

工 科 核 心 课 程 学 习 辅 导 丛 书

模拟电子技术基础

学习要点与习题解析

李义府 主编

依 据 教学大纲

紧 扣 权威教材

利 于 自学 辅导 考研

精 选 例 题 提示解题方法

模 拟 自 测 提供答案详解

国防科技大学出版社

工科核心课程学习辅导丛书

电子信息类

模拟电子技术基础

学习要点与习题解析

主 编 李义府

副主编 罗桂娥 张静秋 陈革辉

国防科技大学出版社

·长沙·

内 容 简 介

本书按高等工科院校模拟电子技术基础课程教学大纲和国内流行版本的内容结构编写。内容包括常用半导体器件、基本放大电路、多级放大电路、集成运算放大电路、放大电路的反馈、信号的运算和处理、波形发生与信号的变换、功率放大电路、直流电源。每章包括：内容要点、学习要求与方法、自测题精选。附有课程考试试卷和模拟试卷，全国重点大学研究生入学考试试卷。

本书可作电气信息类专业与相近专业本科生的课程教学参考书，也可作为考研基础阶段复习训练之用。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础学习要点与习题解析/李义府等编著. —长沙:国防科技大学出版社, 2004.4

(工科核心课程学习辅导丛书)

ISBN 7-81099-068-3/TN·10

I. 模… II. 李… III. 模拟电子技术基础-要点与解析-辅导教材 IV. TN710

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4562040 邮政编码:410073

E-mail: gfkdcbs@public.cs.hn.cn

责任编辑:潘生 责任校对:唐卫威

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本:787×1092 1/16 印张:16 字数:370千

2004年5月第1版第1次印刷 印数:4000册

*

定价:24.00元

如有折页破损质量问题,可同本社发行科联系调换

前 言

本书是根据国家教育委员会高等工业学校电子技术课程指导小组修订的《电子技术基础课程教学基本要求》编写的一本《模拟电子技术基础》学习辅导书,是电子信息类课程学习辅导丛书之一。可作为在校大学生学习《模拟电子技术》课程的参考书,也可作为考研学生学习基础训练之用。

本书是作者多年教学的经验体会和总结,其内容与工科院校模拟电子技术基础国内流行版本内容一致,各章主要内容以内容要点出现在书中,便于学习复习与总结。内容要点和例题解析系统地论述了模拟电路的基本理论,同时提供解题的具体方法,以便学生巩固理论,启迪思维,会分析、会灵活解题。全书共分十章,主要包括半导体器件、基本放大电路、多级放大电路、集成运算放大电路、放大电路的反馈、信号的处理和运算、波形发生与转换、功率放大、直流电源并附有课程考试试卷和模拟试卷以及部分全国重点大学研究生入学考试试卷等内容。

参加本书编写工作的有李义府(第1章,第8章)、张静秋(第2章,第3章)、罗桂娥(第4章,第5章,第9章)、陈革辉(第6章,第7章)、彭卫韶(第10章和附录)。由李义府教授担任主编负责组织、修改和定稿,由罗桂娥副教授、张静秋副教授、陈革辉老师任副主编,一起讨论整体内容和修改。本书的考试试卷答案(10.5和附11)由第一军医大学李文华(硕士生)、中南大学学生周树桥负责编写。

本书得到国防科技大学出版社的大力支持,同时得到中南大学、国防科技大学、湖南大学很多老师的热情帮助,在此向他们表示深深的感谢。

限于编者的水平,难免有错误和不妥之处,敬请读者批评和指正。

编 者

2004年3月于长沙:

中南大学

工科核心课程学习辅导丛书

电子信息类:

1. 模拟电子技术基础学习要点与习题解析
2. 数字电子技术基础学习要点与习题解析
3. 信号与系统学习要点与习题解析
4. 通信电路与通信原理学习要点与习题解析
5. 自动控制原理学习要点与习题解析

