



全国高等专科教育自动化类专业规划教材

模拟电子技术

刘振庭 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



全国高等专科学校教育自动化类专业规划教材

模 拟 电 子 技 术

主 编 刘振庭

副主编 董蕴华

参 编 李福勤 蔡炜 邓彬伟 张文倩

主 审 杨勇



机 械 工 业 出 版 社

本书在对内容方面保持知识的系统性和联贯性的基础上,对较深的理论推导做了大胆的删减。突出介绍新技术、新工艺、新方法,注重实际应用。本书内容包括半导体器件、基本放大电路、放大电路的频率特性、场效应晶体管放大电路、集成运算放大器、负反馈放大电路、集成运算放大器的应用、波形产生电路和变换电路、低频功率放大器和直流电源等。

本书适合作为高职高专院校及应用型本科院校电气工程及自动化类、电子信息类专业教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考用书。为方便学生自学,本书在每章后设计了难易适中的习题,并在书后附了较详细的解题过程及答案。为方便教学,本书还配有配套的实验教材《电子技术实验与实训》(书号:7-111-19559-0)和电子教案。凡选用本书作为教材的学校均可获得免费电子教案一份,咨询电话:010-88379758。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/刘振庭主编. —北京:机械工业出版社, 2006.7

全国高等专科教育自动化类专业规划教材

ISBN 7-111-19596-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 080558 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:于宁高倩

责任编辑:高倩 版式设计:冉晓华 责任校对:吴美英

封面设计:鞠杨 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·10.25 印张·250 千字

0 001—4 000 册

定价:17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线电话(010)68354423

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是按照教育部颁发的《高职高专教育模拟电子技术基础教程教学基本要求》编写的。可作为高职高专学校电气及自动化类、电子信息类及其他相近专业模拟电子技术课程的教材，也可作为应用型本科院校和职工大学相关专业模拟电子技术课程教材。

本书具有以下特点：

(1) 在保证必要的基本系统理论内容前提下，大胆地删减了理论推导的篇幅和深度，突出“够用为度”的原则。

(2) 重点介绍了集成电路的外特性、选用原则和应用实例，侧重于培养学生灵活运用所学知识、独立分析解决实际问题的能力。

(3) 加强实践训练环节，注重对学生动手能力的培养，使理论和实践紧密结合，融为一体，提出与理论教学同步对应的实验、实训建议（实验实训内容由配套实验、实训教材提供）。

(4) 习题难易程序适中，概括全面，书后附有部分习题详细解题过程及参考答案。

(5) 为方便教学，实现多媒体授课。本书进行了电子教案、课程计划参考、模拟试题库等立体化配套产品的开发。

本书由西安航空技术高等专科学校刘振庭担任主编，河南机电高等专科学校董蕴华担任副主编，由西安航空技术高等专科学校杨勇担任主审。全书共分10章，每章配有本章提要、小结和习题，参考学时为60~70学时。本书第1章和第2章由西安航空技术高等专科学校张文倩编写；第3章和第4章由河南机电高等专科学校李福勤编写；第5章和第6章由兰州工业高等专科学校蔡炜编写；第7章由西安航空技术高等专科学校刘振庭编写；第8章由黄石理工学院邓彬伟编写；第9章和第10章由河南机电高等专科学校董蕴华编写。全书由刘振庭统稿。

本书在编写过程中得到了西安航空技术高等专科学校刘舒拉等老师的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者指正。

编 者

常用符号说明

1. 基本符号

q	电荷	L	电感
φ	磁通	C	电容
I, i	电流	M	互感
U, u	电压	Z	阻抗
P, p	功率	X	电抗
W, w	能量	Y	导纳
R, r	电阻	B	电纳
G, g	电导	A	放大倍数

