



MONI DIANZI JISHU JICHU
QUANCHENG XUEXI ZHIDAO YU XITI JINGJIE

模拟电子技术基础

全程学习指导与习题精解

主 编◎何 敏 孙 峥 罗 珊 马丽梅

适合高教四版

基础知识归纳

重点难点提示

课后习题解析

考试真题检测

南京出版社



MONI DIANZI JISHU JICHU

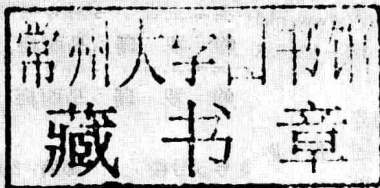
QUANCHENG XUEXI ZHIDAO YU XITI JINGJIE

模拟电子技术基础

全程学习指导与习题精解

主 编◎何 敏 孙 峥 罗 珊 马丽梅

适合高教四版



基础知识归纳

重点难点提示

课后习题解析

考试真题检测

南京出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础全程学习指导与习题精解/何敏

主编. —南京:南京出版社,2012.9

ISBN 978-7-5533-0053-5

I. ①模… II. ①何… III. ①模拟电路—电子技术—
高等学校—教学参考资料 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 188340 号

编 委 (以汉语拼音首字母顺序排列)

蔡春光 陈 平 陈兴春 丁 伟 韩伟伟

何 敏 胡 俊 廖启新 林启露 卢 月

罗 珊 马丽梅 缪 蓉 石 会 孙 峥

吴元亮 肖红军 周晶玲 周 林 朱 明

书 名: 模拟电子技术基础全程学习指导与习题精解

主 编: 何 敏 孙 峥 罗 珊 马丽梅

出版发行: 南京出版社

社址: 南京市成贤街 43 号 3 号楼 **邮编:** 210018

网址: <http://www.njpbs.com> **电子信箱:** njpbs1988@163.com

联系电话: 025-83283871、83283864(营销) 025-83283883(编务)

出 版 人: 朱同芳

责任编辑: 程 瑶 张 龙

装帧设计: 周 勇

责任印制: 陈南柯

特约编辑: 李 香

排 版: 南京新洲印刷有限公司

印 刷: 南京新洲印刷有限公司

开 本: 718×1005 毫米 1/16

印 张: 14.25

字 数: 485 千字

版 次: 2012 年 9 月第 1 版

印 次: 2012 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5533-0053-5

定 价: 22.00 元

营销分类: 教育

序

随着我国经济体制和教育体制改革的不断深入,高等教育进入了持续快速发展的轨道。从1999年我国实施高校扩招计划至今,高等教育已基本实现了由精英化向大众化的转变。根据教育部的统计,2012年我国普通高校毕业生规模达到680万人,比上年度增加20万,而10年前的2002年我国高校毕业生人数仅为135万人。目前高校的在读学生数已高达1300多万人。然而,伴随而来的是每年有相当数量的大学生退学的情况。国内的一项研究表明,退学大学生中32.2%是因为学业成绩达不到学校规定的要求。出现这样的现象,原因是多方面的:一是大学专业课程多,每个学生每学期都要面对10门左右内容各不相同的课程;二是每节课的信息量大,知识点多,学习要求高;三是高中和大学老师的教学方法差别很大,学生按以前的惯例学习,普遍感到比较吃力。再加上大学教材的内容翔实而繁复,缺少对知识点的简明讲解和系统梳理,更缺乏对考点的梯度训练和全真考查。

另外,现代社会对高层次人才的需求更加迫切,每年毕业几百万大学生的现状也推高了人才市场的用人标准。大学本科教育的“集体贬值”,引爆了新一轮的考研热。有数据显示,2012年全国研究生入学考试吸引了165.6万名考生参加,比2011年增加14.5万人,再创历史新高。由于考研人数急剧增加,考研竞争愈加激烈,凡是有志于此的大学生越发要取得更加优异的成绩,以确保在考研竞争中掌握主动权。

为了帮助莘莘学子,全面把握教材内容,有效提高学习成绩,我们联手相关高校的专家教授,精心组织出版了这套高校热门专业经典教材学习辅导丛书。这套书涉及的学科有数学、物理、化学、生物以及力学、材料、电子技术、电气工程等,基本上覆盖了高校热门专业的全部基础学科和主干课程。丛书注重对教材知识点的梳理,注重对课后习题的讲解,注重对考点训练的设计,力图帮助读者拓展知识,发散思维,点拨思路,触类旁通,有效提高学习效率,着力减轻学业负担,全面强化应试能力。既为专业课程学习提供同步辅导,又为考研复习提供实际帮助。

为广大读者提供优质服务是我们出版人的职责所在。如果本丛书的出版能得到广大读者的认可,那将是我们莫大的荣幸。

编者

内容简介

本书是本科生学习模拟电子技术基础课程的辅导材料,可与童诗白、华成英主编的《模拟电子技术基础》(第四版)配套使用,也可作为硕士研究生入学考试的复习参考资料,旨在帮助学生更好地掌握模拟电子技术基础课程所涉及的基本概念、基本电路和基本分析方法。

