会得到导电性质不同的半导体材料。根据半导体的掺杂特性，可制成两大类型半导体，即 P 型半导体和 N 型半导体。通常是在一块本征半导体上，利用一定的掺杂工艺，在半导体两边形成 P 型半导体和 N 型半导体，其交界面形成 PN 结。PN 结是构成各种半导体器件的基础。

常见的半导体器件主要有晶体二极管、晶体三极管、场效应管、晶闸管以及由它们构成的集成电路，本章将重点介绍常见的半导体器件的外特性和检测方法。

1.1.2 PN 结

1. PN 结的形成

人们研究发现，在半导体材料中，通常有两种携带电荷的“粒子”，一种粒子带负电荷，称为自由电子，另一种粒子带正电荷，称为“空穴”，它们统称为载流子。在外电场的作用下，载流子做定向移动。由于掺入的杂质不同，从而形成两类不同的半导体。

(1) P 型半导体

P 型半导体又称为空穴型半导体，其内部空穴数量比自由电子数目多。例如，在本征硅中加入少量的硼元素，即可得到硅的 P 型半导体。

(2) N 型半导体

N 型半导体又称为电子型半导体，其内部自由电子数目比空穴数量多。例如，在本征硅中加入少量的磷元素，即可得到硅的 N 型半导体。

P 型半导体和 N 型半导体虽然导电能力大大增强了，但并不能直接用来制造半导体器件。通常是在一块本征半导体上，利用一定

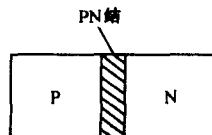


图 1-1 PN 结

的掺杂工艺，在半导体两边形成 P 型半导体和 N 型半导体，在两种半导体的交界处称为 PN 结，如图 1-1 所示。PN 结是构成各种半导体器件的基础。

2. PN 结的特性

(1) PN 结具有单向导电性

由如图 1-2 所示的实验原理图可知：当一个 PN 结的 P 区接电源正极，N 区接电源负极时，接在电路中的灯亮，表明 PN 结中有较大电流通过，此时称 PN 结正向偏置或称导通，所加电压为正偏电压。反之，当一个 PN 结的 P 区接电源负极，N 区接电源正极时，接在电路中的灯不发光，表明 PN 结中没有或只有较小电流通过，此时称 PN 结反向偏置，或称截止，所加电压为反偏电压。

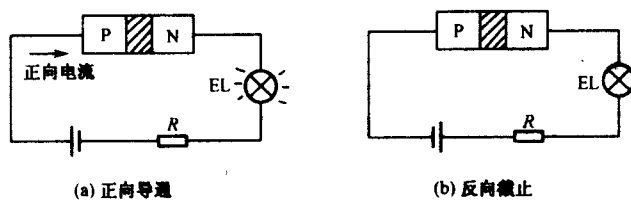


图 1-2 PN 结具有单向导电性实验原理图

因此，PN 结具有单向导电性可总结为：正向导通，反向截止。

(2) PN 结的电容效应

电容是一个存储电荷的元件，当其两端电压变化时，其存储的电荷也发生变化，因此就出现充、放电现象。PN 结也具有上述特性，因此它具有电容效应。

1.2 二极管

1.2.1 二极管的结构与类型

1. 二极管的结构

一个二极管是由一个 PN 结加上引线经封装而构成的，如图 1-3 (a) 所示。在 PN 结的两端引出两个电极，P 型半导体端为正极，N 型半导体端为负极。如图 1-3 (b) 所示为二极管电路符号，三角形箭头的方向为导通方向，VD 是二极管的文字符号。

