

21世纪

自学·复习·考研系列丛书

# 电子技术基础 试题精选与答题技巧

突出重点  
明确思路  
提高能力

DIANZI JISHU JICHU SHITI JINGXUAN YU DATI JIQIAO

主编 蔡惟铮

副主编 胡晓光 杨春玲

哈尔滨工业大学出版社



21 世纪

中国第一套面向 21 世纪的课程体系

# 电子技术基础

## 试题精选与答题技巧

主编 李国柱  
副主编 陈国治  
编委 李国柱



本书可作为高等院校电子技术基础课程的教学参考书

主编 李国柱

副主编 陈国治

中国铁道出版社

TN01-44

134

21 世纪自学·复习·考研系列丛书

# 电子技术基础试题精选与答题技巧

(修订版)

主 编 蔡惟铮

副主编 胡晓光 杨春玲

哈尔滨工业大学出版社

哈 尔 滨

## 内 容 简 介

本书是一本帮助学生《电子技术基础》课程的辅助教材,共分 18 章,内容涵盖模拟电子技术基础和数字电子技术基础。每章由知识要点、重点难点、例题分析和自我检测四个部分组成。本书可供本科生和报考硕士研究生的同学使用,对讲授本门课程的教师也有参考价值。

## 图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础试题精选与答题技巧/蔡惟铮主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2000.7

ISBN 7-5603-1571

I. 电… II 蔡… III. ①电子技术-高等学校-答题  
②电子技术-研究生-入学考试-试题 IV. TN-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 30588 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006  
传 真 0451-6414749  
印 刷 肇东粮食印刷厂  
开 本 787×1092 1/16 印张 17.25 字数 442 千字  
版 次 2001 年 11 月第 2 版 2001 年 11 月第 2 次印刷  
书 号 ISBN 7-5603-1571-2/TM·31  
印 数 5 001~10 000  
定 价 22.00 元

## 再版前言

《电子技术基础试题精选与答题技巧》一书自 2000 年 11 月出版一年以来,受到了广大高等院校学生和考研复习者的好评。据不完全统计,目前已有近 30 所高等院校的学生将此作为《电子技术基础》课程的学习参考书,有近 20 个省市的考生将此书作为考研复习指导书。为满足广大读者的需求,我们就目前的使用情况对原版作一些必要的充实和修改,即:

1. 为增强本书的严谨性,在语言文字和表述方式上作了较大程度修改;
2. 为增强本书的规范性,对本书中的符号、单位、概念、术语进行了核准和统一;
3. 为增加本书的适用性,给出了 1999 年、2000 年的研究生考试试题和参考答案。

参加本次再版工作的有蔡惟铮、胡晓光、杨春玲、王立欣和齐明。

编 者

2001 年 10 月

# 前 言

本书系学习指导类辅助教材,旨在帮助学习《电子技术基础》课程的学生掌握课程重点、难点和基本概念。这里要说明的是,重点不一定难,难点可能是重点,但也不一定是重点。不论是重点还是难点,其中的基本概念是最重要的。掌握基本概念固然重要,但会运用基本概念去分析问题和解决问题更加重要。解决问题不仅仅是只会做习题,而且也包括解决实际问题。做习题的目的是要考核自己掌握基本概念的正确性和准确性,以及是否会运用电子电路的基本分析方法。这些方法除了与电路基础课程中的方法有共同之处外,还有其特殊性。要学好《电子技术基础》这门课,掌握电路基础课程是很重要的。

本书的章节按现行教材安排,每章中的内容分知识要点、重点难点、例题分析和自我检测四个部分。在知识要点中简明扼要地介绍了本章的主要内容。在重点难点中对本章的内容进行了综述,有一部分对教材的内容进行了概述,也有的部分给予了总结,有些内容是在一般教材中难于看到的。考虑到同学们已经基本学习完本课程,所以书中有的内容是前后联系在一起加以说明的。如果同学们还没有学完本课程,暂时看不懂,可以先跳过去,等过后再看。在例题分析和自我检测中,举了一些例子,供同学们借鉴,千万不要将一个例题孤立起来,否则越学越多。要通过例题巩固概念,分辨不同概念的差别和相似之处,要融会贯通,尤其要通过例题学会用基本概念解决问题的本领,要学会用某一个概念解决多个不同问题的本领。这样便会越学越活,书也就越学越薄,真正达到了少而精,虽少而底蕴坚实。本书还收集了一部分电子技术课程的试题,供同学们参考。本书内容对报考硕士研究生的同学也十分有益。