本书每章内容包括知识点归纳、自测题全解、习题全解和经典习题与全真考题详解四个部分。其中,“知识点归纳”简述该章要点、重点和难点,以便帮助读者抓住要旨,建立整体概念;“自测题全解”和“习题全解”对该章习题作了全面解析,力图从解题思路、解题方法和解题步骤等方面予以指导,以期使读者提高解题的能力和效率;“经典习题与全真考题详解”精选有代表性、测试价值高的题目,以检验学习效果,提高应试水平。

本书由解放军理工大学何敏、孙峥、罗珊、马丽梅编写,全书由何敏统稿。

目 录

第 1 章 常用半导体器件

知识点归纳	1
一、半导体基础知识	1
二、半导体二极管	2
三、晶体三极管	3
四、场效应管	5
自测题全解	7
习题全解	10
经典习题与全真考题详解	17

第 2 章 基本放大电路

知识点归纳	19
一、放大的概念和放大电路的主要性能指标	19
二、放大电路的组成原则	20
三、放大电路的分析方法	20
四、晶体管和场效应管基本放大电路	24
五、基本放大电路的派生电路	24
自测题全解	25
习题全解	28
经典习题与全真考题详解	40

第 3 章 多级放大电路

知识点归纳	44
一、多级放大电路的耦合方式	44
二、多级放大电路的分析	45
三、直接耦合放大电路	45
四、互补输出级	47
自测题全解	49
习题全解	51
经典习题与全真考题详解	60

第 4 章 集成运算放大电路

知识点归纳	64
一、集成运放的组成	64
二、集成运放的电压传输特性	64

三、集成运放的主要性能指标及选择	65
四、集成运放中的电流源电路	65
自测题全解	68
习题全解	69
经典习题与全真考题详解	75

第5章 放大电路的频率响应

知识点归纳	77
一、频率响应概述	77
二、高频等效模型	78
三、单管共射放大电路的频率响应	79
四、多级放大电路的频率响应	82
自测题全解	83
习题全解	85
经典习题与全真考题详解	92

第6章 放大电路中的反馈

知识点归纳	94
一、反馈的基本概念及判断方法	94
二、负反馈放大电路的方框图及一般表达式	95
三、负反馈放大电路的四种基本组态	95
四、深度负反馈放大电路放大倍数的分析	96
五、负反馈对放大电路性能的影响	97
六、负反馈放大电路的稳定性	98
七、放大电路中其他形式的反馈	99
自测题全解	100
习题全解	102
经典习题与全真考题详解	113

第7章 信号的运算和处理

知识点归纳	117
一、基本运算电路	117
二、模拟乘法器及其在运算电路中的应用	121
三、有源滤波电路	121
自测题全解	125
习题全解	127
经典习题与全真考题详解	137

第8章 波形的发生和信号的转换

知识点归纳	142
一、正弦波振荡电路	142
二、RC 正弦波振荡电路	143

三、LC 正弦波振荡电路	144
四、石英晶体振荡电路	145
五、电压比较器	147
六、非正弦波发生电路	149
七、信号的转换	151
自测题全解	152
习题全解	155
经典习题与全真考题详解	172

第 9 章 功率放大电路

知识点归纳	176
一、功率放大电路概述	176
二、放大器件的三种工作状态	176
三、甲乙类互补功率放大电路	176
四、功率放大电路的安全运行	178
自测题全解	178
习题全解	180
经典习题与全真考题详解	189

第 10 章 直流电源

知识点归纳	192
一、直流电源组成及各部分作用	192
二、整流电路	192
三、滤波电路	193
四、稳压管稳压电路	194
五、串联型稳压电路	195
六、集成稳压电路	195
七、开关型稳压电路	197
自测题全解	198
习题全解	201
经典习题与全真考题详解	210

第 11 章 模拟电子电路读图

知识点归纳	214
习题全解	214

第 1 章

常用半导体器件

知识点归纳

本章重点是从使用的角度掌握半导体二极管、三极管和场效应管等常用半导体器件的外特性及主要参数。了解管子的内部结构和载流子的运动是为了更好地理解管子的外特性,注意切勿本末倒置。

一、半导体基础知识

1. 本征半导体

完全纯净的具有晶体结构的半导体称为本征半导体。

(1) 本征半导体中的两种载流子

本征激发(热激发)产生两种载流子,即自由电子和空穴。自由电子带单位负电荷,空穴带单位正电荷,它们均参与导电。

本征半导体中,热激发和复合动态平衡,因此自由电子和空穴两种载流子的浓度相等。

(2) 温度对本征半导体性能的影响

当温度升高时,热运动加剧,本征半导体中载流子的浓度升高,因而导电能力增强;反之,当温度降低时,则导电能力变差。半导体性能对温度的这种敏感性,既可以用来制造光敏器件和热敏器件,又是造成半导体器件温度稳定性差的原因。

2. 杂质半导体

(1) N 型半导体和 P 型半导体

通过扩散工艺,在本征半导体中掺入五价元素就形成 N 型半导体。N 型半导体中的自由电子为多子,空穴为少子。掺入三价元素就形成 P 型半导体, P 型半导体中的空穴为多子,自由电子为少子。

(2) 温度对杂质半导体性能的影响

以温度升高为例。当温度升高时,热运动加剧,两种载流子将以同样数目增长,但由于多子本来的浓度高,因此其数量的增加不明显;而少子由于浓度低,其数量将增加很多倍。因此尽管杂质半导体中少子的浓度远低于多子,但它对温度的敏感性却将对半导体器件的性能产生显著影响。