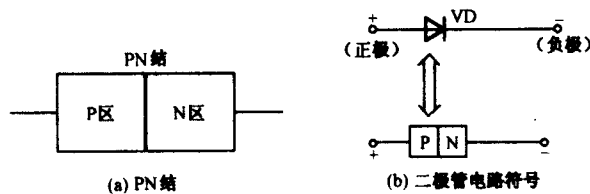


图 1-3 二极管的结构和符号

2. 二极管的类型

二极管按 PN 结的材料可分为硅管和锗管两类。

二极管按 PN 结的构造可分为点接触型和面接触型两类。

二极管按工作频率可分为高频管和低频管。

二极管按用途可分为普通管、整流管、变容管、开关管、稳压管、发光管、光敏管等。

国产半导体器件的型号由一组数字和英文字母构成，用于表示器件的类型、材料和参数，其命名方法见本章小结内容。

1.2.2 二极管的伏安特性

二极管的核心部分是 PN 结，PN 结具有单向导电性，这也是二极管的主要特性。

二极管的伏安特性是指二极管两端的电压和电流之间的函数关系，伏安特性曲线是定量描述这两者关系的曲线，如图 1-4 所示。

1. 正向特性

图 1-4 中 OB 段为正向特性区域。

(1) OA 段

当二极管两端的电压为零时，电流也为零。当电压升高时，电流很小且基本不变。这一段称为死区，相对应的电压值为 $0\sim 0.5\text{V}$ 左右。死区的特点是：有电压但基本没有电流。

(2) AB 段

电流随电压的增大而急剧增大，电流与电压近似呈线性关系，这一段称为线性区。线性区的特点是：电流的变化范围很大，相对应的电压变化范围却很小。一般硅管 $0.6\sim 0.8\text{V}$ ，锗管 $0.2\sim 0.3\text{V}$ ，称为导通电压。在正常使用时（即二极管充分导通时），可认为电压基本保持不变，相对应的值为 0.7V （硅管）和 0.3V （锗管）。

图 1-4 中 A 点所对应的电压叫门电压，也叫死区电压，用 U_{th} 表示。硅管的 U_{th} 为 0.5V 左右，锗管的 U_{th} 为 0.2V 左右。当二极管所加的正向电压大于 U_{th} 时，二极管处于正向导通状态，呈低阻。

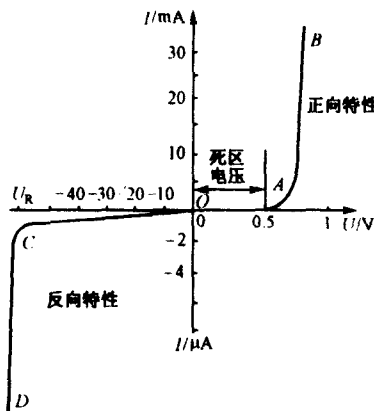


图 1-4 二极管的伏安特性曲线

2. 反向特性

图 1-4 中， OD 段为反向特性区域。

(1) OC 段

当反向电压由零增大到 0.1V 时，只有极小的反向电流，随后，反向电压再增大，反向电

流也基本不变, 保持在极小值。此时的反向电流称为二极管的反向饱和电流, 这一段称为反向截止区。截止区的特点是: 反向电流不随反向电压的增大而增大, 且数值很小。常温下, 硅二极管的反向电流为纳安 (nA) 级, 锗二极管的反向电流为微安 (μA) 级。

(2) CD 段

图 1-4 中, C 点所对应的电压叫反向击穿电压, CD 段称为反向击穿区。击穿区的特点是: 反向电流变化很大, 相对应的反向电压却变化很小。稳压二极管就是利用这种特性制成的。

值得注意的是, 普通二极管不允许进入击穿区, 否则二极管的 PN 结因过热将会被击穿, 造成永久性的损坏。

二极管在应用时, 为简化分析, 常将其理想化为一个开关, 如图 1-5 所示, 其中 A 点对应的电压称为二极管的导通电压。材料不同的二极管其导通电压不同, 硅管的导通电压为 0.7V; 锗管的导通电压为 0.3V。即二极管导通时, 正向压降大于其导通电压时, 相当于开关闭合; 加在二极管两端的电压小于其导通电压时, 视其反向电流为 0, 相当于开关断开。