本书由哈尔滨工业大学电子学教研室的教师编写,参加编写工作的有蔡惟铮、胡晓光、杨春玲、关伯利、王立欣、齐明、王宇野、于泳等,由蔡惟铮主编,胡晓光和杨春玲任副主编,王淑娟、赵凯岐和马东参加了许多校对和订正工作,多数电路图由齐明完成。由于时间紧,一些素材未经实际验证,可能会有差错之处,望读者批评指正,不胜感谢。

编 者

2000年9月

# 目 录

## 第1章 半导体器件基本知识

|                      |   |
|----------------------|---|
| 1.1 知识要点 .....       | 1 |
| 1.2 重点难点 .....       | 1 |
| 1.2.1 半导体的基础知识 ..... | 1 |
| 1.2.2 二极管 .....      | 1 |
| 1.2.3 双极型三极管 .....   | 3 |
| 1.2.4 场效应三极管 .....   | 4 |
| 1.3 例题分析 .....       | 6 |
| 1.4 自我检测 .....       | 8 |

## 第2章 基本放大电路

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 2.1 知识要点 .....             | 12 |
| 2.2 重点难点 .....             | 12 |
| 2.2.1 基本放大电路的组成及工作原理 ..... | 12 |
| 2.2.2 静态分析 .....           | 13 |
| 2.2.3 放大电路的性能指标 .....      | 13 |
| 2.2.4 分析方法 .....           | 13 |
| 2.2.5 三种组态放大电路的比较 .....    | 15 |
| 2.2.6 场效应管放大电路 .....       | 16 |
| 2.3 例题分析 .....             | 16 |
| 2.4 自我检测 .....             | 20 |

## 第3章 运算放大器及其线性应用

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 3.1 知识要点 .....            | 24 |
| 3.2 重点难点 .....            | 24 |
| 3.2.1 多级放大电路 .....        | 24 |
| 3.2.2 差动放大电路 .....        | 25 |
| 3.2.3 电流源电路 .....         | 27 |
| 3.2.4 功率放大电路 .....        | 28 |
| 3.2.5 集成运算放大器 .....       | 31 |
| 3.2.6 集成运算放大器线性应用电路 ..... | 32 |
| 3.3 例题分析 .....            | 35 |
| 3.4 自我检测 .....            | 40 |

## 第4章 负反馈放大电路

|                |    |
|----------------|----|
| 4.1 知识要点 ..... | 44 |
| 4.2 重点难点 ..... | 44 |