策划:潘生

目 录

第一章 常用半导体器件

1.1 内容要点	(1)
1.1.1 半导体基础知识	(1)
1.1.2 半导体二极管	(2)
1.1.3 双极型三极管	(4)
1.1.4 场效应三极管	(5)
1.2 学习要求与学习方法	(9)
1.3 典型例题解析	(9)
1.3.1 基本题解答	(9)
1.4 自测题精选	(14)
1.4.1 自测题	(14)
1.4.2 自测题答案	(19)

第二章 基本放大电路

2.1 内容要点	(21)
2.1.1 基本放大电路的组成和工作原理	(21)
2.1.2 放大电路的分析方法	(23)
2.1.3 复合管与基本放大电路的派生电路	(31)
2.1.4 基本放大电路的频率响应	(31)
2.2 学习要求与学习方法	(35)
2.3 典型例题解析	(36)
2.3.1 基本题解答	(36)
2.3.2 典型例题解析	(41)
2.4 自测题精选	(59)
2.4.1 自测题	(59)
2.4.2 自测题答案	(61)

第三章 多级放大电路

3.1 内容要点	(64)
3.1.1 多级放大电路的耦合方式	(64)
3.1.2 多级放大电路的计算方法	(64)
3.1.3 直接耦合多级放大电路输入级典型电路——差分放大电路	(65)
3.1.4 直接耦合多级放大电路输出级典型电路——互补对称输出级(OCL)	(69)

3.2	学习要求与学习方法	(70)
3.3	典型例题解析	(71)
3.3.1	基本题解答	(71)
3.3.2	典型例题解析	(74)
3.4	自测题精选	(80)
3.4.1	自测题	(80)
3.4.2	自测题答案	(81)
第四章 集成运算放大电路		
4.1	内容要点	(83)
4.1.1	集成运算放大电路基本知识	(83)
4.1.2	电流源电路	(84)
4.2	学习要求与学习方法	(87)
4.3	典型例题解析	(87)
4.3.1	基本题解答	(87)
4.3.2	典型例题解析	(88)
4.4	自测题精选	(92)
4.4.1	自测题	(92)
4.4.2	自测题答案	(94)
第五章 放大电路的反馈		
5.1	内容要点	(95)
5.1.1	反馈的概念与判断	(95)
5.1.2	反馈放大倍数的分析与计算	(97)
5.1.3	负反馈对放大电路性能的影响	(98)
5.1.4	放大电路中引入负反馈的一般原则	(99)
5.1.5	负反馈放大电路的稳定性	(99)
5.2	学习要求与学习方法	(100)
5.3	典型例题解析	(100)
5.3.1	基本题解答	(100)
5.3.2	典型例题解析	(101)
5.4	自测题精选	(111)
5.4.1	自测题	(111)
5.4.2	自测题答案	(115)
第六章 信号的运算和处理		
6.1	内容要点	(117)
6.1.1	理想运算放大电路的分析方法	(117)
6.1.2	基本运算电路的分析与设计	(118)
6.1.3	有源滤波电路的分析	(120)

6.2	学习要求与学习方法	(122)
6.3	典型例题解析	(122)
6.3.1	基本题解答	(122)
6.3.2	典型例题解析	(123)
6.4	自测题精选	(130)
6.4.1	自测题	(130)
6.4.2	自测题答案	(133)
第七章 波形发生与信号的变换		
7.1	内容要点	(135)
7.1.1	正弦波振荡电路	(135)
7.1.2	电压比较器	(138)
7.1.3	非正弦波发生电路	(140)
7.1.4	信号转换电路	(140)
7.2	学习要求与学习方法	(141)
7.3	典型例题解析	(142)
7.3.1	基本题解答	(142)
7.3.2	典型例题解析	(143)
7.4	自测题精选	(150)
7.4.1	自测题	(150)
7.4.2	自测题答案	(152)
第八章 功率放大电路		
8.1	内容要点	(155)
8.1.1	功率放大电路的特点与分类	(155)
8.1.2	互补对称功率放大电路	(156)
8.1.3	其他形式的功率放大电路	(159)
8.1.4	功率管的散热与保护	(160)
8.2	学习要求与学习方法	(161)
8.3	典型例题解析	(161)
8.3.1	基本题解答	(161)
8.3.2	典型例题解析	(163)
8.4	自测题精选	(166)
8.4.1	自测题	(166)
8.4.2	自测题答案	(168)
第九章 直流电源		
9.1	内容要点	(170)
9.1.1	直流电源的组成及各部分的作用	(170)
9.1.2	整流电路	(170)