2. 电压、电流

英文小写字母 $u(i)$, 其下标若为英文小写字母, 则表示交流电压 (电流) 瞬时值 (例如, u_o 表示输出交流电压瞬时值)。

英文小写字母 $u(i)$, 其下标若为英文大写字母, 则表示含有直流的电压 (电流) 瞬时值 (例如, u_O 表示含有直流的输出电压瞬时值)。

英文大写字母 $U(I)$, 其下标若为英文小写字母, 则表示正弦电压 (电流) 有效值 (例如, U_o 表示输出正弦电压有效值)。

英文大写字母 $U(I)$, 其下标若为英文大写字母, 则表示直流电压 (电流) (例如, U_O 表示输出直流电压)。

$\dot{U}, \dot{I}$	正弦电压、电流相量 (复数量)	u_O	含有直流成分输出电压的瞬时值
U_m, I_m	正弦电压、电流幅值	U_R	基准电压、参考电压、二极管最大反向工作电压
U_Q, I_Q	电压、电流的静态值	I_R	参考电流、二极管反向电流
U_f, I_f	反馈电压、电流有效值	U_+, I_+	运放同相端输入电压、电流
U_{CC}, U_{EE}	集电极、发射极直流电源电压	U_-, I_-	运放反相端输入电压、电流
U_{BB}	基极直流电源电压	U_{id}	差模输入电压信号
U_{DD}, U_{SS}	漏极和源极直流电源电压	U_{ic}	共模输入电压信号
U_S, I_S	直流电压源、电流源	U_{oim}	整流或滤波电路输出电压中基波分量的幅值
u_s, i_s	正弦电压源、电流源	U_{CEO}	集电极、发射极间静态压降
u_i	输入电压有效值	U_{OH}	运放输出电压的最高电压
u_l	含有直流成分输入电压瞬时值	U_{OL}	运放输出电压的最低电压
u_i	输入电压瞬时值	I_{BQ}	基极静态电流
U_o, I_o	输出交流电压、电流有效值		

I_{CQ} 集电极静态电流
 ΔU_{CE} 直流变化量

Δi_c 瞬时值变化量

3. 电阻

R_s 信号源内阻
 r_i 输入电阻
 r_o 输出电阻
 r_{if} 具有反馈时的输入电阻
 r_{of} 具有反馈时的输出电阻
 r_{id} 差模输入电阻

$R_i (R')$ 运放输入端的平衡电阻
 RP 电位器 (变阻器)
 R_c 集电极外接电阻
 R_b 基极偏置电阻
 R_e 发射极外接电阻
 R_L 负载电阻

4. 放大倍数、增益

A_u 电压放大倍数 $A_u = U_o / U_i$
 A_{uS} 考虑信号源内阻时电压放大倍数
 $A_{uS} = U_o / U_S$, 即源电压放大倍数
 A_{ud} 差模电压放大倍数
 A_{uc} 共模电压放大倍数
 A_{od} 开环差模电压放大倍数
 A_{usm} 中频电压放大倍数
 $A_{u_{sl}}$ 低频电压放大倍数
 $A_{u_{sh}}$ 高频电压放大倍数
 A_f 闭环放大倍数

A_{uf} 具有负反馈的电压放大倍数, 即闭环电压放大倍数
 A_i 开环电流放大倍数
 A_{if} 闭环电流放大倍数
 A_r 开环互阻放大倍数
 A_{rf} 闭环互阻放大倍数
 A_g 开环互导放大倍数
 A_{gf} 闭环互导放大倍数
 F 反馈系数
 A_p 功率放大倍数

5. 功率

p 瞬时功率
 P 平均功率 (有功功率)
 Q 无功功率
 $\bar{S}$ 复功率
 S 视在功率

λ 功率因数
 P_o 输出信号功率
 P_c 集电极损耗功率
 $P_E、P_S$ 直流电源供给功率

6. 频率

f 频率通用符号
 ω 角频率通用符号
 $f_H(f_h)$ 放大电路的上限截止频率。此时放大电路的放大倍数为
 $A_{u_{sh}} = 0.707 A_{u_{sm}}$

$f_L(f_l)$ 放大电路的下限截止频率。此时, $A_{u_{sl}} = 0.707 A_{u_{sm}}$
 f_{BW} 通频带 (带宽) $f_{BW} = f_H - f_L$
 f_{Hf} 具有负反馈时放大电路的上限截止频率