3. PN 结

(1) PN 结的形成

当把 P 型半导体和 N 型半导体制作在同一个硅片(或锗片)上时,在它们的交界面处,载流子存在两种有序的运动,一种是多子因浓度差而产生的扩散运动,另一种是少子因电位差而产生的漂移运动。扩散运动将使 P 区和 N 区分别出现不能移动的负离子区和正离子区,称为空间电荷区(耗尽层)。空间电荷区所形成的内电场将阻止扩散运动的进行,却是漂移运动的源动力。因此,当扩散运动和漂移运动达到动态平衡时,空间电荷区的宽度便稳定下来,形成 PN 结。

(2) PN 结的单向导电性

当 PN 结两端外加正向偏置,即 P 端接高电位、N 端接低电位时,空间电荷区变窄, P 区和 N 区的多子在外电场作用下将产生定向移动,形成较大的正向电流,称 PN 结正向导通;当 PN 结两端外加反向偏置,即 P 区接低电位、N 区接高电位时,则空间电荷区变宽, P 区和 N 区的少子在外电场作用下形成

反向饱和电流,其数值非常小,且基本不随反向电压而变,称PN结反向截止。

单向导电性是PN结最重要的特性,各种半导体器件的工作原理都是以PN结的单向导电性为基础的。

二、半导体二极管

1. 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性可表示为

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

式中 u 为二极管的端电压, i 为流过它的端电流, I_S 为反向饱和电流, U_T 为温度的电压当量, 常温下 $U_T \approx 26 \text{ mV}$ 。特性曲线如图 1.1 所示。

$u > 0$ 的部分为正向特性。硅管的死区电压(开启电压)约为 0.5 V , 锗管约为 0.1 V , 当正向电压大于死区电压后, 二极管导通。硅管的导通电压取 $0.6 \text{ V} \sim 0.8 \text{ V}$, 锗管取 $0.1 \text{ V} \sim 0.3 \text{ V}$ 。由于 $u \gg U_T$, 故 u 和 i 之间可近似表示为

$$i \approx I_S e^{\frac{u}{U_T}}$$

表明正向电流近似随正向电压按指数规律变化。

$u < 0$ 的部分为反向特性。当 $|u| \gg U_T$ 时, u 和 i 之间可近似表示为

$$i \approx -I_S$$

即反向特性近似为横轴的平行线, 二极管截止。当反向电压的数值增大到击穿电压 $U_{(BR)}$ 后, 反向电流急剧增大, 称为反向击穿。反向击穿会损坏普通二极管的性能, 一般应予以避免。

此外, 温度对半导体器件的性能参数影响显著。以二极管为例, 当温度升高时, 二极管的正向特性曲线将左移, 反向特性曲线将下移, 如图 1.1 中虚线所示。

2. 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 、最高反向工作电压 U_R 、反向电流 I_R 、最高工作频率 f_M 。其中, I_F 指二极管长期工作时允许通过的最大正向平均电流, f_M 指二极管正常工作时的上限频率, 超过此值, 二极管将失去单向导电性。 f_M 的大小与PN结的结电容密切相关。

3. 二极管的等效电路

作为非线性电阻器件的半导体二极管, 它的非线性特性主要表现为单向导电性, 其次表现为导通后的伏安特性近似为指数曲线。对于前者, 通常通过将二极管的伏安特性折线化, 得到不同的等效电路; 对于后者, 则通过动态电阻来描述。

(1) 由伏安特性折线化得到的等效电路

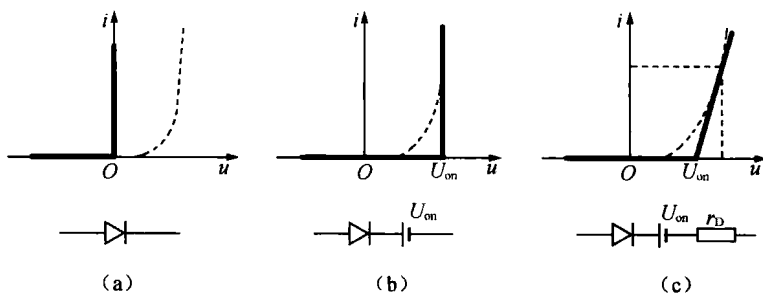


图 1.2 由伏安特性折线化得到的二极管等效电路

(a) 理想二极管 (b) 导通电压为常量 (c) 导通电阻为常量

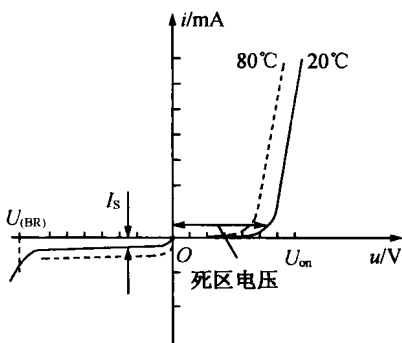


图 1.1 二极管的伏安特性

① 理想二极管:如图 1.2(a)所示,导通时正向压降 $U_D=0$,截止时反向电流 $I_S=0$,相当于理想开关,但近似分析中误差最大。

② 导通电压为常量:如图 1.2(b)所示,导通时正向压降 $U_D=U_{on}$,截止时反向电流 $I_S=0$,近似分析中最常用。

③ 导通电阻为常量:如图 1.2(c)所示,正向电压大于 U_{on} 后,正向电流与正向电压成线性关系,即正向导通电阻 $r_D=\Delta U/\Delta I$ 为常量,截止时反向电流 $I_S=0$,近似分析中误差最小。