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| 4.2.1 反馈的概念与反馈基本方程式 .....                    | 44 |
| 4.2.2 反馈的组态 .....                            | 45 |
| 4.2.3 四种负反馈类型的特性分析 .....                     | 46 |
| 4.3 例题分析 .....                               | 47 |
| 4.4 自我检测 .....                               | 52 |
| <b>第5章 放大电路的频率响应</b>                         |    |
| 5.1 知识要点 .....                               | 55 |
| 5.2 重点难点 .....                               | 55 |
| 5.2.1 频率响应的概念 .....                          | 55 |
| 5.2.2 频率响应的表达方式 .....                        | 55 |
| 5.2.3 三极管高频小信号模型 .....                       | 56 |
| 5.2.4 负反馈放大电路的稳定性 .....                      | 57 |
| 5.3 例题分析 .....                               | 58 |
| 5.4 自我检测 .....                               | 61 |
| <b>第6章 正弦波振荡电路</b>                           |    |
| 6.1 知识要点 .....                               | 66 |
| 6.2 重点难点 .....                               | 66 |
| 6.2.1 自激振荡的概念及条件 .....                       | 66 |
| 6.2.2 RC 正弦波振荡电路 .....                       | 67 |
| 6.2.3 LC 正弦波振荡电路 .....                       | 68 |
| 6.2.4 石英晶体正弦波振荡电路 .....                      | 71 |
| 6.3 例题分析 .....                               | 72 |
| 6.4 自我检测 .....                               | 75 |
| <b>第7章 有源滤波器</b>                             |    |
| 7.1 知识要点 .....                               | 81 |
| 7.2 重点难点 .....                               | 81 |
| 7.2.1 滤波器的分类 .....                           | 81 |
| 7.2.2 滤波器的功能 .....                           | 81 |
| 7.2.3 一阶有源 RC 滤波器 .....                      | 82 |
| 7.2.4 二阶有源滤波器 .....                          | 82 |
| 7.2.5 二阶低通压控电压源型滤波器引入正反馈对 $A_{up}$ 的限制 ..... | 83 |
| 7.2.6 有源滤波器电路的分析要点 .....                     | 84 |
| 7.3 例题分析 .....                               | 84 |
| 7.4 自我检测 .....                               | 85 |
| <b>第8章 运算放大器的非线性应用</b>                       |    |
| 8.1 知识要点 .....                               | 90 |
| 8.2 重点难点 .....                               | 90 |
| 8.2.1 电压比较器 .....                            | 90 |
| 8.2.2 非正弦信号产生电路 .....                        | 90 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 8.3 例题分析 .....                  | 92  |
| 8.4 自我检测 .....                  | 94  |
| <b>第9章 模拟乘法器</b>                |     |
| 9.1 知识要点 .....                  | 100 |
| 9.2 重点难点 .....                  | 100 |
| 9.2.1 模拟乘法器的基本原理 .....          | 100 |
| 9.2.2 两种模拟乘法器电路构成及框图 .....      | 101 |
| 9.2.3 模拟集成乘法器 .....             | 101 |
| 9.2.4 乘法器的应用 .....              | 101 |
| 9.3 例题分析 .....                  | 103 |
| 9.4 自我检测 .....                  | 104 |
| <b>第10章 直流稳压电源</b>              |     |
| 10.1 知识要点 .....                 | 107 |
| 10.2 重点难点 .....                 | 107 |
| 10.2.1 直流电源概述 .....             | 107 |
| 10.2.2 整流电路 .....               | 107 |
| 10.2.3 滤波电路 .....               | 108 |
| 10.2.4 稳压电路 .....               | 110 |
| 10.3 例题分析 .....                 | 117 |
| 10.4 自我检测 .....                 | 120 |
| <b>第11章 逻辑函数</b>                |     |
| 11.1 知识要点 .....                 | 124 |
| 11.2 重点难点 .....                 | 124 |
| 11.2.1 逻辑代数中的基本概念 .....         | 124 |
| 11.2.2 逻辑代数的基本公式 .....          | 124 |
| 11.2.3 逻辑函数的概念和表示方法 .....       | 125 |
| 11.2.4 最小项和最大项的性质 .....         | 126 |
| 11.2.5 逻辑代数的基本规则 .....          | 126 |
| 11.2.6 逻辑函数的化简 .....            | 127 |
| 11.3 例题分析 .....                 | 129 |
| 11.4 自我检测 .....                 | 133 |
| <b>第12章 逻辑门</b>                 |     |
| 12.1 知识要点 .....                 | 139 |
| 12.2 重点难点 .....                 | 139 |
| 12.2.1 逻辑门电路 .....              | 139 |
| 12.2.2 CT54/74 系列 TTL 与非门 ..... | 139 |
| 12.2.3 集电极开路门 .....             | 143 |
| 12.2.4 三态门 .....                | 144 |
| 12.2.5 CMOS 集成逻辑门 .....         | 144 |
| 12.3 例题分析 .....                 | 147 |
| 12.4 自我检测 .....                 | 151 |
| <b>第13章 组合数字电路</b>              |     |
| 13.1 知识要点 .....                 | 156 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 13.2 重点难点 .....                 | 156 |
| 13.2.1 组合数字电路的分析 .....          | 156 |
| 13.2.2 组合数字电路的设计 .....          | 157 |
| 13.2.3 中规模组合数字电路的原理与应用 .....    | 158 |
| 13.3 例题分析 .....                 | 160 |
| 13.4 自我检测 .....                 | 165 |
| <b>第 14 章 触发器和定时器</b>           |     |
| 14.1 知识要点 .....                 | 169 |
| 14.2 重点难点 .....                 | 169 |
| 14.2.1 触发器概述 .....              | 169 |
| 14.2.2 基本 RS 触发器 .....          | 169 |
| 14.2.3 时钟触发器的逻辑功能 .....         | 170 |
| 14.2.4 时钟触发器的电路结构 .....         | 172 |
| 14.2.5 CMOS 触发器 .....           | 173 |
| 14.2.6 555 定时器 .....            | 174 |
| 14.3 例题分析 .....                 | 177 |
| 14.4 自我检测 .....                 | 180 |
| <b>第 15 章 时序数字电路</b>            |     |
| 15.1 知识要点 .....                 | 182 |
| 15.2 重点难点 .....                 | 182 |
| 15.2.1 时序数字电路的分析方法 .....        | 182 |
| 15.2.2 寄存器和计数器 .....            | 183 |
| 15.2.3 同步计数器的设计方法 .....         | 184 |
| 15.2.4 常用集成时序逻辑器件功能及应用 .....    | 185 |
| 15.3 例题分析 .....                 | 188 |
| 15.4 自我检测 .....                 | 197 |
| <b>第 16 章 A/D 与 D/A 转换器</b>     |     |
| 16.1 知识要点 .....                 | 203 |
| 16.2 重点难点 .....                 | 203 |
| 16.2.1 D/A 转换器 .....            | 203 |
| 16.2.2 A/D 转换器 .....            | 206 |
| 16.3 例题分析 .....                 | 209 |
| 16.4 自我检测 .....                 | 212 |
| <b>第 17 章 大规模集成电路</b>           |     |
| 17.1 知识要点 .....                 | 214 |
| 17.2 重点难点 .....                 | 214 |
| 17.2.1 存储器 .....                | 214 |
| 17.2.2 可编程逻辑器件 .....            | 217 |
| 17.2.3 CPLD 器件的使用 .....         | 220 |
| 17.2.4 ABEL 语言的一些语法规则 .....     | 222 |
| 17.3 例题分析 .....                 | 225 |
| 17.4 自我检测 .....                 | 228 |
| <b>第 18 章 硕士研究生入学考试试题</b> ..... | 230 |