f_{Lf} 具有负反馈时放大电路的下限截止频率
 f_{BWf} 具有负反馈时的通频带
 f_a 共基极接法时晶体管电流放大系数的上限截止频率

f_β 共射极接法时晶体管电流放大系数的上限截止频率
 f_{VT} 晶体管的特征频率
 ω_0 谐振角频率、振荡角频率
 f_0 振荡频率

7. 器件参数

VD 二极管
 $U_{GS(th)}$ 温度电压当量, $U_{GS(th)} = kT/q$ 、增强型场效应晶体管的开启电压
 I_D 二极管电流, 漏极电流
 I_S 反向饱和电流, 源极电流
 I_F 最大整流电流
 U_{on} 二极管开启电压
 U_B PN 结击穿电压, 基极直流电压
VS 稳压二极管
 U_{VS} 稳压管稳定电压值
 I_{VS} 稳压管工作电流
 $I_{VSm\max}$ 最大稳定电流
 r_{VS} 稳压管的微变电阻
b 基极
c 集电极
e 发射极
 I_{CBO} 发射极开路、集—基极间的反向饱和电流
 I_{CEO} 基极开路、集—射极间的穿透电流
 I_{CM} 集电极最大允许电流
P 空穴型半导体
N 电子型半导体
 n 电子浓度
 p 空穴浓度
 $r_{bb'}$ 基区体电阻
 $r_{b'e}$ 发射结的微变等效电阻
 r_{bc} 共射接法下, 基—射极间的微变电阻
 r_{ce} 共射接法下, 集—射极间的微变电阻
 α 共基接法下, 集电极电流的变化量与发射极电流的变化量之比, 即

$\alpha = \Delta I_C / \Delta I_E$
 $\bar{\alpha}$ 共基接法下, 从发射极到达集电极的载流子的百分数, 或 $\bar{\alpha} = (I_C / I_E) \%$
 β 共射接法下, 集电极电流的变化量与基极电流的变化量之比, 即 $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$
 $\bar{\beta}$ 共射接法下, 不考虑穿透电流时 I_C 与 I_B 的比值
 g_m 跨导
 BU_{EBO} 集电极开路时, 射—基间的击穿电压
 BU_{CEO} 基极开路时, 集—射间的击穿电压
 U_{IO}, I_{IO} 集成运放输入失调电压、失调电流
 I_{IB} 集成运放输入偏置电流
V(VT) 晶体管
 S_R 集成运放的转换速率
D 场效应晶体管漏极
G 场效应晶体管栅极
S 场效应晶体管源极、整流电路的脉动系数
 $U_{GS(off)}$ 场效应晶体管夹断电压
 r_{DS} 场效应晶体管漏源间的等效电阻
 I_{DSS} 结型、耗尽型场效应晶体管 $U_{GS} = 0$ 时的 I_D 值
 K_{CMRR} 共模抑制比
 K_{CMR} 用分贝表示的共模抑制比, 即 $20 \lg K_{CMRR}$
 Q 静态工作点、LC 回路的品质因数
 τ 时间常数
 η 效率
 $\varphi(\theta)$ 相角
 φ_F 反馈网络的相移

目 录

前言

常用符号说明

第 1 章 半导体器件	1
1.1 半导体基础知识	1
1.1.1 本征半导体	1
1.1.2 杂质半导体	1
1.1.3 PN 结	2
1.2 半导体二极管	3
1.2.1 二极管的结构与分类	3
1.2.2 二极管的伏安特性	4
1.2.3 二极管的主要参数	4
1.2.4 二极管的基本应用电路	5
1.2.5 稳压二极管	6
1.3 晶体管	7
1.3.1 晶体管的结构、分类及基本特性	7
1.3.2 晶体管的特性曲线	8
1.3.3 晶体管的主要参数	10
1.3.4 晶体管的命名及选用原则	11
1.4 场效应晶体管	12
1.4.1 场效应晶体管的分类	12
1.4.2 结型场效应晶体管	13
1.4.3 绝缘栅型场效应晶体管	14
1.4.4 场效应晶体管的主要参数	15
1.4.5 场效应晶体管的特点	16
本章小结	16
习题	17
第 2 章 基本放大电路	19
2.1 放大电路及工作原理	19
2.1.1 放大电路的组成原则	19
2.1.2 直流通路和交流通路	20
2.2 放大电路的静态分析	21
2.2.1 估算法确定静态工作点 Q	21
2.2.2 图解法估算静态工作点 Q	21
2.3 放大电路的动态分析	23

