



高等学校优秀教材辅导丛书

GAO DENG XUE XIAO YOU XIU JIAO CAI FU DAO CONG SHU



主编 于蕾

# 模拟电子技术基础 知识要点与习题解析



哈尔滨工程大学出版社

高等学校优秀教材辅导丛书

# 模拟电子技术基础 知识要点与习题解析

(配童诗白第三版教材·高教版)

主 编 于 蕾

主 审 谢 红

哈尔滨工程大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础知识要点与习题解析/于蕾主编.  
哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2005  
ISBN 7-81073-709-0

I. 模… II. 于… III. 模拟电路-电子技术-高等学校-教学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 064382 号

---

## 内 容 简 介

本书是为了配合由高等教育出版社出版、清华大学电子学教研组编写、童诗白和华成英主编的《模拟电子技术基础》(第三版)教材而编写的一本辅导书。书中对教材中全部习题进行了解答。

本书针对教材中各章的重点做了较详细的分析,对习题做了全面解析。同时本书一大特点是每章附有同步训练题,可以适合不同院校需求。本书可作为电子信息、通信工程与自动化等各电类模拟电子技术本科生的教学指导书,也可以作为研究生入学考试的参考书,同时也是教师的参考手册。

---

哈尔滨工程大学出版社出版发行  
哈尔滨市南通大街145号 哈尔滨工程大学11号楼  
发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001  
新华书店经销  
肇东粮食印刷厂印刷

\*

开本 787mm×960mm 1/16 印张 19.25 字数 357千字

2005年7月第1版 2005年7月第1次印刷

印数:1—3 000册

定价:24.00元



P r e f a c e

# 前言

“模拟电子技术基础”在电子技术专业中是一门很重要的技术基础课程,其工程性和实践性很强。同时本课程由于知识点较多、电路形式多,经常给学习者带来困难。这时就需要一本合适的教材及教材辅导书。

本书是为了配合清华大学电子学教研组编写、童诗白和华成英主编的《模拟电子技术基础》(第三版)的教材而编写的学习辅导书。本书明确了各章的知识点和教学基本要求,给出了各章习题的详细解答,同时各章均附有同步训练题,可以适合不同读者的需求。希望本书能帮助广大读者掌握电子线路的基本概念和基本分析方法,提高分析问题和解决问题的能力。

为了便于读者学习,本书在章节编排顺序上与教材完全相同。本书各章内容主要包含以下三部分。

## 1. 知识要点

根据编者的教学实践工作中的经验和体会,对教材各章内容进行总结、提炼和归纳。通过本部分的学习,帮助读者理清思路、抓住重点,更好地掌握电子线路的基本概念、基本原理、基本分析方法和基本的设计电路。

## 2. 书后习题解析

针对教材中涉及到的所有自测题和习题给出了详细的解题思路及解答。通过本部分的学习,巩固基本概念,掌握解题要领,增强学生分析问题和解决问题的能力,适应各种问题的灵活运用。

## 3. 同步训练题

为了适应不同院校读者的需求,适当地提供了一些本课程相关的练习题,增加了一些提高内容和书后习题中没有涉及到的重要知识点,以扩展读者知识面。这其中摘取了其他院校的历年考研题,并给出了详尽的解答。