# 第1章 半导体器件基本知识

## 1.1 知识要点

本征半导体、杂质半导体以及 PN 结的有关知识。

二极管、双极型晶体管（双极型三极管）和场效应管的工作原理。

二极管、双极型晶体管和场效应管的外部特性曲线和主要参数。

## 1.2 重点难点

### 1.2.1 半导体的基础知识

半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。纯净的无缺陷的半导体称为本征半导体。

#### 1.2.1.1 本征半导体

(1) 温度为绝对零度时；本征半导体中没有载流子，所以它不导电。

(2) 温度升高，发生本征激发，产生两种载流子，即自由电子和空穴，且它们总是成对出现，浓度相等，称为电子空穴对。

(3) 本征激发产生的载流子浓度与温度有关，温度越高，本征激发越激烈，产生的载流子越多。本征半导体导电具有热敏性、光敏性以及掺杂后导电能力明显增强的特性。

#### 1.2.1.2 杂质半导体

(1) 两种杂质半导体：在本征硅或锗中掺入微量五价元素就可得到 N 型半导体，N 型半导体也称为电子型半导体；在本征硅或锗中掺入微量三价元素就可以得到 P 型半导体，P 型半导体也称空穴型半导体。

(2) 两种载流子：多数载流子由掺杂产生，少数载流子由本征激发产生。N 型半导体中多子为自由电子，少子为空穴；P 型半导体中多子为空穴，少子为自由电子。

#### 1.2.1.3 PN 结

(1) PN 结的形成：P 型和 N 型半导体通过一定工艺形成无缝隙的连接，两种不同类型的半导体中载流子因存在浓度差→多子扩散→形成内电场→阻止多子扩散、促少子漂移，当扩散与漂移达到动态平衡时，交界面形成稳定的空间电荷区，即形成 PN 结。

(2) PN 结的单向导电性：PN 结正偏（P 接正，N 接负），内电场削弱，耗尽层变窄，扩散运动加强，电流（多子运动形成）大，PN 结导通；PN 结反偏，内电场增强，耗尽层变宽，扩散运动减弱，漂移运动加强，电流（少子运动形成）很小，PN 结截止。请注意反向电流是少子电流，故随温度的增加而增加。

(3) PN 结的电容效应：PN 结的电容效应包括扩散电容  $C_D$  和势垒电容  $C_B$ 。

扩散电容  $C_D$  - PN 结正向导通时，多子扩散到对方区域后，在 PN 结边界上积累，形成一定的浓度分布。积累的电荷量随外界电压变化而变化，由此引起的电容效应。

势垒电容  $C_B$  - PN 结中存储在空间电荷区中的电荷量随外加电压而变化所等效的电容效应。

### 1.2.2 二极管

二极管由 PN 结加上引线 and 管壳组成，有点接触型、面接触型和平面型。

## 1.2.2.1 二极管的伏安特性

根据理论推导, 二极管的伏安特性可用下式表示

$$I = I_s (e^{\frac{U}{U_T}} - 1)$$

式中  $I_s$  为反向饱和电流,  $U$  为二极管两端的电压降,  $U_T = kT/q$  称为温度电压当量,  $k$  为玻耳兹曼常数,  $q$  为电子电荷量,  $T$  为热力学温度。当温度等于室温时 (相当  $T \approx 300$  K), 有  $U_T = 26$  mV。二极管的伏安特性曲线如图 1.1 所示。

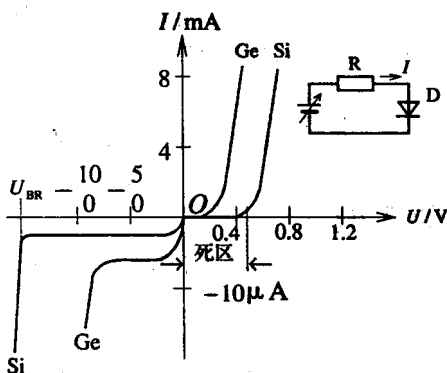


图 1.1 二极管的伏安特性曲线

(1) 正向特性: 当正向电压小于开启电压  $U_T$  (对硅管  $U_T = 0.5$  V, 对锗管  $U_T = 0.2$  V) 时, 流过二极管的电流很小,  $I \approx 0$ ; 随后, 电压  $U$  稍有增加, 电流  $I$  迅速增加, 或者说, 在电流  $I$  较大时, 二极管上的压降近似为一常数 (对硅管  $U_D = 0.7$  V, 对锗管  $U_D = 0.3$  V), 即二极管在正向导通时, 具有近似的稳压特性。利用这一特点, 可将二极管用于钳位。