(2) 微变等效电路

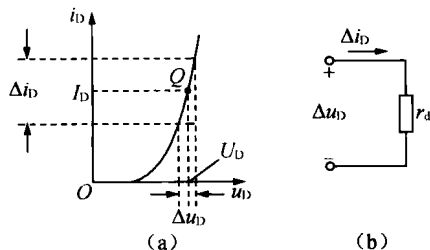


图 1.3 二极管的微变等效电路

(a) 二极管动态电阻的由来 (b) 二极管的微变等效电路

如图 1.3 所示,若在 Q 点的基础上外加微小的变化量,则可以用以 Q 点为切点的直线来近似 Q 点附近小范围内的曲线,即将二极管等效为一个动态电阻 r_d ,称之为二极管的微变等效电路,即

$$r_d = \left. \frac{\Delta u_D}{\Delta i_D} \right|_Q \approx \frac{26 \text{ mV}}{I_D}$$

4. 稳压二极管

(1) 稳压二极管的伏安特性

稳压二极管的伏安特性 $i=f(u)$ 如图 1.4 所示,击穿区的曲线很陡,几乎与纵轴平行,表现出很好的稳压特性,其稳定电压值就是稳压管的反向击穿电压值。只要将反向击穿电流的数值控制在一定范围之内,管子就不会因过热而损坏。

(2) 稳压二极管的主要参数

图 1.4 中 U_Z 为稳定电压; I_Z 为稳压管进入稳压区的最小电流; I_{ZM} 为最大稳定电流,超过此值稳压管将因功耗过大而损坏;最大功耗 $P_{ZM}=I_{ZM}U_Z$;稳压管的反向电流变化时,稳定电压将稍有变化,动态电阻 r_Z 描述这种变化,即

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$$

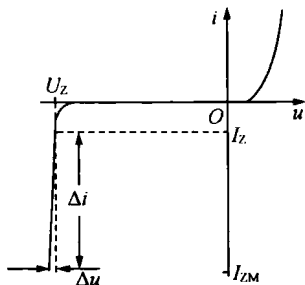


图 1.4 稳压二极管的伏安特性

为确保稳压管正常工作在稳压状态,必须串联限流电阻 R ,使得稳压管的反向电流介于 $I_Z \sim I_{ZM}$ 之间。

三、晶体三极管

1. 晶体三极管的电流放大作用

晶体管工作在放大状态的内部条件是发射区高掺杂,基区很薄,集电结面积大;外部条件是发射结正偏,集电结反偏。当满足上述条件时,晶体管发射区中的多数载流子因发射结正偏而大量扩散到基区,形成发射极电流 I_E ;其中仅有很小一部分与基区的多数载流子复合,形成基极电流 I_B ;绝大部分则在反偏集电结的作用下漂移到集电区,被集电区收集,形成集电极电流 I_C ;在基区每复合掉一个载流

子,就有 β 个载流子被集电区收集。因此,各极电流之间的主要关系为 $I_C \approx \beta I_B$, $I_E = I_B + I_C \approx (1 + \beta) I_B$ 。由电流分配关系可见,小的基极电流 I_B 可以控制大的集电极电流 I_C 。

2. 晶体三极管的共射特性曲线

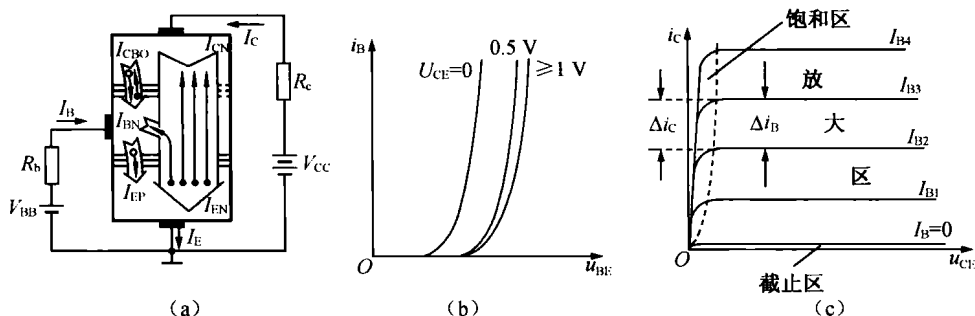


图 1.5 NPN 型管的共射接法和特性曲线

(a) NPN 型管的共射接法 (b) 输入特性 (c) 输出特性

晶体管的伏安特性曲线是指其各极间电压与电流之间的关系曲线。以图 1.5(a)所示的小功率 NPN 型管的共射接法为例。输入特性曲线描述在管压降 U_{CE} 一定的情况下,基极电流 i_B 与发射结压降 u_{BE} 之间的函数关系,即

$$i_B = f(u_{BE}) \big|_{U_{CE}=\text{常数}}$$

如图(b)所示。 $U_{CE} > 1 \text{ V}$ 的任何一条曲线均可视为 $U_{CE} > 1 \text{ V}$ 的所有曲线,且 i_B 与 u_{BE} 之间近似为指数函数。