无论是书后习题还是考试题的解答,解题方法都不是唯一的。书中仅提供参考答案,读者也可用更好、更简单的方法解题。

本书由于蕾主编、谢红主审,潘大鹏参加了本书第9章、第10章的编写。

由于编者水平有限,书中难免有错误与不妥之处,恳切希望广大读者和同行给予批评指正。

编者

2005年5月

# Contentst 目录

<b>第 1 章 常用半导体器件</b> .....	1
知识要点 .....	1
1.1 半导体基础知识 .....	1
1.2 半导体二极管 .....	2
1.3 双极型晶体管 .....	4
1.4 场效应管 .....	7
书后习题解析 .....	9
同步训练题 .....	25
同步训练题答案 .....	28
<b>第 2 章 基本放大电路</b> .....	32
知识要点 .....	32
2.1 放大的概念和放大电路的主要性能指标 .....	32
2.2 放大电路的组成原则和工作原理 .....	33
2.3 放大电路的分析方法 .....	34
书后习题解析 .....	40
同步训练题 .....	62
同步训练题答案 .....	66
<b>第 3 章 多级放大电路</b> .....	74
知识要点 .....	74
3.1 多级放大电路的耦合方式 .....	74
3.2 多级放大电路的动态分析 .....	75
3.3 直接耦合放大电路 .....	75
书后习题解析 .....	78
同步训练题 .....	92
同步训练题答案 .....	94
<b>第 4 章 集成运算放大电路</b> .....	98
知识要点 .....	98
4.1 集成运算放大电路概述 .....	98
4.2 集成运放中的电流源电路 .....	99

4.3 集成运放的性能指标及类型 .....	101
书后习题解析 .....	101
同步训练题 .....	111
同步训练题答案 .....	114
<b>第5章 放大电路的频率响应 .....</b>	<b>116</b>
知识要点 .....	116
5.1 频率响应概述 .....	116
5.2 晶体管和场效应管的高频等效模型 .....	116
5.3 单管放大电路的频率响应 .....	117
5.4 多级放大电路的频率响应 .....	119
5.5 集成运放的频率补偿 .....	119
书后习题解析 .....	119
同步训练题 .....	131
同步训练题答案 .....	132
<b>第6章 放大电路中的反馈 .....</b>	<b>135</b>
知识要点 .....	135
6.1 反馈的基本概念及判断方法 .....	135
6.2 负反馈放大电路的方块图及一般表达式 .....	136
6.3 深度负反馈放大电路放大倍数的分析 .....	138
6.4 负反馈对放大电路性能的影响 .....	139
6.5 负反馈放大器稳定性的讨论 .....	140
书后习题解析 .....	141
同步训练题 .....	157
同步训练题答案 .....	161
<b>第7章 信号的运算和处理 .....</b>	<b>164</b>
知识要点 .....	164
7.1 理想运放及其工作区 .....	164
7.2 基本运算电路 .....	164
7.3 模拟乘法器的应用 .....	167

7.4 有源滤波电路 .....	168
7.5 电子信息系统预处理中所用放大电路 .....	175
书后习题解析 .....	176
同步训练题 .....	197
同步训练题答案 .....	202
<b>第8章 波形的发生和信号的转换</b> .....	<b>208</b>
知识要点 .....	208
8.1 正弦波振荡电路 .....	208
8.2 电压比较器 .....	211
8.3 非正弦发生电路 .....	213
8.4 信号转换电路 .....	215
8.5 锁相环及其在信号转换电路中的应用 .....	217
书后习题解析 .....	218
同步训练题 .....	242
同步训练题答案 .....	244
<b>第9章 功率放大电路</b> .....	<b>248</b>
知识要点 .....	248
9.1 功率放大电路概述 .....	248
9.2 互补功率放大电路 .....	249
9.3 功率放大电路的安全运行 .....	250
书后习题解析 .....	250
同步训练题 .....	264
同步训练题答案 .....	266
<b>第10章 直流电源</b> .....	<b>269</b>
知识要点 .....	269
10.1 直流电源的组成及各部分作用 .....	269
10.2 整流电路 .....	269
10.3 滤波电路 .....	270
10.4 稳压二极管稳压电路 .....	271

# C o n t e n t s

10.5 串联型稳压电路 .....	271
10.6 集成稳压器及其应用 .....	272
10.7 开关型稳压电路 .....	273
书后习题解析 .....	274
同步训练题 .....	289
同步训练题答案 .....	291
<b>第11章 模拟电子电路读图</b> .....	<b>294</b>
书后习题解析 .....	294