9.1.3 滤波电路	(173)
9.1.4 稳压电路	(174)
9.2 学习要求与学习方法	(176)
9.3 典型例题解析	(176)
9.3.1 基本题解答	(176)
9.3.2 典型例题解析	(177)
9.4 自测题精选	(185)
9.4.1 自测题	(185)
9.4.2 自测题答案	(188)
第十章 模拟电子技术基础考试试卷	
10.1 国防科技大学模拟电子技术基础试卷	(191)
10.2 中南大学模拟电子技术基础试卷	(195)
10.3 西北工业大学模拟电子技术基础试卷	(198)
10.4 高等工程专科模拟电子技术基础试卷	(202)
10.5 模拟电子技术基础试卷参考答案	(205)
附录:部分国家重点大学硕士研究生入学考试试题	
1. 国防科技大学硕士研究生入学考试试题	(211)
1.1 2002 年硕士研究生入学考试试题	(211)
1.2 2003 年硕士研究生入学考试试题	(214)
2. 中南大学 2003 年硕士研究生入学考试试题	(215)
3. 北京航空航天大学 2003 年硕士研究生入学考试试题	(218)
4. 哈尔滨工业大学 2001 年硕士研究生入学考试试题	(222)
5. 西北工业大学 2001 年硕士研究生入学考试试题	(224)
6. 湖南大学 2003 年硕士研究生入学考试试题	(227)
7. 浙江大学 2000 年硕士研究生入学考试试题	(230)
8. 上海交通大学 2001 年硕士研究生入学考试试题	(232)
9. 西安交通大学 2000 年硕士研究生入学考试试题	(234)
10. 重庆大学 2003 年硕士研究生入学考试试题	(236)
11. 部分学校硕士研究生入学考试试题参考答案	(237)
参考文献	(248)

第一章 常用半导体器件

1.1 内容要点

1.1.1 半导体基础知识

1. 本征半导体

半导体包括本征半导体和杂质半导体,硅和锗是常用的半导体材料。纯净的具有晶体结构的半导体称为本征半导体。在本征半导体中由于热激发,内层电子获得足够能量挣脱原子核的束缚形成自由电子空穴对。运载电荷的粒子称为载流子。导体中只有一种载流子,即自由电子。本征半导体中有两种载流子,即自由电子和空穴。自由电子带负电,空穴带正电。在常温下,本征半导体的导电性能很差,且与环境温度密切相关。

2. 杂质半导体

杂质半导体分成 P 型半导体和 N 型半导体。杂质半导体中载流子有多子和少子之分。多数载流子(多子)由掺杂形成,少数载流子(少子)由热激发产生。本征半导体掺入五价元素形成 N 型半导体;掺入三价元素形成 P 型半导体。P 型半导体的多子为空穴,N 型半导体的多子为电子。半导体的导电性能与半导体的掺杂浓度和温度有关。掺杂浓度大,温度越高,其导电能力越强。

3. PN 结的单向导电性

由于载流子浓度差而产生的运动称为扩散运动。在电场作用载流子的运动称为漂移运动。载流子的扩散运动和漂移运动平衡的结果在 P 型半导体和 N 型半导体的交界面形成 PN 结(又称耗尽层,空间电荷区)。电源的正极接到 PN 结的 P 端,电源的负极接到 PN 结的 N 端,称为正向接法(正向偏置,正偏)。电源的负极接到 PN 结的 P 端,正极接到 PN 结的 N 端,称为反向接法(反向偏置,反偏)。