输出特性曲线描述在基极电流 I_B 一定的情况下,集电极电流 i_C 与管压降 u_{CE} 之间的函数关系,即

$$i_C = f(u_{CE}) \big|_{I_B=\text{常数}}$$

如图(c)所示。输出特性为一族曲线,可分为三个工作区域,即截止区、放大区和饱和区。

晶体管的主要参数有电流放大系数 β 和穿透电流 I_{CEO} 。其中

$$\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \bigg|_{U_{CE}=\text{常数}}$$

$$I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$$

在一定范围内, β 可视为常数, I_{CEO} 则越小越好。极限参数有最大集电极电流 I_{CM} 、最大管压降 $U_{(BR)CE0}$ 和最大集电极功耗 P_{CM} 。此外,特征频率 f_T 是使电流放大系数的数值下降为 1 时的信号频率,且共基电流放大倍数 α 和电流放大系数 β 之间的关系为

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

3. 晶体三极管工作区域的判断方法

以 NPN 型管为例。

步骤 1: 判断管子是否导通。由图 1.5(b)的输入特性可见,当 U_{BE} 大于发射结导通电压时,管子导通;当 U_{BE} 小于发射结导通电压时,管子截止。

步骤 2: 若管子导通,再进一步判断其究竟工作在放大区还是饱和区。此时有两种方法可供选择。

(1) 根据 U_{CE} 和 U_{BE} 的大小进行判断。由图 1.5(c)的输出特性可见, $U_{CE} = U_{BE}$ (即 $U_C = U_B$,集电结零偏)是饱和区和放大区的分界点,称为临界饱和。因此,当 $U_{CE} > U_{BE}$ (即 $U_C > U_B$,集电结反偏)时,管子工作在放大区;当 $U_{CE} < U_{BE}$ (即 $U_C < U_B$,集电结正偏)时,管子工作在饱和区。

(2) 根据 I_B 和 I_{BS} 的大小进行判断。临界饱和时的集电极电流称为临界饱和集电极电流 I_{CS} ,与之相对应的基极电流称为临界饱和基极电流 I_{BS} 。因此,若实际基极电流 $I_B < I_{BS}$,说明实际集电极电流 I_C

尚未达到 I_{CS} , 还有随 I_B 的增加而增加的潜力, 故管子工作在放大区; 若 $I_B > I_{BS}$, 说明 I_C 已趋于恒流, 不能再随 I_B 的增加而增加, 故管子工作在饱和区。

四、场效应管

1. 场效应管的分类

场效应管分为结型和绝缘栅型(MOS管)两种类型, 根据导电沟道所采用的半导体材料, 每种类型又分N沟道和P沟道两种。同一沟道的MOS管再根据结构上是否存在原始导电沟道, 分为增强型和耗尽型两种形式。因此, 场效应管共有N沟道结型、P沟道结型、N沟道增强型MOS、N沟道耗尽型MOS、P沟道增强型MOS和P沟道耗尽型MOS等六种类型。

2. 场效应管的特性曲线和主要参数

由于场效应管的 $i_G \approx 0$, 故讨论输入特性曲线没有意义。转移特性是指恒流区内, 在漏-源电压 U_{DS} 一定的情况下, 栅-源电压 u_{GS} 对漏极电流 i_D 的控制特性, 即

$$i_D = f(u_{GS}) \mid U_{DS} = \text{常数}$$

N沟道增强型MOS管的转移特性曲线如图1.6(a)所示。

输出特性是指在栅-源电压 U_{GS} 一定的情况下, 漏极电流 i_D 与漏-源电压 u_{DS} 之间的函数关系, 即

$$i_D = f(u_{DS}) \mid U_{GS} = \text{常数}$$

N沟道增强型MOS管的输出特性曲线如图1.6(b)所示。由图可见, 输出特性为一族曲线, 分为三个工作区域: 夹断区、恒流区和可变电阻区。

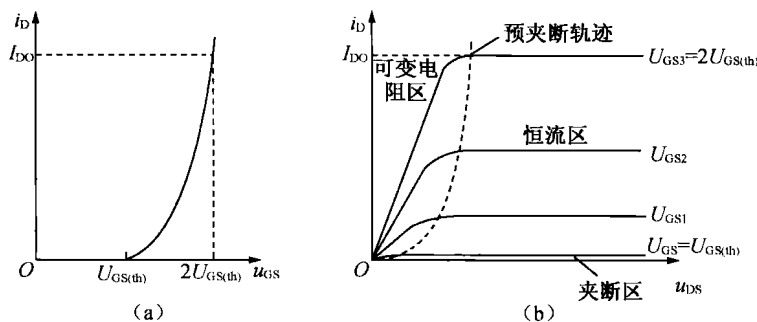


图1.6 N沟道增强型MOS管的特性曲线

(a) 转移特性 (b) 输出特性

场效应管的直流参数主要有开启电压 $U_{GS(th)}$ 或夹断电压 $U_{GS(off)}$ 、饱和漏极电流 I_{DSS} 。极限参数有最大漏极电流 I_{DM} 、漏-源间承受的最大电压 $U_{(BR)DS}$ 和最大耗散功率 P_{DM} 等。交流参数有低频跨导 g_m 以及三个电极之间的等效电容 C_{gs} 、 C_{ds} 、 C_{gd} , 其中

$$g_m = \left. \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{GS}} \right|_{U_{DS} = \text{常数}}$$

g_m 是转移特性曲线上某点切线的斜率, 切点位置越高, g_m 越大; C_{gs} 、 C_{ds} 、 C_{gd} 则共同决定管子的最高工作频率 f_M 。