2.3.1 微变等效电路法的基本原理	23
2.3.2 放大电路的三种基本组态形式	24
2.4 稳定静态工作点的偏置电路	28
2.4.1 放大电路的非线性失真	28
2.4.2 稳定静态工作点的偏置电路	30
2.5 多级放大电路	33
2.5.1 多级放大电路与级间耦合方式	33
2.5.2 多级放大电路的指标计算	35
本章小结	37
习题	37
第3章 放大电路的频率特性	40
3.1 晶体管的频率参数	40
3.2 阻容耦合单级共射放大电路的频率特性	41
3.2.1 低频区、中频区、高频区	41
3.2.2 特征参数	43
3.2.3 通频带	43
3.2.4 增益带宽积	43
3.3 阻容耦合共射放大电路通频带的测试	44
本章小结	45
习题	46
第4章 场效应晶体管放大电路	47
4.1 共源放大电路	47
4.1.1 电路组成及静态分析	47
4.1.2 动态分析	48
4.2 共漏放大电路	49
4.2.1 电路组成及静态分析	49
4.2.2 动态分析	50
本章小结	50
习题	50
第5章 集成运算放大器	52
5.1 零点漂移	52
5.1.1 直接耦合放大电路的零点漂移	52
5.1.2 产生零点漂移的主要因素	52
5.1.3 抑制零点漂移的措施	53
5.2 差动放大电路	53
5.2.1 差动放大电路的结构及抑制零漂的原理	53
5.2.2 输入信号类型及差动放大电路的放大倍数	53
5.2.3 长尾式差动放大电路	54
5.2.4 差动放大电路的四种形式	56

5.3 集成运算放大器简介	58
5.3.1 集成运放电路的组成及各部分的作用	59
5.3.2 集成运算放大器的符号	62
5.3.3 集成运算放大器的主要性能指标	62
本章小结	63
习题	63
第 6 章 负反馈放大电路	64
6.1 反馈的基本概念及分类	64
6.1.1 反馈的基本概念	64
6.1.2 反馈的分类及判别	65
6.1.3 四种基本负反馈组态的识别与分析	67
6.2 负反馈放大电路性能分析	70
6.2.1 负反馈放大电路的放大倍数	70
6.2.2 负反馈对放大电路性能的影响	71
6.3 负反馈放大器的指标计算	73
6.3.1 深度负反馈	74
6.3.2 深度负反馈放大电路增益的近似估算	74
6.4 负反馈放大器的自激振荡	76
6.4.1 产生自激振荡的原因	76
6.4.2 产生自激振荡的条件	76
6.4.3 消除自激振荡的方法	77
本章小结	77
习题	77
第 7 章 集成运算放大器的应用	80
7.1 集成运放应用基础	80
7.1.1 理想运算放大器的条件	80
7.1.2 集成运放的传输特性	80
7.1.3 运放工作在线性区和非线性区的特点	80
7.2 运算电路	81
7.2.1 基本运算放大器	81
7.2.2 加法、减法运算	84
7.2.3 积分、微分运算	86
7.3 滤波电路	88
7.3.1 滤波电路的分类及幅频特性	88
7.3.2 无源滤波电路	89
7.3.3 有源滤波电路	89
7.4 电压比较器	90
7.4.1 单门限电压比较器	90
7.4.2 滞回电压比较器	91
7.5 集成运算放大器的使用常识	93
本章小结	95

习题	96
第 8 章 波形产生电路和变换电路	99
8.1 非正弦波产生电路	99
8.1.1 矩形波发生器	99
8.1.2 方波—三角波发生器	100
8.1.3 锯齿波发生器	101
8.2 集成函数发生器	102
8.2.1 集成函数发生器 8038 的工作原理	102
8.2.2 8038 的典型应用	103
8.3 正弦波产生电路	103
8.3.1 振荡的基本概念	103
8.3.2 RC 振荡器	104
8.3.3 LC 振荡电路	107
8.3.4 石英晶体振荡电路	109
本章小结	110
习题	111
第 9 章 低频功率放大器	113
9.1 低频功率放大器概述	113
9.1.1 功率放大器的分类	113
9.1.2 功率放大器的特点	114
9.2 互补对称功率放大器	114
9.2.1 双电源互补对称功率放大器	114
9.2.2 单电源互补对称功率放大器	117
9.3 集成功率放大器	118
9.3.1 集成功率放大器 LM386 及其应用	118
9.3.2 集成功率放大器 TDA2030 及其应用	119
本章小结	119
习题	119
第 10 章 直流电源	122
10.1 单相整流电路	122
10.1.1 单相半波整流电路	122
10.1.2 单相全波整流电路	123
10.1.3 单相桥式整流电路	124
10.2 滤波电路	126
10.2.1 电容滤波电路	126
10.2.2 电感滤波电路	127
10.2.3 其他形式的滤波电路	127
10.3 稳压电路	128
10.3.1 稳压电路的主要指标	128