PN 结外加正向电压:内电场削弱,空间电荷区变窄,扩散运动 > 漂移运动,形成正向电流,称为 PN 结导通。PN 结外加反向电压:内电场增强,空间电荷区变宽。扩散运动 < 漂移运动,电流 ≈ 0 ,称为 PN 结截止。PN 结正向导通,反向截止,称为单向导电性。

4. PN 结的电流方程

$$i = I_s (e^{\frac{q}{kT} U_T} - 1) \quad (1.1)$$

其中, $U_T = \frac{kT}{q}$, 常温下 $T = 300\text{K}$ 时, $U_T \approx 26\text{mV}$; I_s 为反向饱和电流。

$u > 0$, 且 $u > U_T$, PN 结导通, $i \approx I_s e^{\frac{u}{U_T}}$, PN 结的伏安特性呈指数规律。 $u < 0$ 且 $|u| < U_{BR}$, PN 结截止, $i = -I_s \approx 0$, 反向电流基本与反向电压 u 无关。可见, PN 结具有单向导电性。

5. PN 结的反向击穿特性与电容效应

PN 结反向电压增大到一定值时, 反向电流随电压的增加急剧增大, 称为反向击穿。根据击穿机理的不同可分为雪崩击穿和齐纳击穿。PN 结的电容特性由扩散电容 C_d 和势垒电容 C_b 组成。正向偏置时以扩散电容 C_d 为主, 反向偏置时以势垒电容产生 C_b 为主。结电容 C_j 为 C_b 与 C_d 之和, 即

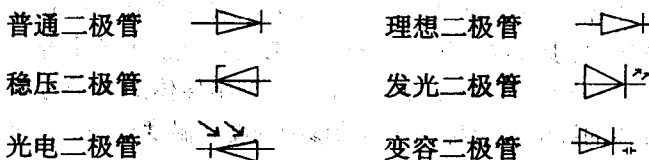
$$C_j = C_b + C_d \quad (1.2)$$

1.1.2 半导体二极管

1. 半导体二极管的结构及类型

半导体二极管是由一个 PN 结, 再加上电极、引线封装而成的。二极管的分类: 按制造工艺可分为合金型、扩散型等。按结构形式可分为点接触型、面接触型等。点接触型结面积小, 结电容小, 适用于高频、小电流的电路, 如检波电路; 而面接触型结构面积大、结电容大, 适用于低频、大电流的电路, 如整流电路。按其功能可分为普通型二极管(如整流二极管、检波二极管等)和特殊二极管(如稳压二极管、发光二极管、光电二极管以及变容二极管等)。

一些二极管的符号如下:



2. 半导体二极管的伏安特性

二极管具有单向导电性, 它的伏安特性与 PN 结一样, 如图 1.1, 其电流方程如(1.1)式。

当二极管加上正向电压且大于开启电压 U_m , 二极管才导通。工程估算认为: 硅二极管开启电压 $U_m \approx 0.5V$, 锗二极管的开启电压 $U_m \approx 0.1V$, 硅二极管导通电压等于 $0.7V$, 锗二极管导通电压等于 $0.2V$ 。

3. 半导体二极管的等效电路(正向模型)