# 第 1 章 常用半导体器件



## 1.1 半导体基础知识

### 1.1.1 本征半导体

纯净的具有晶体结构的半导体,称为本征半导体。

**自由电子和空穴:**在热激发下,价电子挣脱其价键束缚变为自由电子,在共价键中留下一个空位置称为空穴。

**载流子:**单电粒子。在半导体中,由于自由电子和空穴均参与导电,所以半导体中有两种载流子。本征半导体受温度影响非常大。

### 1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中掺入合适的杂质元素,可以增强半导体的导电能力,而掺入杂质的半导体则称为杂质半导体。

**1.N型半导体:**掺入五价元素(如磷)的半导体称为N型半导体。特点是:自由电子为“多子”,空穴为“少子”。

**2.P型半导体:**掺入三价元素(如硼)的半导体称为P型半导体。特点是:空穴为“多子”,自由电子为“少子”。

### 1.1.3 PN结

将P型和N型半导体制作在同一块硅片上,在它们的交界面就形成PN结。PN结的特性是单向导电性:当外加正向电压时(P极接+,N极接-),结电流较大,等效的结电阻较小,称为正向导通;当外加反向电压时(P极接-,N极接+),结电流较小,等效的结电阻较大,称为反向截止。



### 1. PN 结的电流方程

$$i = I_S (e^{\frac{u}{U_T}} - 1)$$

式中,  $I_S$  为反向饱和电流; 常温下,  $U_T \approx 26$  mV。

### 2. PN 结的伏安特性

如图 1-1 所示。

### 3. PN 结的电容效应

空间电荷区宽窄变化所等效的电容称为势垒电容, 载流子浓度变化等效的电容称为扩散电容, 二者之和即为 PN 结的等效电容。

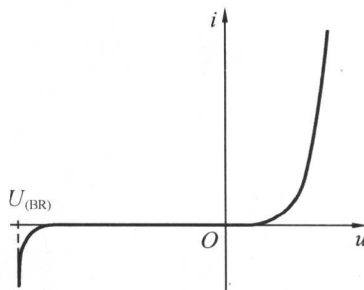


图 1-1 PN 结的伏安特性

## 1.2 半导体二极管

### 1.2.1 半导体二极管的分类与特性

1. 分类: 点接触型、面接触型和平面型等。

2. 伏安特性如图 1-2 所示。

3. 受温度影响很大。温度升高时,  $U_{on}$  减小, 反向电流  $I_S$  增加, 如图 1-2 所示。

### 1.2.2 主要参数

1. 最大整流电流  $I_F$ : 防止电流过大烧坏二极管。

2. 最大反向工作电压  $U_R$ : 防止反向电压过大击穿二极管。

3. 反向电流  $I_R$ : 二极管未击穿时的反向电流。

4. 最高工作效率  $f_M$ : 二极管工作的上限频率, 与结电容相关。

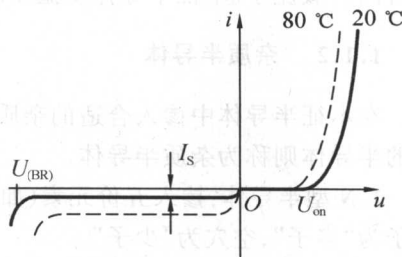


图 1-2 二极管的伏安特性

### 1.2.3 等效电路

二极管的伏安特性是非线性的。在一定条件下, 可以将其线性化。大体上二极管可以等效为以下四种电路。



1. 理想二极管: 具有正向导通、反向截止特性, 不考虑  $U_{on}$ , 如图 1-3(a) 所示。
2. 考虑正向导通电压  $U_{on}$  的二极管: 当  $u > U_{on}$ , 导通; 当  $u < U_{on}$ , 截止, 如图 1-3(b) 所示。
3. 当  $u > U_{on}$  时, 认为其电流  $i$  与  $u$  成线性关系, 等效电阻为  $r_D$ , 如图 1-3(c) 所示。
4. 在直流正向偏置的条件下, 外加交流微变信号时, 二极管可以等效为一个动态电阻  $r_d$ , 如图 1-3(d) 所示。