(2) 反向特性: 起始段, 反向电流随电压的增加而增加; 在随后的很大范围内, 电流基本保持不变, 此电流即为二极管的反向饱和电流  $I_s$ ; 当反向电压达到一定值后, 反向电流会急剧增加, 此时二极管发生反向击穿 (按击穿机理的不同, 分为雪崩击穿和齐纳击穿)。击穿后, 电流在很大范围内变化时, 电压几乎不变, 即击穿后的反向特性也具有较好的稳压特性。

## 1.2.2.2 二极管的电路模型

二极管本身是非线性元件, 在分析含二极管的电路时, 常用某种模型代替, 主要有:

(1) 理想二极管: 相当于开关, 正向导通时, 没有压降; 反相截止时, 没有电流。

(2) 理想二极管加电压源: 考虑二极管的正向压降。

(3) 微变等效电路: 考虑二极管两端的压降在某一固定值上做微小变化时所引起的电流变化。

## 1.2.2.3 二极管的主要参数

二极管的主要参数有: 最大整流电流  $I_F$ , 反向击穿电压  $U_{BR}$  和最大反向工作电压  $U_{RM}$ , 反向电流  $I_R$ , 正向压降  $U_F$ 。

## 1.2.2.4 稳压管

稳压管是利用反向击穿特性而使稳压管两端电压稳定的特殊二极管, 工作中采取反向接法; 使之处于反向击穿状态。

稳压管的主要参数有: 稳定电压  $U_Z$ , 最小稳定电流  $I_{Zmin}$ , 最大耗散功率  $P_{ZM}$ , 最大工作电流  $I_{Zmax}$  ( $P_{ZM} = U_Z \cdot I_{Zmax}$ )。

动态电阻  $r_Z$  的概念参见图 1.2, 且

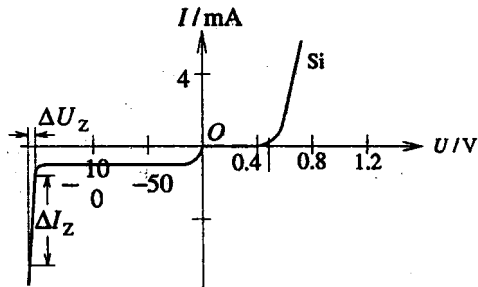


图 1.2 稳压管的特性及参数

$$r_z = \Delta U_z / \Delta I_z$$

### 1.2.3 双极型三极管

双极型半导体三极管 (BJT) 有两种载流子参与导电, 是一种电流控制电流型 (CCCS) 器件。

#### 1.2.3.1 结构和分类

双极型半导体三极管可以有两种类型, 即 NPN 型和 PNP 型。它们都有两个 PN 结和三个电极, 三个电极分别称为发射极 (e)、基极 (b) 和集电极 (c)。be 间是发射结, bc 间是集电结。三个电极连接的区域称为发射区、基区和集电区。双极型三极管的工艺特点为: 基区极薄且掺杂浓度低, 发射区掺杂浓度高, 集电区掺杂浓度低。

按照制作三极管所用材料的不同, 三极管分为硅管和锗管。国标型号前两位如下:

锗管 PNP: 3A—; 锗管 NPN: 3B—

硅管 PNP: 3C—; 硅管 NPN: 3D—

后面的“—”是三极管的种类、数字序号和用字母表示的规格分类。

#### 1.2.3.2 三极管的放大作用

为保证三极管工作在放大状态, 应使其发射结正偏, 集电结反偏。即对于 NPN 型:  $U_C > U_B > U_E$ ; 对于 PNP 型:  $U_C < U_B < U_E$ 。

##### 1. 载流子分配与控制关系

在放大条件下, 由发射区发射的载流子只有极少数在基区被复合, 绝大部分被集电区收集。其分配关系是: 在基区中每复合一个载流子, 就有  $\beta$  个载流子被集电区收集, 该比例关系由三极管的结构决定。所以, 控制  $I_E$  或  $I_B$ , 就能控制  $I_C$ , 即

$$I_C \approx \bar{\alpha} I_E \quad I_C \approx \frac{\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} I_B \quad I_C = \bar{\beta} I_B$$

##### 2. 各极电流之间关系

共基极接法

$$\begin{aligned} I_C &= \bar{\alpha} I_E + I_{CBO} \\ I_B &= (1 - \bar{\alpha}) I_E - I_{CBO} \\ I_E &= I_C + I_B \end{aligned}$$