二极管的正向特性可用四种不同模型(等效电路表示), 它适用不同的应用情况如表 1.1.1 所示。

4. 特殊二极管

除普通二极管外, 还有若干特殊二极管, 如: 稳压二极管, 发光二极管, 光电二极管以及变容二极管。

稳压二极管因反向击穿特性很陡, 如工作在反向击穿区时, 便具有很好的稳压特性。

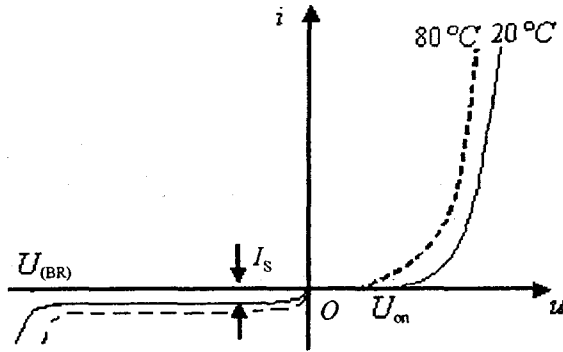


图 1.1 二极管的伏安特性

发光二极管同样具有单向导电性。只有外加正向电压使得正向电流足够大时才发光。

表 1.1.1 二极管的等效电路

名称	理想二极管	导通正向压降为常量的折线等效电路	折线化等效电路	微变等效电路
伏安特性				
等效电路				
参数及特点	导通正向压降=0, 正向电阻=0; 截止反向电流=0, 反向电阻= ∞	导通正向压降为恒值, 硅管 0.7V, 锗管 0.2V	用理想二极管串联电压源 U_{on} 和电阻 R_D , $R_D = \frac{\Delta U}{\Delta I}$	在 Q 点附近曲线线性化动态电阻 $r_d = \frac{\Delta U_D}{\Delta i_D}$
应用	外加大的电压	$i_D \approx 1 \text{ mA}$ 情况	工作电压较小	交流小信号

光电二极管是一种远红外线接收管, 是一种利用 PN 结的光敏特性将光能转换成电能的器件, 将接收到的光的变化转换成电流的变化。

变容二极管是利用 PN 结的电容效应制成的,在电子电路中,常用来组成压控电容。

1.1.3 双极型三极管

1. 晶体三极管的类型

晶体三极管由两个 PN 结、三个电极构成,三个电极分别称为发射极 e、基极 b 和集电极 c。按三极管所用的半导体材料分为硅管和锗管;按导电性分有 NPN 管和 PNP 管;按管截止频率分有低频管和高频管;按三极管的功率分有小功率管、中功率管和大功率管等。常用的晶体三极管是 PNP 型锗合金管和 NPN 型硅平面管,其符号如图 1.2 所示。箭头方向表示发射结正向接法时电流的实际方向。

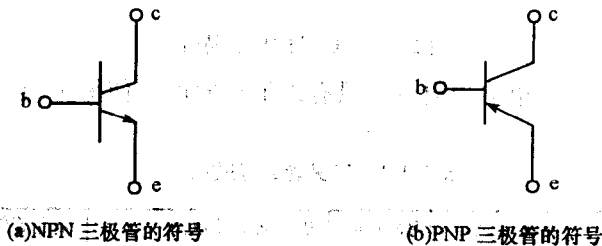


图 1.2 晶体三极管的符号

2. 晶体三极管的电流分配关系

在保证发射结正偏、集电结反偏的条件下,三极管工作在放大状态,无论是 NPN 型还是 PNP 型,它们的电流分配关系是相同的,其关系式如下:

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = \beta I_B + I_{CBO}$$

$$I_C = \bar{\alpha} I_E + I_{CBO}$$

对 NPN 管来说, I_b 从 b 流到 e, I_c 从 c 流到 e。对 PNP 管来说,电流的方向刚好相反。因为 $I_{CBO} \ll I_C$, $I_{CBO} \ll I_C$, 所以电流放大系数可近似表示成:

$$\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B}; \quad \bar{\alpha} = \frac{I_C}{I_E}$$

故在计算中

$$I_C = \beta I_B \approx \beta I_B \quad (1.3)$$

$$I_E = \alpha I_C \approx \alpha I_C \quad (1.4)$$

3. 晶体三极管的伏安特性曲线

三极管的特性曲线有输入特性曲线和输出特性曲线两种,如图 1.3 所示。从输出特性可以看出,晶体管有三个区域:饱和区、放大区和截止区,标示如图 1.3(b)。

4. 三极管的三种工作状态

要保证三极管工作在放大状态,则应满足:发射结正向偏置,集电结反向偏置。或者说,三极管的三个电极的电压应满足:

对 NPN 管:

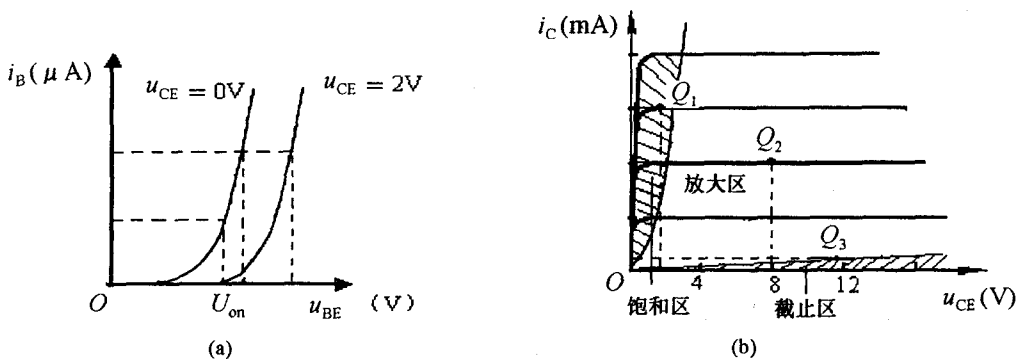


图 1.3 双极型三极管的伏安特性曲线
(a)输入特性曲线 (b)输出特性曲线

$$U_C > U_B > U_E \quad (1.6)$$

对 PNP 管:

$$U_C < U_B < U_E \quad (1.7)$$

由于硅管和锗的特性有所差异,在放大状态时基极与发射极间的压降 $|U_{BE}|$ 数值不同,工程估算中,认为硅管 $|U_{BE}| = 0.7V$,锗管 $|U_{BE}| = 0.2V$,不同的三极管导通电压 U_{on} 也不同,常近似为 $U_{on} \approx 0.5V$ (硅管),或 $U_{on} \approx 0.1V$ (锗管)。

三极管除工作在放大状态之外,还有饱和与截止工作状态,这两个工作状态主要在数字电路中作开关使用。如果发射结和集电结均正偏置,则三极管工作在饱和状态,如果发射结电压小于导通电压,则三极管工作在截止状态。根据基极电流 I_B 的大小,可使晶体管工作在三个不同的区域:放大、饱和、截止。这三个区域的条件和特点见表 1.1.2。

表 1.1.2 NPN 管工作状态的特点

工作状态	截止	放大	饱和	
条件	$i_B = 0$	$0 < i_B < \frac{I_{CS}}{\beta}$	$i_B > \frac{I_{CS}}{\beta}$	
工作特点	偏置情况	发射结正偏,集电结反偏	发射结和集电结均为正偏	
	集电极电流	$i_C \approx 0$	$i_C \approx \beta i_B$	$i_C \approx I_{CS} \approx \frac{V_{CC}}{R_C}$ 且不随 i_B 增加而增加
	管压降	$U_{CE} \approx V_{CC}$	$U_{CE} = V_{CC} - i_C R_C$	$U_{CES} \approx 0.2 \sim 0.3V$ (硅管) $U_{CES} \approx 0.1V$ (锗管)
	c,e 间等效内阻	很大,约为数百千欧,相当于开关断开	可变	很小,约为数百欧,相当于开关闭合

5. 晶体三极管的参数

双极型三极管的主要参数:有电流放大系数、极间反向电流以及极限参数等。

(1) 电流放大系数

共射极直流电流放大系数: $\bar{\beta} = \frac{I_C - I_{CE0}}{I_B}$

当 $I_C \gg I_{CE0}$ 时, 有

$$\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} \quad (1.8)$$

当 I_{CE0} 可忽略时, 共基极直流电流放大系数:

$$\bar{\alpha} = \frac{I_C}{I_E} \quad (1.9)$$

共射极交流电流放大系数:

$$\beta = \left. \frac{\Delta i_c}{\Delta i_b} \right|_{u_{ce} = \text{常数}} \quad (1.10)$$