10.3.2 稳压管稳压电路	128
10.3.3 串联型稳压电路的组成	129
10.3.4 三端集成稳压器	130
10.3.5 开关稳压电路概述	132
本章小结	132
习题	132
附录	134
附录 A 常用半导体器件的参数	134
附录 B 半导体集成电路型号定义	143
部分习题参考答案	144
参考文献	151

第 1 章 半导体器件

本章提要：本章首先简要介绍了半导体的基础知识以及半导体器件的核心部分——PN 结，然后重点介绍了半导体二极管、晶体管和场效应晶体管的物理结构、工作原理、特性曲线及主要参数。在此基础上还介绍了二极管和晶体管基本电路、分析方法与实际应用。

1.1 半导体基础知识

1.1.1 本征半导体

物质按导电性能可分为导体、绝缘体和半导体。物质的导电性能取决于原子结构。导体一般由低价元素构成，绝缘体一般由高价元素或高分子物质构成，半导体一般最外层电子数为 4。由于其导电性能介于导体和绝缘体之间，所以称为半导体。

最常见的半导体是锗和硅，它们都是四价元素。将锗或硅等半导体材料提纯后形成的纯净的、具有晶体结构的半导体叫作本征半导体。

半导体的导电能力在不同条件下有很大差别。一般来说，本征半导体相邻原子间存在稳固的共价键，导电能力并不强。但有些半导体在温度升高、受光照等条件下，导电能力会大大增强，利用这种特性可制造热敏电阻、光敏电阻等器件。更重要的是，在本征半导体中掺入微量杂质后，其导电能力就可增加几十万乃至几百万倍，利用这种特性就可制造二极管、三极管等半导体器件。

半导体的这种与导体和绝缘体截然不同的导电特性是由它的内部结构和导电机理决定的。在半导体共价键结构中，价电子（原子的最外层电子）不像在绝缘体中那样被束缚得很紧，在获得一定能量（温度升高、受光照等）后，即可摆脱原子核的束缚（也称电子受到激发），成为自由电子，同时在共价键中留下空位，称为空穴。

在外电场的作用下，半导体中将出现两部分电流：一部分是自由电子做定向运动形成的电子电流，另一部分是仍被原子核束缚的价电子（不是自由电子）递补空穴形成的空穴电流。也就是说，在半导体中存在自由电子和空穴两种载流子，这是半导体和金属在导电机理上的本质区别。

自由电子在运动的过程中如果与空穴相遇就会填补空穴，使二者同时消失，这种现象称为复合。本征半导体中的自由电子和空穴总是成对出现，同时又不断复合，在一定温度下达到动态平衡，载流子便维持在一定数目。温度愈高，载流子数目愈多，导电性能也就愈好。所以，温度对半导体器件性能的影响很大。

1.1.2 杂质半导体

本征半导体中载流子数目极少，导电能力很低。但如果其中掺入微量的杂质，所形成的杂质半导体的导电性能将大大提高。根据掺入的杂质不同，杂质半导体可以分为 N 型和 P

型两大类。

N 型半导体中掺入的杂质为磷或其他五价元素，磷原子在取代原晶体结构中的硅原子并构成共价键时，多余的第五个价电子很容易摆脱磷原子核的束缚而成为自由电子，于是半导体中的自由电子数目大量增加，自由电子成为多数载流子，空穴则成为少数载流子。

P 型半导体中掺入的杂质为硼或其他三价元素，硼原子在取代原晶体结构中的硅原子并构成共价键时，因缺少一个价电子而形成空穴，于是半导体中的空穴数目大量增加，空穴成为多数载流子，而自由电子则成为少数载流子。

值得注意的是，不论是 N 型半导体还是 P 型半导体，虽然都有一种载流子占多数，但整个晶体仍然是不带电的。

1.1.3 PN 结

1. PN 结的形成

P 型和 N 型半导体并不能直接用来制造半导体器件。通常采用不同的掺杂工艺，将 P 型半导体与 N 型半导体制作在同一块硅片上，在它们的交界面就会形成 PN 结，而 PN 结就是构成各种半导体器件的基础。