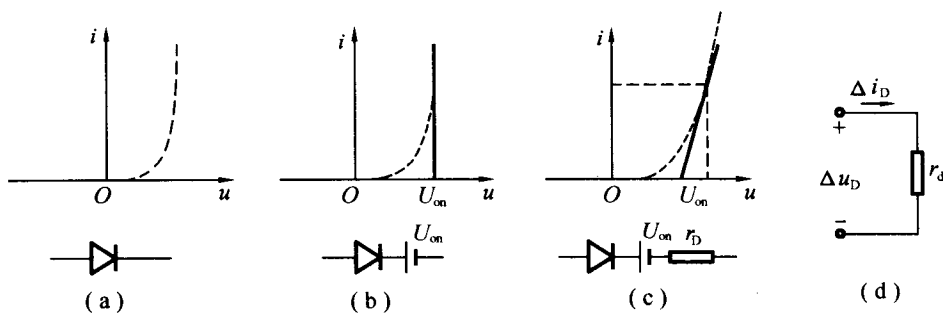


图 1-3 二极管的等效电路

### 1.2.4 稳压二极管

1. 伏安特性和符号如图 1-4 所示。

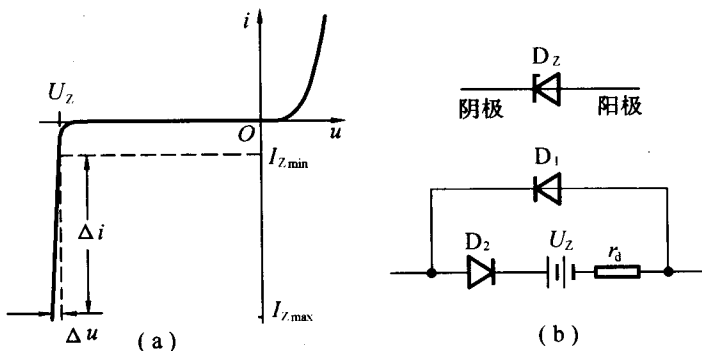


图 1-4 稳压管的伏安特性和等效电路

(a) 伏安特性; (b) 符号和等效电路

2. 当外接反向击穿电压时,稳压二极管具有稳压特性,电压保持在  $U_Z$ 。
3. 稳压条件:反向击穿工作状态下; $I_{Zmin} < I_Z < I_{Zmax}$ ,因而为保证电流,需加限流电阻。

4. 常见的稳压二极管的主要参数有: $U_Z, I_Z, P_{ZM} (P_{ZM} = U_Z \times I_{ZM}), r_Z$  等。

### 1.3 双极型晶体管

双极型晶体管也称晶体三极管或半导体三极管,简称晶体管,内部有两种载流子参与导电。

#### 1.3.1 结构

1. 有三个区(发射区、集电区、基区)、两个结(发射结、集电结)和三个极(发射极 e、集电极 c、基极 b)。
2. 从结构上分为两种类型:NPN 和 PNP。
3. 结构和符号如图 1-5 所示,以后以 NPN 为例进行分析。

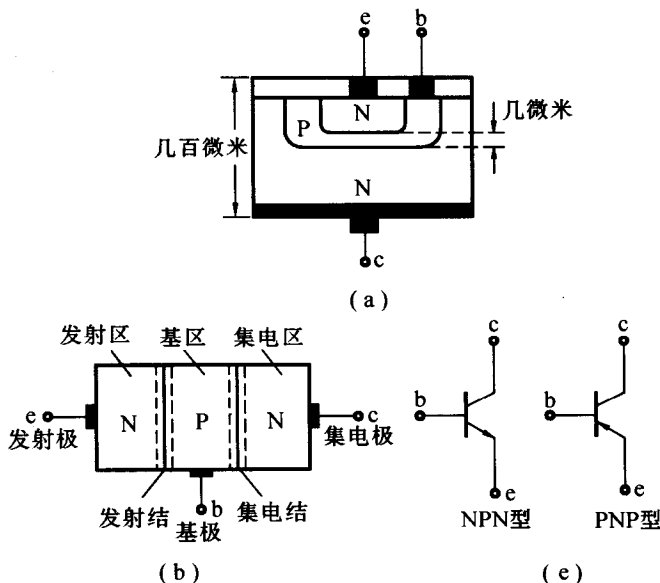


图 1-5 晶体管的结构和符号

(a)NPN 型硅管的结构;(b)NPN 型管的结构示意图;