3. 场效应管工作区域的判断方法

通过对 U_{GS} 和 U_{DS} 的设置, 可使场效应管工作在不同的区域。相比于晶体管, 场效应管的管型种类更多, 相应的直流偏置电路也多, 对其工作区域的判断难度更大。以N沟道增强型MOS管为例。

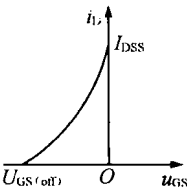
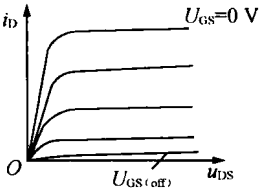
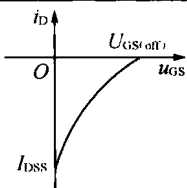
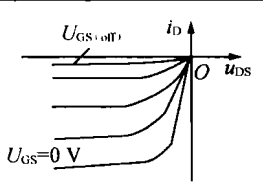
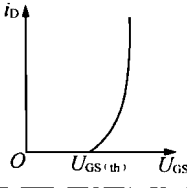
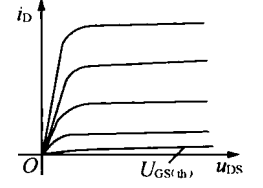
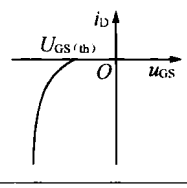
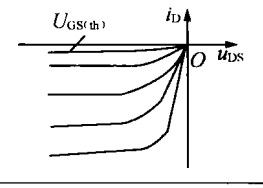
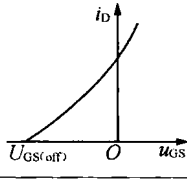
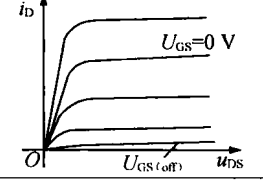
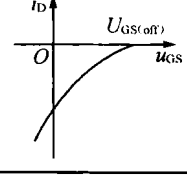
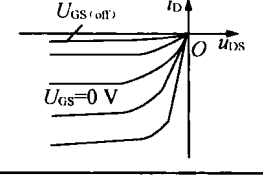
步骤1: 判断管子是否导通。由图1.6(a)所示的转移特性可见, 当 $U_{GS} > U_{GS(th)}$ 时, 管子导通; 当 $U_{GS} < U_{GS(th)}$ 时, 管子截止。

步骤2: 若管子导通, 再进一步判断管子究竟工作在可变电阻区还是恒流区。由图1.6(b)所示的输

出特性可见,发生预夹断的临界条件是 $U_{DS} = U_{GS} - U_{GS(th)}$,它也是可变电阻区与恒流区的分界点。因此,当 $U_{DS} < (U_{GS} - U_{GS(th)})$ 时,管子工作在可变电阻区;当 $U_{DS} > (U_{GS} - U_{GS(th)})$ 时,管子工作在恒流区。

为正确判断场效应管的工作区域,熟悉如表 1.1 所示的各种场效应管的符号和特性曲线(尤其是转移特性曲线)是十分必要的。表中 i_D 的参考方向均为流进漏极,故曲线位于横轴上方的为 N 沟道管,位于下方的为 P 沟道管,N 沟道和 P 沟道相应管型的特性曲线关于原点对称。且对于 MOS 管而言, u_{GS} 可正、可负、可零的为耗尽型管(结型也可归于耗尽型管),存在夹断电压 $U_{GS(off)}$; u_{GS} 仅为正、或仅为负的为增强型管,存在开启电压 $U_{GS(th)}$ 。

表 1.1 各种场效应管的符号和特性曲线

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		
绝缘栅型场效应管	增强型 N 沟道		
	增强型 P 沟道		
	耗尽型 N 沟道		
	耗尽型 P 沟道		

4. 场效应管与晶体三极管的性能比较

与晶体管相比,场效应管具有如下特点:

(1) 场效应管中只有多子参与导电,故称单极型器件;晶体管中多子和少子同时参与导电,故称双极型器件。由于少子的浓度易受温度影响,因此场效应管比晶体管的温度稳定性好、噪声低。

(2) 场效应管属电压控制器件,放大电路只要求建立合适的栅-源偏置电压,不要求偏置电流,由于场效应管的栅极电流近似为零,故输入电阻很高,高输入电阻是场效应管的突出优点;而晶体管属电流控制器件,放大电路要求建立合适的偏置电流,因此晶体管导通时总存在一定的基极电流,导致输入电阻较低。

(3) 有些场效应管的源极和漏极可以互换,而晶体管的发射极和集电极一般不允许互换。

(4) 场效应管和晶体管都可以用于放大或作为可控开关,但场效应管还可以作为压控电阻使用,管型种类又多,因此组成电路时比晶体管更灵活;并且场效应管便于集成、功耗低、工作电源电压范围宽,故在大规模和超大规模集成电路中的应用极为广泛。