图 1-1 所示为一块晶片，两边分别形成 P 型和 N 型半导体。为便于理解，图中 P 区仅画出空穴（多数载流子）和得到一个电子的三价杂质负离子，N 区仅画出自由电子（多数载流子）和失去一个电子的五价杂质正离子。根据扩散原理，空穴要从浓度高的 P 区向 N 区扩散，自由电子要从浓度高的 N 区向 P 区扩散。这种扩散运动使自由电子和空穴在交界面发生复合，形成载流子极少的正负空间电荷区（如图 1-1 所示），也就是 PN 结，又叫耗尽层。

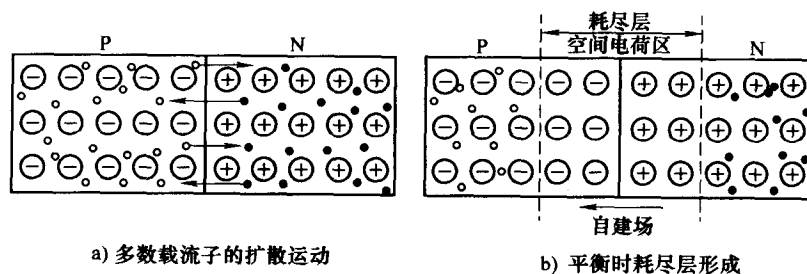


图 1-1 PN 结的形成

正负空间电荷在交界面两侧形成一个由 N 区指向 P 区的电场，称为内电场，它对多数载流子的扩散运动起阻挡作用，所以空间电荷区又称为阻挡层或势垒。同时，内电场力对少数载流子（P 区的自由电子和 N 区的空穴）的作用是推动它们越过空间电荷区，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相互联系、相互矛盾的。在一定条件下（例如温度一定），多数载流子的扩散运动逐渐减弱，而少数载流子的漂移运动则逐渐增强，最后两者达到动态平衡，空间电荷区的宽度基本上稳定下来，PN 结就处于相对稳定的状态。

2. PN 结的单向导电性

PN 结具有单向导电的特性，如果在 PN 结上加正向偏置电压，即外电源正极接 P 区，负

极接 N 区, 外电场与内电场的方向相反, 扩散与漂移运动的平衡被破坏。在外电场驱使下 P 区的空穴进入空间电荷区抵消一部分负空间电荷, 同时 N 区的自由电子进入空间电荷区抵消一部分正空间电荷, 于是空间电荷区变窄, 内电场被削弱, 多数载流子的扩散运动增强, 形成较大的扩散电流 (由 P 区流向 N 区的正向电流)。在一定范围内, 外电场愈强, 正向电流愈大, 这时 PN 结呈现的电阻很低, 称此时的 PN 结处于导通状态。

如果在 PN 结上加反向偏置电压, 即外电源正极接 N 区, 负极接 P 区, 此时外电场与内电场的方向一致, 扩散与漂移运动的平衡同样被破坏。外电场驱使空间电荷区两侧的空穴和自由电子移走, 于是空间电荷区变宽, 内电场增强, 使多数载流子的扩散运动难以进行, 同时加强了少数载流子的漂移运动, 形成由 N 区流向 P 区的反向电流。由于少数载流子数量很少, 因此反向电流不大, PN 结的反向电阻很高, 称此时的 PN 结处于截止状态。

由以上分析可知, PN 结具有单向导电性, 这是 PN 结构成半导体器件的基础。

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的结构与分类

半导体二极管 (简称二极管) 是由 PN 结加上引线和管壳构成的, 其结构如图 1-2 所示。二极管的种类按材料分有硅二极管和锗二极管;

按结构分, 有: 点接触型、面接触型和平面型。

(1) 点接触二极管 点接触型的结构如图 1-2 所示, 它的特点是结面积小, 因而结电容小, 适用在高频下工作。主要用于小电流的整流和检波、混频等。

(2) 面接触二极管 平面型的结构如图 1-3a 所示, 它的特点是结面积大, 因而能通过较大的电流, 但结电容也大, 只能工作在较低频率下, 可用于整流。

(3) 平面型二极管 平面型的结构如图 1-3b 所示。二极管结面积可大可小。结面积大的, 可通过较大的电流, 适用于大功率整流; 结面积小的, 结电容小, 适用于在脉冲数字电路中作开关管。

