

# XINSHIJI

DIANZI XINXI YU DIANQILEI XILIE GUIHUA JIAOCAI

新世纪电子信息与电气类系列规划教材

# 《模拟电子技术基础 (第2版)》 学习指导与习题解答

主编 © 王振宇 成立

新世纪电子信息与电气类系列规划教材

# 《模拟电子技术基础(第2版)》 学习指导与习题解答

主 编 王振宇 成 立  
参 编 陈 勇 刘跃峰



东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

南 京

## 内 容 简 介

本书是配合成立、王振宇等编著的《模拟电子技术基础(第2版)》的教学需要而编写的一本指导性质的书籍。全书分为两个部分:第一部分为教材第1章至第8章的内容摘要和章后习题解答。该部分每一章节都对教材的主要内容、基本概念和解题方法进行了阐述,并对教材习题1至习题8做出了比较详尽的解答。至于第2版教材第9章,因为该章只提供了Multisim 10.0软件工具以及上机设计、仿真和分析的内容,所以章后未布置习题,题解书中亦未涉及第9章的题目,让学生自行进入实验室动手习作。第二部分为自测试题集,该试题集含有6套电气信息大类和机电测控类专业本科生期末考试模拟试题及其解答。

本书既可作为理工科高等院校电气信息大类和机电测控类本科生学习《模拟电子技术基础》课程的教辅书籍,又可用于报考硕士研究生人员的复习参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础(第2版)学习指导与习题解答/

王振宇,成立主编. —南京:东南大学出版社,2015.1

新世纪电子信息与电气类系列规划教材

ISBN 978-7-5641-5496-7

I. 模… II. ①王… ②成… 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(2015)第029811号

### 《模拟电子技术基础(第2版)》学习指导与习题解答

---

出版发行 东南大学出版社

出版人 江建中

社 址 南京市四牌楼2号

邮 编 210096

---

经 销 全国各地新华书店

印 刷 南京工大印务有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 11.25

字 数 280千字

版 次 2015年1月第1版

印 次 2015年1月第1次印刷

印 数 1—3000册

书 号 ISBN 978-7-5641-5496-7

定 价 28.00元

---

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830)

# 前 言

模拟电子技术基础是高等工科院校的电子信息、电气工程、自动控制、仪器仪表、生物医学工程、机电一体化、光电信息技术和测控仪器及技术等电气信息大类、机电测控类专业普遍开设的一门技术基础课程。通过该门课程的学习,不仅要求学生掌握模拟电子技术的一些基本理论知识和实用技术,而且要为后续课程开设和未来学习新的科学知识打下必要的基础。同时,本门课程也是某些电气信息大类、机电测控类专业领域硕士研究生入学考试的初试课程之一。

由于模拟电子技术基础课程的内容较多,且线路种类繁多,再加上课堂学时十分有限,致使有些同学学起来困难多多,所以编写此书的目的旨在帮助同学们学好该门功课,同时也为研究生入学考试人员复习备考提供一些帮助。基于此,编者力求做到叙述简明扼要,解题清楚明了,便于阅读并把握住解题的要领。此为编写本书的实实在在的目的。

本书第1部分把《模拟电子技术基础(第2版)》教材第1章至第8章的基本概念和主要内容,做了简要的归纳和小结,并对教材习题1至习题8作出了较为详尽的解答,藉此指导同学们听课、复习及课后解题,以便巩固并掌握所学知识,同时也帮助同学们掌握解题的思路、方法和技巧。书中第一部分习题解答与教材章节号和每一章末的习题一一对应;第2部分自测试题集为最近6年来的江苏大学电气信息大类专业、机电测控类专业本科生期末考试试卷和部分硕士研究生入学考试试题(编写时部分试题与章后习题重复之处,编者作了增减处理),故这些自测试题具有一定的代表性、指导意义和参考价值。

本书由江苏大学王振宇和成立担任主编,负责提出编写原则、组织编写并校对、定稿等项工作。各部分内容编著全由江苏大学的教师承担。具体分工为:江苏大学成立教授编写第1部分第1~8章学习指导及前言、目录等,王振宇副教授编写第1~8章的习题解答,陈勇讲师编写第2部分自测试题1~3,刘跃峰讲师负责编写第2部分的自测试题4~6。