(c)NPN 型和 PNP 型管的符号

### 1.3.2 原理

1. 为使三极管能够工作在放大状态,应使三极管的发射结正偏,集电结反偏。
2. 电流放大作用:当三极管处于放大状态时,集电极电流  $I_C$  受基极电流  $I_B$  的控制。
3. 电流分配关系(如图 1-6 所示)。

$$\text{内部: } I_E = I_{EN} + I_{EP} = I_{CN} + I_{BN} + I_{CBO}$$

$$I_C = I_{CN} + I_{CBO}$$

$$I_B = I_{BN} + I_{EP} - I_{CBO} = I'_B - I_{CBO}$$

$$\text{外部: } I_C \approx \bar{\beta} I_B$$

$$I_E \approx (1 + \bar{\beta}) I_B$$

$$I_E = I_C + I_B$$

式中,  $\bar{\beta} = \frac{I_{CN}}{I'_B}$  为共射直流电流放大

系数,  $\bar{\alpha} = \frac{I_{CN}}{I_E}$ , 则  $\bar{\beta} = \frac{\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$ 。

在交流时,  $i_c \approx \beta i_b$ , 其中  $\beta \approx \bar{\beta}$ , 以后不加区别。

### 1.3.3 特性曲线

1. 输入特性曲线 ( $i_B = f(u_{BE}) \big|_{u_{CE} = \text{常数}}$ )。

三极管的输入特性曲线如图 1-7(a) 所示。当  $u_{CE} > 1 \text{ V}$  后, 可以将曲线近似为一条。

2. 输出特性曲线 ( $i_C = f(u_{CE}) \big|_{I_B = \text{常数}}$ )。

三极管的输出特性曲线如图 1-7(b) 所示, 是一族曲线。晶体管有截止区、放大区、饱和区三个工作区域。

(1) 放大区:  $u_{BE} > U_{on}, u_{CE} \geq u_{BE}$ 。此时  $I_C = \beta I_B$ , 与  $u_{CE}$  无关。具有受控性 ( $I_C$  受  $I_B$  的控制) 和恒流性 ( $I_C$  与  $u_{CE}$  无关), 集电结反偏, 发射结正偏。

(2) 截止区:  $I_B \leq 0$ , 发射结反偏, 三极管表现为断路状态(截止)。

(3) 饱和区:  $u_{CE} < u_{BE}$ , 集电结正偏, 三极管表现为短路状态(导通)。

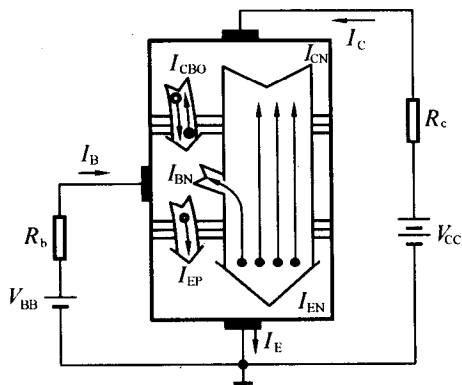


图 1-6 晶体管内部载流子运动与外部电流



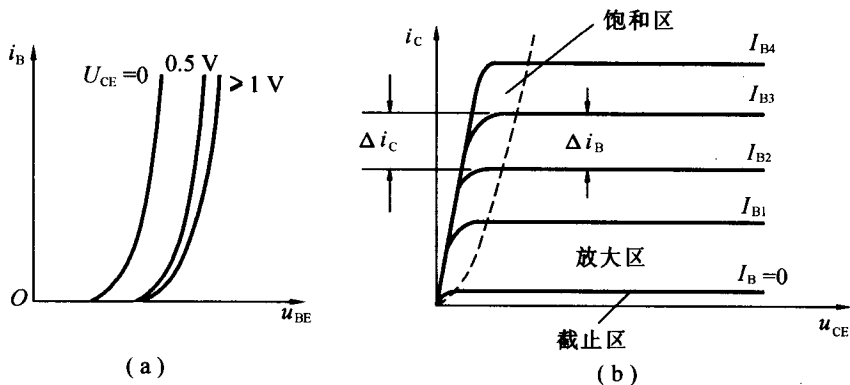


图 1-7 晶体管的特性曲线

(a) 晶体管的输入特性曲线; (b) 晶体管的输出特性曲线

### 1.3.4 主要参数

1. 电流放大系数 ( $\bar{\beta} = \beta$ )