二极管的电气符号如图 1-4 所示。

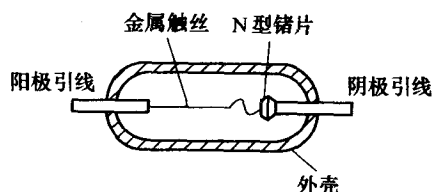


图 1-2 半导体二极管的结构

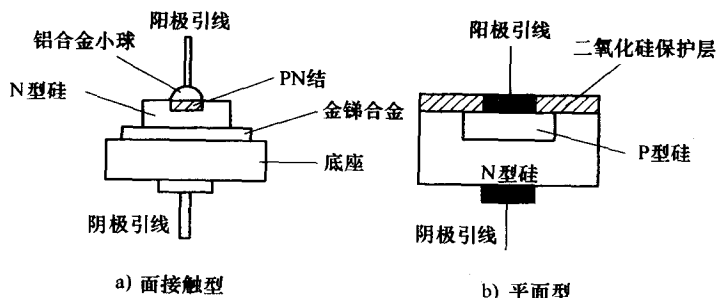


图 1-3 半导体二极管的结构

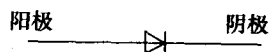


图 1-4 半导体二极管的电气符号

1.2.2 二极管的伏安特性

二极管本质上就是一个 PN 结, 具有单向导电性。

二极管伏安特性如图 1-5 所示。

图中 U_{on} 称为死区电压, 通常硅管的死区电压 (U_{on2}) 约为 0.5V, 锗管的 U_{on} 约为 0.1V。

正向电压低于死区电压时, 正向电流很小, 只有当正向电压高于死区电压后, 才有明显的正向电流。原因是当外加正向电压低于死区电压时, 外电场还不足以克服内电场对扩散运动的阻挡, 正向电流几乎为零。当外加正向电压超过死区电压后, 内电场被大大削弱, 正向电流增长很快, 二极管处于正向导通状态。导通时二极管的正向压降变化不大, 硅管约为 0.6 ~ 0.8V, 锗管约为 0.2 ~ 0.3V。温度上升, 死区电压和正向压降均相应地降低。通常认为, 当正向电压 $U < U_{on}$ 时, 二极管截止; $U > U_{on}$ 时, 二极管导通。

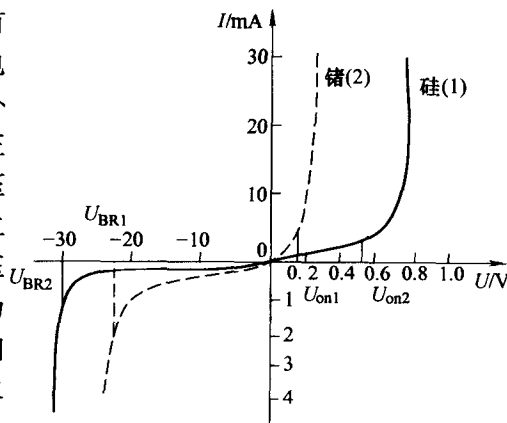


图 1-5 二极管伏安特性图

图中 U_{BR} 称为反向击穿电压, 当外加反向电压低于 U_{BR} 时, 二极管处于反向截止状态, 反向电流几乎为零, 但温度上升, 反向电流会逐渐增长。当外加反向电压超过 U_{BR} 后, 反向电流突然增大, 二极管失去单向导电性, 这种现象称为反向击穿。普通二极管反向击穿电压在几十伏以上。反向击穿后, 若还不限制反向电流, 二极管 PN 结会因功耗太大而烧坏, 从而失去单向导电特性的现象称为“热击穿”。普通二极管一旦造成“热击穿”, 就不能恢复原来性能, 也就是失效了。

二极管的特性对温度很敏感, 温度升高, 正向特性曲线向左移, 反向特性曲线向下移。其规律是: 在室温附近, 在同一电流下, 温度每升高 1°C , 正向电压减小 2 ~ 2.5mV; 温度每升高 10°C , 反向电流增大 1 倍。