由于编者水平有限,书中错误或不当之处在所难免,恳请读者们提出批评意见。

编 者

2014年10月

# 目 录

## 第 1 部分 学习指导与习题解答

<b>1</b>	<b>半导体器件</b> .....	(1)
1.1	学习指导 1 .....	(1)
1.2	习题 1 解答 .....	(4)
<b>2</b>	<b>基本放大电路</b> .....	(14)
2.1	学习指导 2 .....	(14)
2.2	习题 2 解答 .....	(17)
<b>3</b>	<b>多级放大电路和集成运算放大器</b> .....	(40)
3.1	学习指导 3 .....	(40)
3.2	习题 3 解答 .....	(43)
<b>4</b>	<b>反馈放大电路</b> .....	(57)
4.1	学习指导 4 .....	(57)
4.2	习题 4 解答 .....	(62)
<b>5</b>	<b>集成运算放大器的线性应用电路</b> .....	(76)
5.1	学习指导 5 .....	(76)
5.2	习题 5 解答 .....	(78)
<b>6</b>	<b>信号产生电路</b> .....	(92)
6.1	学习指导 6 .....	(92)
6.2	习题 6 解答 .....	(95)
<b>7</b>	<b>功率放大电路</b> .....	(111)
7.1	学习指导 7 .....	(111)
7.2	习题 7 解答 .....	(113)
<b>8</b>	<b>直流稳压电源</b> .....	(123)
8.1	学习指导 8 .....	(123)
8.2	习题 8 解答 .....	(124)

## 第 2 部分 自测试题集

自测试题 1 .....	(134)
自测试题 2 .....	(138)
自测试题 3 .....	(141)
自测试题 4 .....	(145)
自测试题 5 .....	(149)
自测试题 6 .....	(153)
附录 自测试题解答 .....	(157)

# 第 1 部分 学习指导与习题解答

## 1

## 半导体器件

### 1.1 学习指导 1

#### 1) 二极管的基本概念与解题要点

##### (1) 基本概念

由于实际上一个的二极管内部封装了一个 PN 结,所以二极管的特性基本上就是 PN 结的伏安特性。此特性主要是单向导电性和反向击穿特性,前者用于整流,后者则用于制备稳压二极管。

二极管的伏安特性及其图形符号如图 1.1 所示。与 PN 结的伏安特性数学表达式相同,二极管的伏安特性可用下式表达:

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

式中: $u$  是加于二极管上的电压降; $i$  为流过二极管的电流; $I_S$  为反向饱和电流; $U_T$  为温度电压当量,室温下  $U_T \approx 26 \text{ mV}$ 。

对于硅管和锗管两种不同半导体材料制成的二极管,上述伏安特性表达式都是适用的。但因不同材料的二极管的  $I_S$  不同,故硅管、锗管的伏安特性曲线不会重合,见图 1.1(a) 的两条曲线。

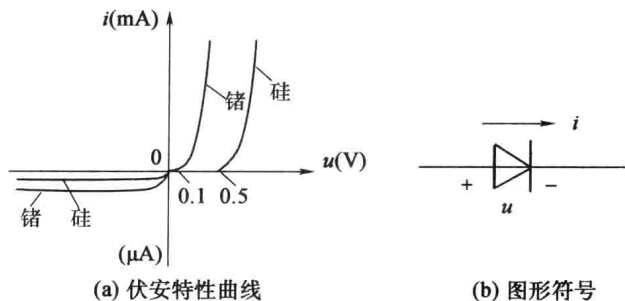


图 1.1 二极管的伏安特性及图形符号

当计算含二极管的电路时,硅二极管导通压降  $U_D$  取为 0.7 V, 阈值电压(俗称死区电压)  $U_{th}$  约为 0.5 V, 而锗二极管  $U_D$  取 0.2 V, 死区电压约为 0.1 V, 如图 1.1(a) 所示。另外由图可见反向饱和电流锗管大、硅管小, 因此硅管的温度稳定性比锗管的好。