共射极接法

$$\begin{aligned} I_C &= \bar{\beta} I_B + I_{CEO} \\ I_E &= (1 + \bar{\beta}) I_B + I_{CEO} \\ I_{CEO} &= (1 + \bar{\beta}) I_{CBO} \\ I_E &= I_C + I_B \end{aligned}$$

##### 3. 电流放大系数

共基组态

直流  $\bar{\alpha} = \frac{I_C}{I_E}$ , 交流  $\alpha = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_E} \leq 1$ 。实际上,  $\alpha = \bar{\alpha}$ 。

共射组态

直流  $\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B}$ , 交流  $\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \gg 1$ 。实际上,  $\beta = \bar{\beta}$ 。

在放大电路中, 通过改变发射结电压去改变  $i_B$  (共射) 或  $i_E$  (共基), 由  $i_B$  或  $i_E$  产生  $\Delta i_C$ ,

再通过负载电阻  $R_c$ , 把电流的控制和放大作用转化为电压放大作用, 产生  $\Delta U_o = \Delta i_c R_c$ 。

共基组态

$$\Delta u_{BE}(u_i) \longrightarrow \Delta i_E \xrightarrow{\alpha} \Delta i_C \xrightarrow{R_c} \Delta i_C R_c$$

共射组态

$$\Delta u_{BE}(u_i) \longrightarrow \Delta i_B \xrightarrow{\beta} \Delta i_C \xrightarrow{R_c} \Delta i_C R_c$$

### 1.2.3.3 共射接法的特性曲线

$$\text{输入特性曲线 } i_B = f(u_{BE}) \Big|_{u_{CE}=\text{const}}$$

$$\text{输出特性曲线 } i_C = f(u_{CE}) \Big|_{i_B=\text{const}}$$

#### 1. 输入特性曲线

输入特性曲线见图 1.3。其中  $U_{CE}=0V$  的那一条是相当于发射结的正向特性曲线。当  $u_{CE} \geq 1V$  时,  $u_{CB} = u_{CE} - u_{BE} > 0$ , 集电结已进入反偏状态, 开始收集电子且基区复合减少, 特性曲线向右有些偏移。

#### 2. 输出特性曲线

共发射极接法的输出特性曲线如图 1.4 所示, 输出特性曲线可以分为三个区域:

饱和区—— $i_C$  受  $u_{CE}$  显著控制的区域, 该区域内  $u_{CE}$  的数值较小, 此时发射结正偏, 集电结正偏或反偏电压很小。

截止区—— $i_C$  接近零的区域, 即  $i_B=0$  的曲线的下方。此时, 发射结反偏, 集电结反偏。

放大区—— $i_C$  平行于  $u_{CE}$  轴的区域, 曲线基本平行等距。此时, 发射结正偏, 集电结反偏。在放大区,  $i_C$  几乎与  $u_{CE}$  无关(恒流), 而仅与  $i_B$  有关(受控)。

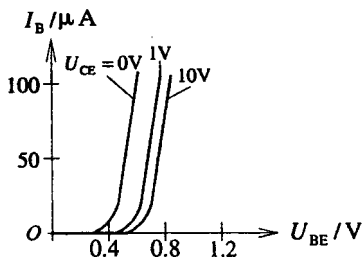


图 1.3 共发射极输入特性曲线图

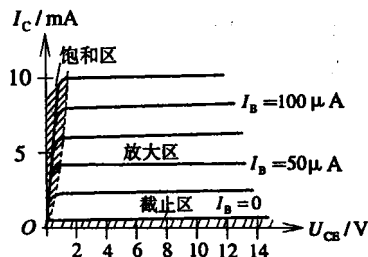


图 1.4 共发射极输出特性曲线

### 1.2.3.4 主要参数

三极管的参数主要分为极限参数、直流参数和交流参数三类。三极管正常工作时, 决不能突破极限参数; 直流参数也称静态参数, 交流参数也称动态参数, 它们都表明三极管能够达到的技术指标数值。电流放大系数、特征频率、各种极限参数及反向电流是三极管最常用的几种参数:

电流放大系数  $\beta$  与  $\alpha$ ,  $\bar{\beta}$  与  $\bar{\alpha}$ ;

极限参数  $I_{CM}$ 、 $P_{CM}$  和  $U_{(BR)CEO}$ ;

极间反向电流  $I_{CBO}$  与  $I_{CEO}$ ;