3. 温度特性

由于二极管主要由 PN 结构成, 所以它的特性对温度很敏感。当温度上升时, 正向电流增大, 故正向特性向左移动; 反向电流剧增, 反向特性向下移动。若温度下降, 则情况与上述相反。二极管的温度特性如图 1-6 所示。

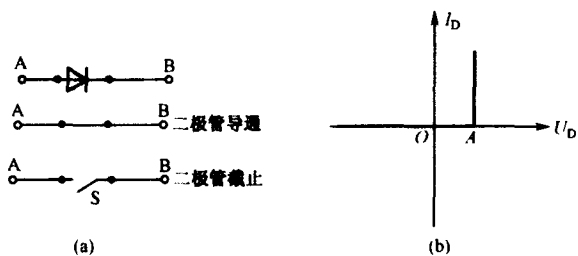


图 1-5 二极管的理想化特性曲线

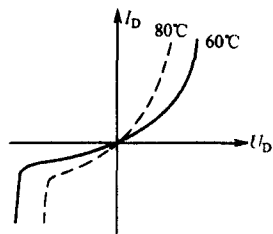


图 1-6 二极管的温度特性

1.2.3 二极管的参数

二极管的工作性能可以用参数来表示, 其主要参数有以下几个。

(1) 最大整流电流 I_{FM}

二极管长期工作时允许通过的最大正向平均电流。使用中超过此值, 管子将会因过热而损坏。

(2) 反向击穿电压 U_R

反向击穿电压是二极管能承受的最高反向电压, 外加电压超过该电压后, 将导致 PN 结被击穿, U_R 通常是在反向偏置情况下, 反向电流增加到某一规定值的反向电压值 (查手册), 此值与温度有关。

(3) 最高反向工作电压 U_{RM}

二极管正常工作时允许承受的最高反向电压, 规定为反向击穿电压的一半左右。

(4) 最高工作频率 f_M

最高工作频率是指保证二极管正常工作时所加信号的最高频率。如果流过二极管电流的频率大于该值, 二极管的单向导电性变差, 甚至失去单向导电性。 f_M 与二极管 PN 结电容有

关, PN 结电容越大, f_M 越小。

表 1-1 列出了常见国产二极管的参数, 供读者方便查阅。

表 1-1 常见国产二极管的参数

型号	额定正向电流 (mA)	最高反向工作电压 (V)	反向击穿电压(反向电流 400mA) (V)	正向电流 (正向电压为 1V) (mA)	反向电流(反向电压为 10 100V) (μ A)	最高工作频率 (MHz)	极间电容 (pF)
2AP1	16	20	≥ 40	≥ 2.5	≤ 250	150	≤ 1
2AP7	12	100	≥ 150	≥ 5.0	≤ 250	150	≤ 1

1.2.4 二极管的应用

二极管因具有单向导电性, 所以成为整流电路的主要元件, 整流的有关知识将在第 7 章中介绍, 下面介绍二极管的几种其他应用举例。

(1) 钳位

在如图 1-7 所示电路中, 输入端 A 的电位 $U_A=0V$, 输入端 B 的电位 $U_B=3V$, 输出端 Y 的电位应为多少呢?

假定二极管为理想二极管, 即其正向导通时, 管压降为 $0V$, 反向截止时, 相当于开路。因为 A 端电位比 B 端低, 因此二极管 VD_1 优先导通, 则 VD_1 正极端 C 电位也应与 A 端相同, 即 $U_C=0V$, 此时 VD_2 的负极端电位 $U_B=3V$, 正极端电位为 $0V$, 承受反向电压, 因而截止。这里 VD_1 起钳制电位的作用, 将输出端 Y 的电位钳制在 $0V$ 。二极管的这种作用称为钳位。

(2) 隔离

在图 1-7 所示电路中, 注意到 VD_2 两边的电位不同, VD_2 将输入端和输出端两边隔离开来, VD_2 在这里的作用称为隔离, 即把两种不同电位的电路隔离开来, 互不影响, 电子电路中常常要用到这一点。