二极管的应用范围很广, 主要都是利用它的单向导电性, 可用于整流、检波、限幅、元件保护以及在数字电路中作为开关元件等。

1.2.3 二极管的主要参数

描述器件的物理量, 称为器件的参数。它是器件特性的定量描述, 也是选择器件的依据。各种器件的参数可由相应的手册查得。二极管的主要参数有:

(1) 最大整流电流 I_F 它是二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流。工作时应使平均工作电流小于 I_F , 如超过 I_F , 二极管将因过热而烧毁。此值取决于 PN 结的面积、材料和散热情况。

(2) 最大反向工作电压 U_R 这是二极管工作时允许外加的最大反向电压, 当反向电压超过此值时, 二极管可能被击穿。为了留有余地, 通常取击穿电压的一半作为 U_R 。

(3) 反向电流 I_R 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 值受温度的影响很大。

(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

允许的最高频率越低。

(5) 二极管的直流电阻 R_D 加到二极管两端的直流电压与流过二极管的电流之比, 称为二极管的直流电阻 R_D , 即

$$R_D = \frac{U_F}{I_F}$$

用万用表测量出的电阻值为 R_D , 用不同档测量出的 R_D 值显然是不同的。二极管加正、反向电压所呈现的电阻也不同。加正向电压时, R_D 为几十至几百欧, 加反向电压时 R_D 为几百千欧至几兆欧。一般正反向电阻值相差越大, 二极管的性能越好。

(6) 二极管的交流电阻 r_d 在正常工作情况下, 二极管电压的微变值 ΔU 与相应的微变电流值 ΔI 之比, 称为该工作条件下的交流电阻 r_d , 即

$$r_d = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

1.2.4 二极管的基本应用电路

运用二极管主要是利用它的单向导电性。二极管导通时, 可用导线来代替它; 二极管截止时, 可认为是断路。

当输入信号电压在一定范围内变化时, 输出电压也随着输入电压相应的变化; 当输入电压高于某一个数值时, 输出电压保持不变, 这就是限幅电路。限幅电路就是利用了二极管的单向导电性和导通后两端电压基本不变的特点。这里把开始不变的电压称为限幅电平, 并且它分为上限幅和下限幅。

【例】试分析图 1-6a 所示的限幅电路, 输入电压的波形为 $U_m \sin \omega t$, 试画出它的限幅电路的波形。

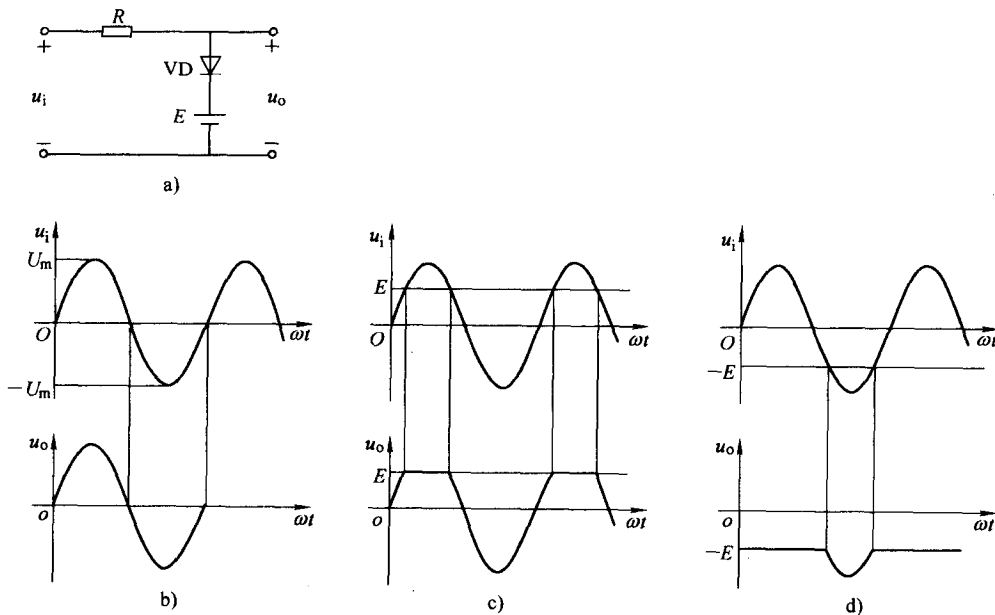


图 1-6 例题图