分析计算二极管电路时, 为了便于估算, 常把二极管看作是理想器件, 此时二极管的导通压降  $U_D=0$  V, 反向饱和电流  $I_S=0$   $\mu$ A。

使用二极管时, 导通时的平均电流不要超过最大整流电流  $I_F$ , 截止时所加的反向电压要小于最高反向工作电压  $U_R$ , 以保证其安全工作, 详见教材第 1.2.3 节。

(2) 解题要点

当分析二极管电路时, 必须先判断二极管是处于导通还是截止状态。

常用的判断方法是: 假设将被判断的二极管断开, 求出两个断点间的开路电压(即二极管两极断开处的正向电压), 如果此开路电压大于二极管的死区电压, 则该管导通, 否则为截止。导通二极管的电压降可看作是常值(硅管 0.7 V, 锗管 0.2 V)。如果是理想二极管, 则导通压降为 0 V; 若二极管截止, 则该管所在支路就相当于断路。把电路中所有二极管的状态都判明之后, 才能计算电路中所要求的其余各电量。

2) 双极型晶体三极管(BJT)

(1) BJT 的电流分配关系与放大作用

① BJT 的电流分配关系式。BJT 在模拟电路中主要是工作在放大状态, 而 BJT 中 3 个极的电流分配关系是晶体三极管的主要特性。

BJT 有硅管和锗管, 也有 NPN 型和 PNP 型的器件, 见图 1.2。它们的 3 个电极的电流分配关系是相同的。现归纳教材第 1.3.2 节的有关内容, 列出主要的关系式如下:

电流分配关系式:  $i_E = i_C + i_B$ , 式中,  $i_E$ 、 $i_C$ 、 $i_B$  依次为发射极电流、集电极电流、基极电流;

集电极电流表达式:  $i_C = \beta i_B + I_{CEO}$ , 式中,  $I_{CEO}$  为集-射反向穿透电流;

穿透电流  $I_{CEO}$  与  $I_{CBO}$  关系式:  $I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$ , 式中,  $I_{CBO}$  为集-基反向漂移电流。

鉴于 BJT 的放大作用, 因其已在第 1.3.2 节末进行了小结, 故请读者阅读并加以理解。

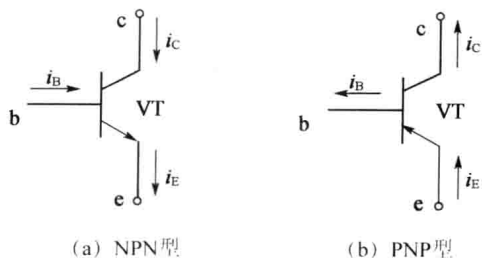


图 1.2 两种类型的 BJT 的符号及电流流向

② 由图 1.2 可见, 对 NPN 管来说,  $i_C$  和  $i_B$  是流进 BJT 的, 而  $i_E$  是流出的。但对于 PNP 管而言, 3 个电极电流量流向正好与 NPN 的相反。

由于  $i_B$  和  $I_{CEO}$  均远小于  $i_C$ , 所以电流放大系数  $\beta$  与  $\alpha$  可以近似表示成:

$$\beta \approx \frac{i_C}{i_B}$$

$$\alpha \approx \frac{i_C}{i_E}$$

于是,  $\beta$  与  $\alpha$  的关系满足下式:

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}, \quad \alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$$

### (2) BJT 的 3 种工作状态

鉴于在模拟电路中 BJT 主要用作放大器件, 根据教材第 1.3.2 节所归纳的内容, 欲使 BJT 工作在放大状态, 就须满足 BJT“发射结  $J_e$  正偏、集电结  $J_c$  反偏”的外部条件。亦即, BJT 的 3 个电极电压应当满足, 对于 NPN 管:  $U_C > U_B > U_E$ ; 而对 PNP 管:  $U_C < U_B < U_E$ 。上述不等式是判断 BJT 能否满足外部条件的依据。

由于硅管和锗管的特性有差异, 所以当管子处于放大状态时, 两种类型 BJT 的基极与发射极之间的电压降  $|U_{BE}|$  数值会有所不同, 即: 硅管  $|U_{BE}| \approx 0.7 \text{ V}$ , 锗管  $|U_{BE}| \approx 0.2 \text{ V}$ , 且基极电位  $U_B$  介于  $U_C$  与  $U_E$  之间。