(3) 限幅

二极管的限幅作用是指将电路的输出信号幅度限制在某一电平值的一种作用。

图 1-8 所示电路中, 仍假定二极管是理想的, 当输入电压 u_i 在正半周时, 且 $U_{im} > E_S$, 二极管 VD 导通将输出 u_o 的幅度限制在 $U_{om} = E_S$ 上, 当 $U_i < E_S$ 时, 二极管承受反向电压而截止, 二极管 VD 两端相当于开路。

二极管将电路输出信号的幅度限制在 $U_{om} \leq E_S$, 这种作用称为限幅。

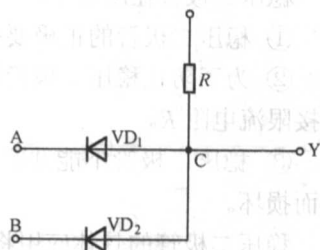


图 1-7 二极管的钳位作用

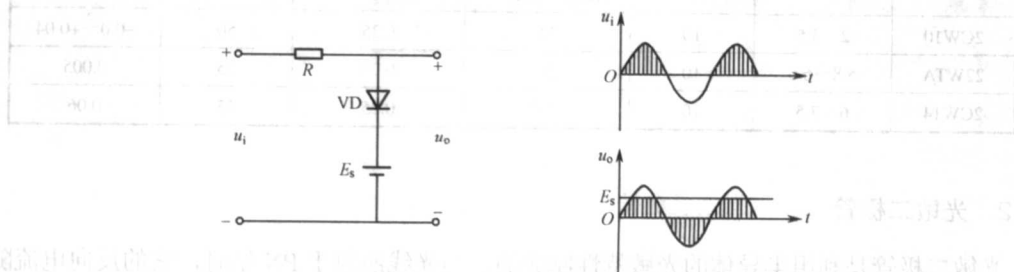


图 1-8 二极管的限幅作用

1.2.5 特殊二极管

下面讲一些具有特殊功能和用途的二极管，有的在—般电路中也应用得很多，例如，稳压二极管。其他管子仅做介绍，以扩大知识面。

1. 稳压二极管

稳压二极管是利用特殊工艺制造的面接触型二极管，其代表符号如图 1-9 (a) 所示。图 1-9 (b) 所示为稳压二极管的伏安特性，通常是工作在反向击穿区。它是利用管子反向击穿时电流在较大范围内变化，而管子两端的电压几乎不变的特点，实现稳压。

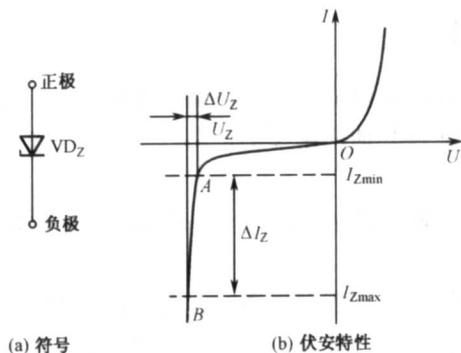


图 1-9 稳压二极管的符号和伏安特性

稳压二极管在应用中应当注意以下几个方面的问题：

- ① 稳压二极管的正极要接低电位，负极要接高电位，保证工作在反向击穿区。
- ② 为了防止稳压二极管的工作电流超过最大稳定电流 I_{Zmax} 而发热损坏，必须在回路中串联限流电阻 R 。
- ③ 稳压二极管不能并联使用，以免因稳压值的差异造成管子电流不均，造成稳压管过载而损坏。