共基极交流电流放大系数:

$$\alpha = \left. \frac{\Delta i_c}{\Delta i_e} \right|_{u_{cb} = \text{常数}} \quad (1.11)$$

近似分析中, $\beta \approx \bar{\beta}$, $\alpha \approx \bar{\alpha}$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}; \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (1.12)$$

(2) 极间反向电流

I_{CE0} 是发射极开路时的集电结反向电流, 一种管子 I_{CE0} 越小, 表示性能要稳定。 I_{CE0} 是基极开路时集电极和发射极间的穿透电流。对同型号的管子, I_{CE0} 越小, 性能越稳定。

(3) 极限参数主要有: P_{CM} 、 I_{CM} 、 BU_{CE0} 、 f_T 等。选择晶体三极管时, 要求: $P_o < P_{CM}$, $i_c < I_{CM}$, $u_{CE} < BU_{CE0}$ 等。

6. 温度对晶体三极管特性和参数的影响

由于半导体材料的热敏性, 晶体管的输入特性和输出特性以及参数都受温度影响。但影响最显著的参数有:

(1) I_{CE0} 的影响: 温度每升高 10°C , I_{CE0} 大约增加一倍。反之, 温度下降, I_{CE0} 减小。由于硅管的 I_{CE0} 比锗管小得多, 所以从绝对值上看, 硅管比锗管受温度影响小。

(2) U_{BE} 的影响: 温度变化 1°C , $|U_{BE}|$ 大约变化 $2 \sim 2.5\text{mV}$, 并具有负温度系数。若 U_{BE} 不变, 温度升高时, i_b 将增大。

(3) β 的影响: 温度每增加 1°C , β 增大约为 1% 。

1.1.4 场效应三极管

场效应三极管和双极型三极管一样都具有放大作用, 即通过能量的控制实现对信号的放大功能。

1. 场效应管的类型

FET 分为结型管和绝缘栅型管两大类, 结型场效应管是一种半导体体内的场效应控制器件, 由 U_{GS} 的大小改变 PN 结(耗尽层)的宽度来控制导电沟道从而改变漏极电流的器

件。绝缘栅型场效应管是一种半导体表面场效应控制器件,由栅源电压 U_{GS} 的大小来控制半导体表面反应层的导电沟道从而改变漏极电流的器件。根据导电沟道的类型可分为 P 沟道管和 N 沟道管,绝缘栅型场效应管根据 $U_{GS} = 0V$ 时是否有导电沟道,又分为耗尽型和增强型两类; $U_{GS} = 0$ 存在导电沟道, $i_D \neq 0$, 称为耗尽型场效应管, $U_{GS} = 0$, 不存在导电沟道, $i_D = 0$, 称为增强型场效应管。场效应管和双极型三极管的类型、性能比较如表 1.1.3 所示。

表 1.1.3 场效应管与双极型三极管的比较

管子名称	双极型三极管	场效应管	
		结型	绝缘栅型
导电机理	利用多子和少子导电	利用多子导电	
控制方式	电流控制 $i_c = \beta i_b$	电压控制 $i_D = g_m u_{gs}$	
分类	锗管 { PNP 型 NPN 型 硅管 { PNP 型 NPN 型	N 沟道 P 沟道	增强型 { N 沟道 P 沟道 耗尽型 { N 沟道 P 沟道
偏置原理 (线性应用)	发射结正向偏置、集电结反向偏置 NPN 型: $U_C > U_B > U_E$ PNP 型: $U_C < U_B < U_E$	N 沟道: $U_{DS} > 0$ $0 \geq U_{GS} \geq U_{GS(off)}$ P 沟道: $U_{DS} < 0$ $0 \leq U_{GS} \leq U_{GS(off)}$	N 沟道增强型: $U_{DS} > 0, U_{GS} \geq U_{GS(th)}$ P 沟道增强型: $U_{DS} < 0, U_{GS} \leq U_{GS(th)}$ N 沟道耗尽型: $U_{DS} > 0$ P 沟道耗尽型: $U_{DS} < 0$
直流输入电阻	小	大, 可达 $10^7 \Omega$	极大, 可达 $10^9 \Omega$
稳定性	受温度辐射影响大	受温度辐射影响小	
噪声	中等	较大	
单级电压增益	大	较小	
反映放大的主要参数	$\beta = \frac{\Delta i_c}{\Delta i_b}$	$g_m = \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{gs}}$	