自测题全解

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) √。在 N 型半导体中掺入三价元素,其产生的空穴不但可复合原先掺入的五价元素所产生的自由电子,而且如果掺入量足够多的话,还可使空穴成为多数载流子,从而形成 P 型半导体。

(2) ×。N 型半导体的多子是自由电子,但 N 型半导体本身是电中性的。同理,P 型半导体也是电中性的。

(3) √。当有光照时,P 区和 N 区的两种载流子将以同样数目增长,但由于多子本来的浓度高,光激发后其数量的增加不明显,因而对扩散运动影响不大;而少子浓度低,光激发后其数量将增加很多倍,在内电场作用下,少子漂移运动加强,超过平衡状态的少子将穿过 PN 结形成光电流。另外,当 PN 结两端有外加电压时,耗尽层的宽度将发生变化,也会产生回路电流。

(4) ×。放大状态下的晶体管,其集电极电流是由基区非平衡少子的漂移运动形成的,它们虽然是发射区的多子,但对基区而言,是非平衡少子。

(5) √。结型场效应管外加栅-源电压时,必须使栅-源间的 PN 结反偏,才能保证栅极电流很小, R_{GS} 很大。

(6) ×。MOS 管的输入电阻之所以比结型管大得多,是因为其栅极和导电沟道之间被二氧化硅绝缘层隔离,因此若耗尽型 N 沟道 MOS 管的 u_{GS} 大于零,输入电阻不会明显变小。

二、选择正确答案填入空内。

(1) PN 结加正向电压时,空间电荷区将_____。

- A. 变窄 B. 基本不变 C. 变宽

(2) 稳压管的稳压区是其工作在_____。

- A. 正向导通 B. 反向截止 C. 反向击穿

(3) 当晶体管工作在放大区时,发射结电压和集电结电压应为_____。

A. 前者反偏、后者也反偏 B. 前者正偏、后者反偏 C. 前者正偏、后者也正偏

(4) $u_{GS}=0$ V 时能够工作在恒流区的场效应管有_____。

A. 结型管 B. 增强型 MOS 管 C. 耗尽型 MOS 管

【解】 (1) A. PN 结加正向电压时, 外电场将 P 区多子(空穴)和 N 区多子(自由电子)推向空间电荷区, 分别与空间电荷区中的负离子和正离子中和, 于是空间电荷区变窄。

(2) C. 当稳压管工作在反向击穿状态时, 表现出很好的稳压特性, 其稳定电压值就是稳压管的反向击穿电压值。

(3) B. 对于晶体管来说, 无论是 NPN 型管还是 PNP 型管, 工作在放大状态的外部条件都是发射结正偏、集电结反偏。

(4) A, C. 由六种类型场效应管的转移特性曲线可知, 除增强型管外, 其余管型均允许 u_{GS} 取为零值。

三、写出图 T1.3 所示各电路的输出电压值, 设二极管导通电压 $U_D=0.7$ V。

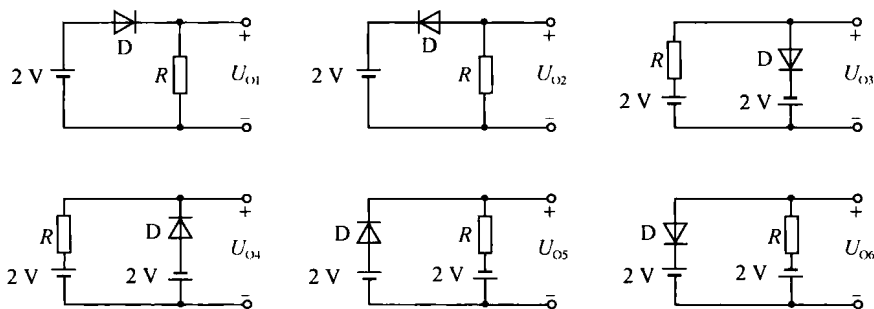


图 T1.3

【分析】 本题应首先判断二极管的工作状态, 再进一步求解输出电压。常用判断方法是, 假设二极管截止, 计算二极管的端电压, 若该电压使二极管反偏, 或虽然正偏但小于二极管的导通电压, 说明假设成立, 管子截止; 若大于二极管的导通电压, 说明假设不成立, 即管子导通。

【解】 (1) 假设二极管截止, 则其 P 端电位为 2 V, N 端电位为 0 V, 该电压大于二极管的导通电压, 故假设不成立, 二极管实际上导通, $\therefore U_{O1}=(2-0.7)$ V=1.3 V。

(2) 假设二极管截止, 则其 P 端电位为 0 V, N 端电位为 2 V, 该电压令二极管反偏, 故假设成立, 二极管确实截止, $\therefore U_{O2}=0$ V。

其余各电路依此类推, 即 $U_{O3}=-1.3$ V(二极管导通), $U_{O4}=2$ V(二极管截止), $U_{O5}=1.3$ V(二极管导通), $U_{O6}=-2$ V(二极管截止)。