$$\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} (\text{交流}), \bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} (\text{直流})$$

2. 反向饱和电流  $I_{CBO}$  和穿透电流  $I_{CEO}$ ,  $I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$ 。受温度影响较大。

3. 最大集电极电流  $I_{CM}$ 。

4. 最大管压降  $U_{(BR)CEO}$ 。

5. 最大集电极功耗  $P_{CM} =$

$i_C \cdot u_{CE}$ , 晶体管的安全工作区如图 1-8 所示。

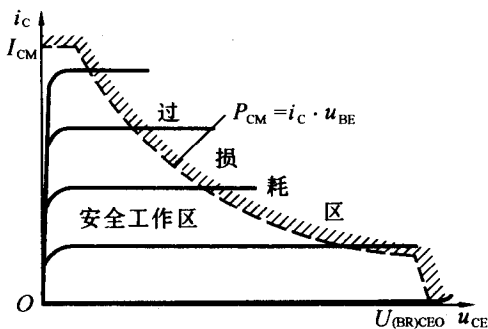


图 1-8 晶体管的极限参数

### 1.3.5 环境温度对三极管参数影响

温度升高时, 输入特性曲线左移,  $u_{BE}$  减小;  $I_{CBO}$  增大;  $\beta$  增大。



## 1.4 场效应管

场效应管工作时内部只有一种载流子,又称为单极型晶体管,分为结型和绝缘栅型,每种类型有 N 沟道和 P 沟道之分。其中绝缘栅又有增强型和耗尽型两种。优点是:输入阻抗高(可达  $10^7 \sim 10^{12} \Omega$ )、噪声低、温度稳定性好、易集成等。