除了放大状态之外, BJT 还有饱和与截止的工作状态, 这两种状态是指用于数字电路的 BJT 所处的开关状态。具体为:

如 BJT 的发射结  $J_e$  和集电结  $J_c$  均为正偏, 则 BJT 工作在饱和状态, 其饱和管压降  $|U_{CES}| = 0.1 \sim 0.3 \text{ V}$ , 对应于开关接通; 若发射结  $J_e$  和集电结  $J_c$  均反偏, 则 BJT 处于截止状态, 相当于开关断开。

### (3) BJT 的 3 种组态(接法)

正如教材第 1.3.2 节 3) 所述, 根据公共接地端的不同, BJT 共有 3 种组态(接法): 共基极、共集电极和共发射极。因此, 第 2 章中将有 3 种组态的 BJT 放大电路。

### (4) BJT 的极限参数

BJT 的极限参数是指管子正常工作时, 电压和电流不要超过的值。除了有集电极最大允许电流  $I_{CM}$ 、集电极最大允许耗散功率  $P_{CM}$  以外, BJT 还有 3 个反向击穿电压:  $U_{(BR)CBO}$ 、 $U_{(BR)EBO}$  和  $U_{(BR)CEO}$ , 其中  $U_{(BR)CEO}$  最小。故从安全工作的目的出发, 管子工作时  $U_{CE}$  不要超过  $U_{(BR)CEO}$ 。

## 3) 场效应管(FET)

场效应晶体管(FET)是一种利用电场来控制其电流大小的半导体器件。因为 FET 工作时其沟道中只有一种载流子参与导电, 所以又被称为单极型器件。与双极型晶体三极管(BJT)相比, FET 的特点是体积小、重量轻、寿命长、输入阻抗高、噪声低、抗辐射性和热稳定性都好, 便于制备各种集成电路(IC)。FET 的种类较多, 这增加了选管的灵活性。但由于 FET 的跨导  $g_m$  值较小, 所以用它组成放大电路的电压增益也较小。

从结构上来说, 场效应管分为两类: 结型场效应管(JFET)和金属—氧化物—半导体场效应管(MOSFET)。由于所有的 FET 的输入阻抗较高, 所以有输入电压  $u_{GS}$  而无输入电流, 但受  $u_{GS}$  控制产生相应的输出电流  $i_D$ , 故 FET 为电压控制器件, 且无输入特性可言, 转面用转移特性来描述输入电压  $u_{GS}$  与输出电流  $i_D$  的关系。

### (1) JFET 的特性

教材第 1.5.2 节表 1.2 中第 5、6 行分别表示 P、N 两种沟道 JFET 的符号、转移特性和输出特性。其中描述转移特性的表达式为:

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



式中: $U_{GS(off)}$ 为夹断电压, $I_{DSS}$ 是饱和漏极电流。

对于N沟道JFET,其 $U_{GS(off)} \leq u_{GS} \leq 0$  V,而对于P沟道的JFET: $U_{GS(off)} \geq u_{GS} \geq 0$  V;在转移特性曲线上漏极电流 $i_D > 0$  mA者为N沟道JFET, $i_D < 0$  mA的是P沟道JFET。JFET的栅-源电压 $u_{GS}$ 对 $i_D$ 的控制能力可以用低频跨导 $g_m$ 来描述:

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

低频跨导 $g_m$ 的单位是mA/V(mS)。对于工作中的JFET来说, $u_{GS}$ 只能是单极性的。

### (2) 耗尽型 MOSFET 的转移特性

教材表1.2中第1、3行分别表示N、P两种沟道的耗尽型MOSFET的符号、转移特性和输出特性。其漏极电流 $i_D$ 和低频跨导 $g_m$ 的表达式同于JFET,所不同的是栅-源电压 $u_{GS}$ 可以是双极性的(可正可负),因为当 $u_{GS} = 0$  V时导电沟道就已经存在了。