稳压二极管的具体应用将在第 7 章中详细介绍。

稳压二极管常用 2CW, 2DW 命名，表 1-2 列出了几种典型的稳压二极管的主要参数。

表 1-2 几种典型的稳压二极管的主要参数

型号	稳压电压 U_Z (V)	稳压电流 I_Z (mA)	最大稳定电流 ($-60 \sim 50^\circ\text{C}$) I_{Zmax} (mA)	耗散功率 P_M (W) ($-60 \sim +50^\circ\text{C}$)	动态电阻 r_Z (Ω)	温度系数 K (%/ $^\circ\text{C}$)
2CW10	2~3.5	10	71	0.25	50	-0.0~+0.04
22WTA	5.8~6.6	10	30	0.20	25	0.005
2CW14	6~7.5	10	33	0.25	15	0.06

2. 光敏二极管

光敏二极管是利用半导体的光敏特性制成的。当光线照射于 PN 结时，它的反向电流随光照强度的增加而上升，所以称为光敏二极管，或光电二极管。光敏二极管的符号如图 1-10 (a)

所示, 伏安特性如图 1-10 (b) 所示。光敏二极管可以用来作为光控元件。太阳能电池就是不需外加电源, 直接把光能变成电能。太阳能电池的反向电流与照度 E 成正比。

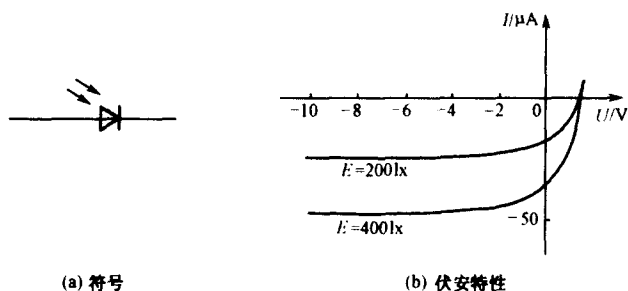


图 1-10 光敏二极管的符号和伏安特性

3. 发光二极管

发光二极管, 顾名思义就是将电能转变为光能的管子。它是利用元素周期表中 III, V 族元素的化合物制造而成的。如利用波长为 $655 \times 10^{-9} \text{m}$ 磷砷化钾制成的二极管发出红光, 光波长为 $583 \times 10^{-9} \text{m}$ 磷砷化钾制成的二极管发出黄光, 波长为 $565 \times 10^{-9} \text{m}$ 磷化镓制成的二极管发出绿光。发光二极管的符号如图 1-11 (a) 所示, 伏安特性如图 1-11 (b) 所示。发光二极管的死区电压比普通二极管高, 发光强度与正向电流的大小成正比。应用时加正向电压, 并接入适当的限流电阻。发光二极管常用做显示器件。

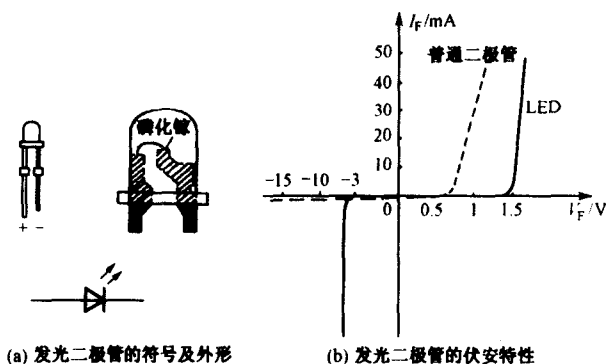


图 1-11 发光二极管的符号及外形和伏安特性

4. 变容二极管

前边已经讲过, 二极管具有电容效应, 反向偏置时, PN 结变宽, 反向电阻加大, 可以用来作为电容器。电容量与所加的电压大小有关, 可以通过改变其直流电压的大小达到改变电容的目的。这种二极管的电容数值很小, 为 pF 数量级, 通常用于高频电路。变容二极管的符号如图 1-12 (a) 所示, 而如图 1-12 (b) 所示为某种变容二极管的电容量 C 与反偏电压 (取绝对值) 的关系。

1.2.6 二极管的检测

二极管具有正向导通、反向截止的单向导电特性, 因此可用万用表来判断二极管的正、负极及其性能好坏。