特征频率  $f_T$ 。

## 1.2.4 场效应三极管

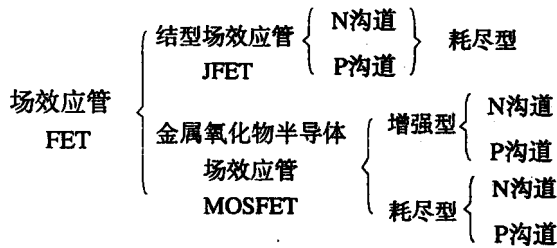
### 1.2.4.1 场效应管的特点

(1) 场效应管为电压控制电流型器件(VCCS)。它通过栅源电压变化以控制沟道宽

度，改变漏极电流。栅极输入电阻极大。

(2) 场效应管为单极型器件，仅一种载流子(多子)导电，热稳定性好。

### 1.2.4.2 场效应管的分类



### 1.2.4.3 各种场效应管比较

#### 1. 场效应管的符号

场效应管的符号见表 1.1。

表 1.1 场效应三极管符号

| 沟道<br>类型  | P | N |
|-----------|---|---|
| 结型<br>耗尽型 |   |   |
| 绝缘<br>耗尽型 |   |   |
| 增强型       |   |   |

#### 2. 场效应管的特性曲线

场效应管的特性曲线主要有转移特性曲线和输出特性曲线，分别见表 1.2 和表 1.3。

$$\text{转移特性 } i_D = f(u_{GS}) \Big|_{u_{DS}=C}$$

$$\text{输出特性 } i_D = f(u_{DS}) \Big|_{u_{GS}=C}$$

表 1.2 转移特性曲线

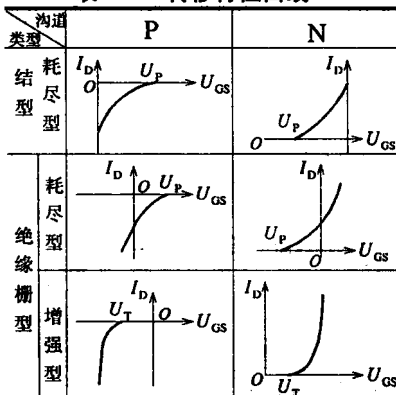
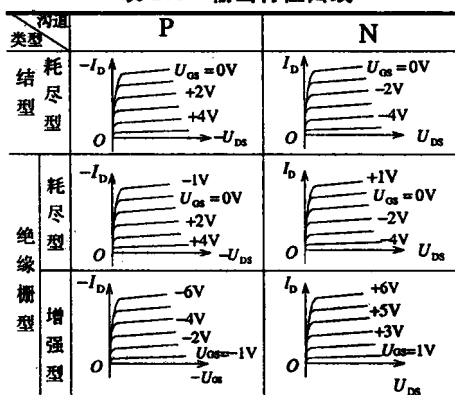


表 1.3 输出特性曲线



## 1.2.4.4 主要参数

## 1. 直流参数

直流参数包括夹断电压  $U_P$ 、饱和漏电流  $I_{DSS}$ 、开启电压  $U_T$  和直流输入电阻  $R_{GS}$ 。

## 2. 交流参数

交流参数包括低频跨导、极间电容等。

(1) 低频跨导: 定义式为  $g_m = \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \Big|_{u_{DS}=C}$ 。

(2) 极间电容:  $C_{GS}$ 、 $C_{GD}$ 。

## 3. 极限参数

极限参数包括最大漏源电压  $U_{(BR)DS}$ 、最大栅源电压  $U_{(BR)GS}$  和最大耗散功率  $P_{DM}$ 。

## 1.3 例题分析

【例1.1】电路如图1.5(a)所示, 其中  $u_i = 20\sin\omega t \text{ mV}$ ,  $f = 1\text{ kHz}$ , 试求二极管D的两端电压和通过它的电流。提示: 本题中, 二极管在其直流电压建立的静态工作点上再叠加一个微小信号, 故应分别计算。

【解】

1. 静态分析与计算。静态, 是指  $u_i = 0$ , 即  $u_i$  视作短路, C对直流视作开路, 其等效电路如图1.5(b)所示。如果要准确求  $U_D$  值, 需要二极管的伏安特性曲线, 即用图解法求出。为简单起见, 可设  $U_D = 0.6\text{ V}$ , 于是求得

$$I_D = \frac{6 - U_D}{R} = \frac{(6 - 0.6)\text{ V}}{5\text{ k}\Omega} = 1.08\text{ mA}$$

2. 动态分析与计算。对于交流信号, 直流电源和电容C视做短路; 二极管因工作在静态工作点附近很小的范围内, 故可用动态电阻  $r_d$  等效, 可在伏安特性曲线上通过  $i_d/u_d = 1/r_d$  求得。由此获等效电路如图1.5(c)所示。