2. 场效应管的特性曲线与电流方程

(1) 电流方程式

结型场效应管的 i_D 对 u_{GS} 的近似表达式为:

$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}} \right)^2 \quad (1.13)$$

N 沟道增强型绝缘栅场效应管的 i_D 对 u_{gs} 的近似表达式为:

$$i_D = I_{D0} \left(\frac{u_{GS}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2 \quad (1.14)$$

其中, I_{D0} 是 $u_{GS} = 2U_{GS(th)}$ 时的 i_D 。

(2) 特性曲线

图 1.4 所示分别为 N 沟道增强型绝缘栅场效应管的转移特性曲线和输出特性曲线。它可分成三个工作区域: 可变电阻区、恒流区及夹断区, 如图中所标注。

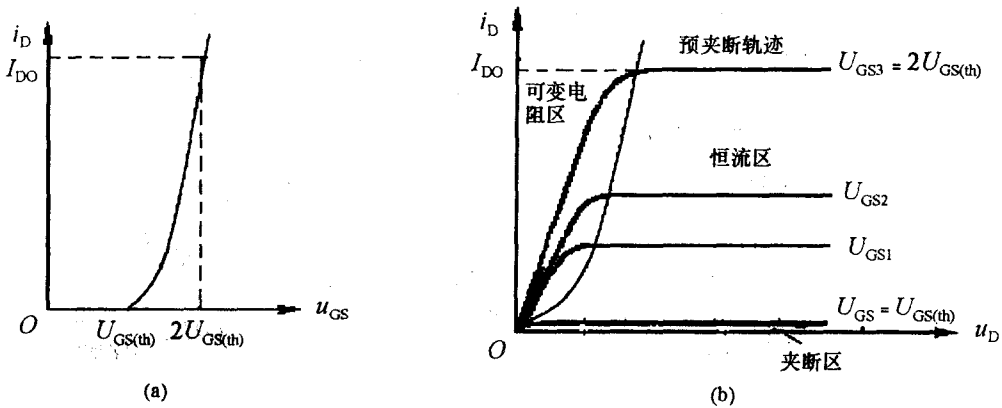


图 1.4 N 沟道增强型 MOS 管的特性曲线

(a) 转移特性曲线

(b) 输出特性曲线

3. 场效应管的三种工作状态特点

和双极型三极管一样, 场效应管也具有三种工作状态, 在不同的应用条件下, 场效应管工作在不同的状态。三种工作状态的特点如表 1.1.4 所示。

表 1.1.4 场效应管在三种不同工作状态的特点

工作状态	特点
可变电阻区	i_D 和 u_{DS} 变化近似正比关系, d、s 间的等效电阻 r_{DS} 较小, 相当于开关关上
恒流区	u_{GS} 一定时, $u_{DS} \uparrow$ 基本恒定不变, 当 u_{GS} 变化时 i_D 随之变化, 起放大作用
夹断区	r_{DS} 很大, $i_D \approx 0$, D、S 极可视为开路, 相当于开关断开

4. 场效应管的主要参数

(1) 直流参数: 包含开启电压 $U_{GS(th)}$ 、夹断电压 $U_{GS(off)}$ 、直流输入电阻 $R_{GS(DC)}$ 、饱和漏极电流 I_{DSS} 。

(2) 交流参数: 包括低频跨导 g_m 和极间电容等。低频跨导 g_m 定义为:

$$g_m = \left. \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{GS}} \right|_{u_{DS} = \text{常数}} \quad (1.15)$$

(3) 极限参数: 包括最大漏极电流 I_{DM} 、最大耗散功率 P_{DM} 以及击穿电压等。