## 1.4.1 转移特性和输出特性

场效应管的  $i_D$  可以看成由  $u_{GS}$  控制的,所以用转移特性曲线来描述。所有种类的场效应管的符号、特性曲线如表 1-1 所示。

表 1-1 场效应管的符号及特性曲线

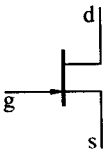
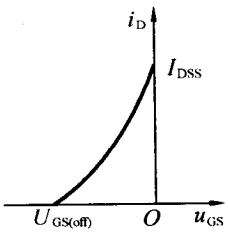
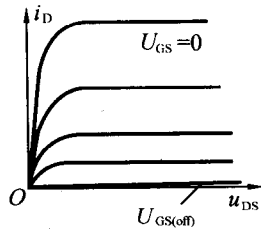
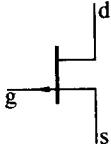
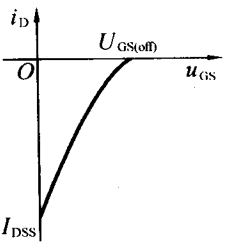
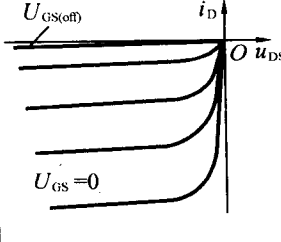
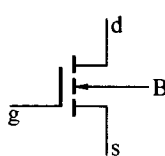
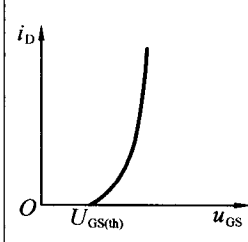
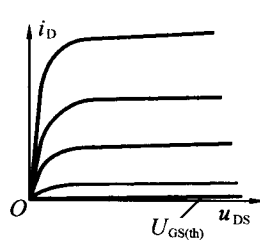
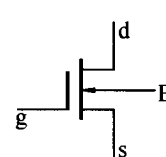
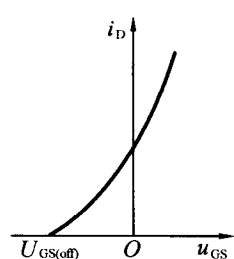
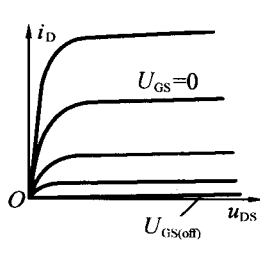
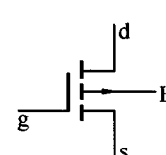
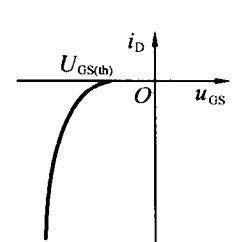
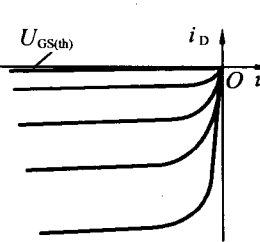
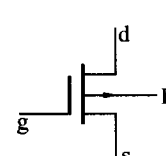
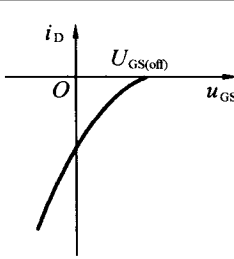
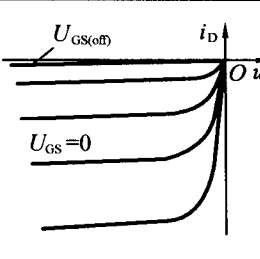
分类	符号	转移特性曲线	输出特性曲线	
结型场效应管	N 沟道			
	P 沟道			



表 1-1(续)

分类	符号	转移特性曲线	输出特性曲线
N 沟道	增强型 		
	耗尽型 		
P 沟道	增强型 		
	耗尽型 		

绝缘栅型场效应管

N 沟道

增强型

耗尽型

P 沟道

增强型

耗尽型

GAODENG XUEXIAO YOUXIUJIAOCAI FUDAOCONGSHU  
高等院校优秀教材辅导丛书



### 1.4.2 三个工作区域

与三极管的放大区、截止区和饱和区相对应,场效应管的三个工作区分别为恒流区、夹断区和可变电阻区。

### 1.4.3 场效应管的电流方程的主要参数

1. 用来描述  $i_D$  (漏极电流) 受  $u_{GS}$  控制的低频跨导, 即

$$g_m = \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{GS}} \quad (\text{西门子, S})$$

2. 结型场效应管电流方程

$$i_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}} \right)^2, \quad g_m = - \frac{2I_{DSS}}{U_{GS(off)}} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS(off)}} \right)$$

3. 绝缘栅型增强型场效应管

$$i_D = I_{D0} \left( \frac{u_{GS}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2$$



SHU HOU XI TI JIE XI

书后习题解析

### 自测题

一、判断下列说法是否正确,用“√”和“×”表示判断结果填入空内。

1. 在 N 型半导体中如果掺入足够量的三价元素,可将其改型为 P 型半导体。 ( )
2. 因为 N 型半导体的多子是自由电子,所以它带负电。 ( )
3. PN 结在无光照、无外加电压时,结电流为零。 ( )
4. 处于放大状态的晶体管,集电极电流是多子漂移运动形成的。 ( )
5. 结型场效应管外加的栅 - 源电压应使栅 - 源间的耗尽层承受反向电压,才能保证其  $R_{GS}$  大的特点。 ( )
6. 若耗尽型 N 沟道 MOS 管的  $u_{GS}$  大于零,则其输入电阻会明显变小。 ( )

解 1. √。若在 N 型半导体中再掺入三价元素,使得半导体中空穴的数目大于自由电子的数目,即可改型为 P 型半导体。

2. ×。半导体本身处于电平衡,不带电。