四、已知稳压管的稳压值 $U_Z=6$ V, 稳定电流的最小值 $I_{Zmin}=5$ mA。求图 T1.4 所示电路中 U_{O1} 和 U_{O2} 各为多少伏。

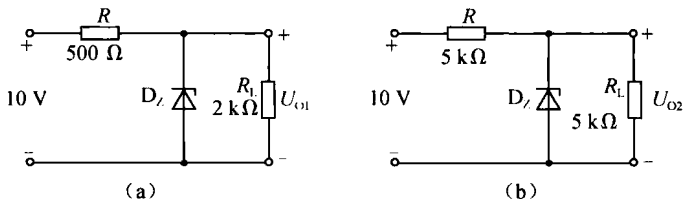


图 T1.4

【分析】 本题应首先判断稳压管的工作状态, 再进一步求解输出电压。判断方法与普通二极管类

似,即首先假设稳压管截止,计算稳压管的端电压,若该电压大于稳定电压 U_Z ,说明管子工作在反向击穿状态(稳压状态);若小于 U_Z ,则继续判断管子是反向截止还是正向导通。

【解】 图(a)中,假设稳压管截止,其上分得的电压为

$$U_o = \frac{R_L}{R+R_L} U_i = \left(\frac{2}{0.5+2} \times 10 \right) \text{ V} = 8 \text{ V}$$

$\because U_o > U_Z$,说明稳压管工作在稳压状态, $\therefore U_{o1} = 6 \text{ V}$ 。

图(b)中,假设稳压管截止,其上分得的电压为

$$U_o = \frac{R_L}{R+R_L} U_i = \left(\frac{5}{5+5} \times 10 \right) \text{ V} = 5 \text{ V}$$

$\because U_o < U_Z$,说明稳压管处于反向截止状态, $\therefore U_{o2} = 5 \text{ V}$ 。

五、电路如图 T1.5 所示, $\beta = 100$, $U_{BE} = 0.7 \text{ V}$ 。试问:

(1) $R_b = 50 \text{ k}\Omega$ 时, $U_o = ?$

(2) 若 T 临界饱和,则 $R_b \approx ?$

【分析】 本题应首先判断晶体管的工作状态,这里通过比较 U_{CE} 和 U_{BE} 的大小进行判断。

【解】 (1) 当 $R_b = 50 \text{ k}\Omega$ 时,假设 T 处于放大状态,则基极电流、集电极电流和管压降分别为

$$I_B = \frac{V_{BB} - U_{BE}}{R_b} = \left(\frac{2 - 0.7}{50} \right) \text{ mA} = 0.026 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta I_B = (100 \times 0.026) \text{ mA} = 2.6 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = V_{CC} - I_C R_c = (15 - 2.6 \times 5) \text{ V} = 2 \text{ V}$$

$\because U_{CE} > U_{BE}$,即 $U_C > U_B$,说明集电结反偏,假设成立, T 确实处于放大状态, $\therefore U_o = U_{CE} = 2 \text{ V}$ 。

(2) 当 T 临界饱和时, $U_{CES} = U_{BE} = 0.7 \text{ V}$,此时

$$I_C = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_c} = \left(\frac{15 - 0.7}{5} \right) \text{ mA} = 2.86 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2.86}{100} \text{ mA} = 0.0286 \text{ mA}$$

$$\therefore R_b = \frac{V_{BB} - U_{BE}}{I_B} = \frac{2 - 0.7}{0.0286} \text{ k}\Omega \approx 45.5 \text{ k}\Omega$$

本题也可根据 I_B 和 I_{BS} 的大小判断晶体管的工作状态,此处从略。

六、测得某放大电路中三个 MOS 管的三个电极的电位如表 T1.6 所示,它们的开启电压也在表中。试分析各管的工作状态(截止区、恒流区、可变电阻区),并填入表内。

表 T1.6

管 号	$U_{GS(th)}/\text{V}$	U_S/V	U_G/V	U_D/V	工作状态
T ₁	4	-5	1	3	
T ₂	-4	3	3	10	
T ₃	-4	6	0	5	

【分析】 对于增强型 MOS 管,判断其工作区域时,首先应根据 U_{GS} 和 $U_{GS(th)}$ 的大小判断管子是否导通,若导通,再根据 U_{DS} 和 $(U_{GS} - U_{GS(th)})$ 的大小进一步判断管子是处于可变电阻区还是恒流区。

【解】 (1) T₁: 开启电压 $U_{GS(th)} = 4 \text{ V} > 0$,故为 N 沟道增强型 MOS 管;而 $U_{GS} = U_G - U_S = [1 - (-5)] \text{ V} = 6 \text{ V}$, $\therefore U_{GS} > U_{GS(th)}$,管子导通。又 $\because U_{DS} = U_D - U_S = [3 - (-5)] \text{ V} = 8 \text{ V}$,而 $U_{GS} - U_{GS(th)} = (6 - 4) \text{ V} = 2 \text{ V}$, $\therefore U_{DS} > U_{GS} - U_{GS(th)}$,据此可判定管子工作在恒流区。

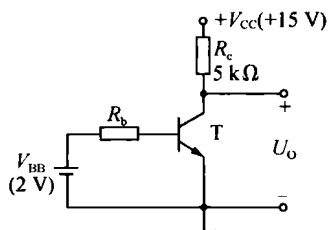


图 T1.5