二极管方程

$$i_D = I_S(e^{u_D/U_T} - 1) \quad (1.1)$$

由于二极管两端电压  $U_D \gg U_T = 26\text{ mV}$ , 故上式可简化为

$$i_D \approx I_S e^{u_D/U_T} \quad (1.2)$$

$$\frac{1}{r_d} = \frac{di_D}{du_D} \approx \frac{I_D}{U_T}$$

$$r_d \approx \frac{U_T}{I_D} = \frac{26\text{ mV}}{1.08\text{ mA}} = 24.07\ \Omega$$

所以

$$i_d = \frac{u_d}{r_d} = \frac{0.02\sin\omega t \text{ V}}{24.07\ \Omega} \approx 0.83\sin\omega t \text{ mA}$$

## 3. 交流和直流相叠加

$$i_D = I_D + i_d = 1.08 + 0.83\sin\omega t \text{ mA}$$

$$u_D = U_D + u_d = 0.6 + 0.02\sin\omega t \text{ V}$$

## 4. 波形如图1.5(d)所示。

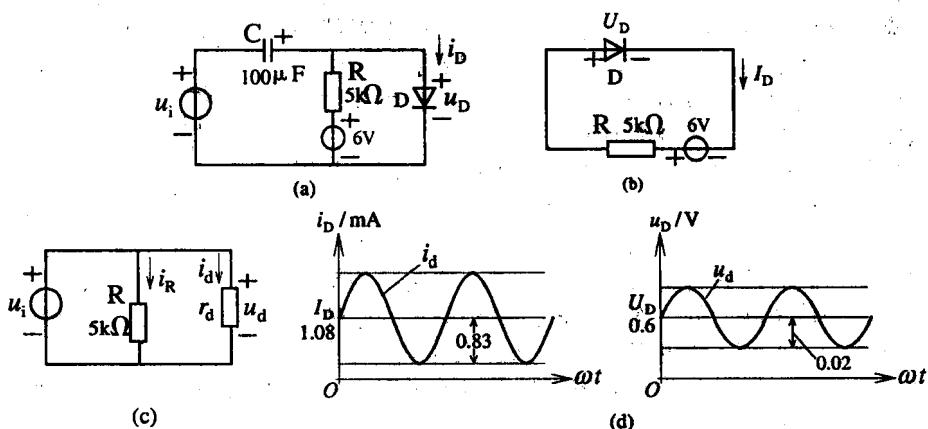


图1.5 例1.1 电路图

【例1.2】用指针式万用表测得某处在放大状态下的三极管三个极对地电位分别为  $U_1 = -7V$ 、 $U_2 = -2V$ 、 $U_3 = -2.7V$ ，试判断此三极管的类型和引脚名称。

【解】

本题依照以下思路分析：

1. 基极一定居于中间电位。
2. 按照  $U_{BE} = 0.2 \sim 0.3V$  或  $U_{BE} = 0.6 \sim 0.7V$  可找出发射极E，并可确定出锗管或硅管。
3. 余下第三脚必为集电极。
4. 若  $U_{CE} > 0$  为NPN型管，则  $U_{CE} < 0$  为PNP型管。

由以上思路可知：1脚为集电极，2脚为发射极，3脚为基极；管子类型为PNP型硅管。

【例1.3】请说明用万用表判断三极管的三个电极的原理。

#### 1. 预备知识

万用表欧姆挡可以等效为由一个电源（电池）、一个电阻和微安表相串联的电路，如图1.6(a)所示，红表笔 $\oplus$ 接电源负极，黑表笔接电源正极。

(1) 三极管可视为两个背靠背或相反联接的二极管，如图1.6(b)所示。

(2) 三极管三个区的特点：发射区杂质浓度大，基区薄且杂质浓度低，集电区杂质浓度很低。因此，发射结正偏时，射区有大量的载流子进入基区，且在基区被复合的数量有限，大部分被集电极所吸收，所以此时的电流放大系数  $\beta$  大。如果把发射极和集电极调换使用，则集电结正偏时，集电区向基区发射的载流子数量有限，在基区被复合后能被发射极吸收的载流子比例很小，所以  $\beta_{\text{反}}$  很小。

#### 2. 判断方法

(1) 先确定基极：万用表调至欧姆  $\times 100$  或  $\times 1k$  挡，随意指定一个管脚为基极，把任一表笔固定与之连接，用另一表笔先后测出剩下两个电极的电阻，若两次测得电阻

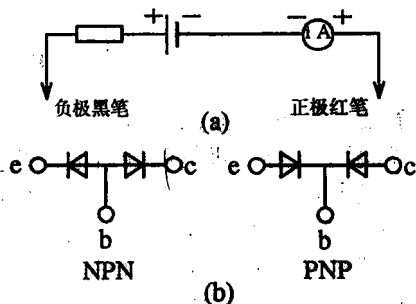


图 1.6 用万用表测三极管电极