耗尽型MOSFET转移特性 $i_D$ 的表达式和低频跨导 $g_m$ 的表达式同于JFET的表达式。

### (3) 增强型 MOSFET 转移特性

教材表1.2中第2、4行分别表示N、P两种沟道增强型MOSFET的符号、转移特性和输出特性。它们的漏极电流 $i_D$ 的数学表达式为:

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

式中: $U_{GS(th)}$ 为开启电压; $I_{D0}$ 是在 $u_{GS} = 2U_{GS(th)}$ 时的漏极电流。因 $u_{GS} < |U_{GS(th)}|$ 时未形成导电沟道,故 $i_D = 0$  mA。

增强型MOSFET低频跨导 $g_m$ 的表达式为:

$$g_m = 2I_{D0} \frac{1}{U_{GS(th)}} (u_{GS} - U_{GS(th)})$$

该表达式对N沟道增强型MOSFET的定义域为: $u_{GS} > U_{GS(th)}$ ;而P沟道增强型MOSFET的定义域为: $u_{GS} < U_{GS(th)}$ 。

## 1.2 习题1解答

1.1 单项选择题(将下列各小题正确选项前的字母填于题中的括号内。此题可按教师要求放到章末或复习时练习)

- (1) 当一个Si材料PN结外加反向电压时,它的耗尽层变宽,势垒增强。因此,其扩散电流为( )。
  - A. 0 mA
  - B. 无穷大
  - C. 毫安数量级
  - D. 微安数量级
- (2) 把一个二极管直接与一个电动势为1.5 V、内阻为0  $\Omega$ 的干电池正向连接,该管( )。
  - A. 击穿
  - B. 电流过大使管子烧坏
  - C. 电流为毫安数量级
  - D. 电流为微安数量级

- (3) 某一个硅二极管当正向电压  $u_D=0.7\text{ V}$  时,测得它的正向电流  $i_D=10\text{ mA}$ ,若  $u_D$  增大到  $0.77\text{ V}$ (即增加  $10\%$ )时,问此时的正向电流  $i_D$  约为( )。
- A.  $10\text{ mA}$                                   B.  $11\text{ mA}$   
 C.  $20\text{ mA}$                                   D.  $100\text{ mA}$
- (4) 理想二极管加正向偏置电压时,其内阻为( )。
- A.  $10\text{ k}\Omega$  以上                              B.  $1\text{ k}\Omega$  左右  
 C.  $1\text{ k}\Omega\sim 10\text{ k}\Omega$  之间              D.  $0\ \Omega$
- (5) 硅稳压管的稳定电压  $U_Z$  是指管子进入( )区域后的端电压。
- A. 稳定电流  $I_Z>I_{Z\max}$                   B. 反向  
 C. 反向击穿                                 D. 正向
- (6) 当温度升高时,双极性晶体三极管(BJT)的集-射反向穿透电流  $I_{CEO}$ 将( )。
- A. 减小                                        B. 大大减小  
 C. 大大增加                                 D. 维持不变
- (7) 发射结  $J_e$  正偏、集电结  $J_c$  反偏是 BJT 工作在( )区的外部条件。
- A. 饱和                                        B. 截止  
 C. 放大                                        D. 可变电阻
- (8) 界定晶体管安全工作区的 3 个极限参数是  $I_{CM}$ 、 $P_{CM}$ 和( )。
- A.  $I_{CEO}$                                         B.  $\beta$   
 C.  $U_{CES}$                                       D.  $U_{(BR)CEO}$
- (9) 工作在放大区的某 NPN 型 BJT, 如果当  $I_B$  从  $12\ \mu\text{A}$  变为  $22\ \mu\text{A}$  时,  $I_C$  从  $1\text{ mA}$  变为  $2\text{ mA}$  时,那么它的  $\beta$  约为( )。
- A.  $60$                                          B.  $80$   
 C.  $100$                                          D.  $50$
- (10) 场效应管(FET)的低频跨导  $g_m$  反映了管子的( )的作用。
- A.  $i_G$  控制  $i_D$                                 B.  $u_{GS}$ 控制  $i_D$   
 C.  $i_G$  控制  $u_{DS}$                              D.  $u_{GS}$ 控制  $u_{DS}$
- (11) 当某 FET 的漏极直流电流  $I_D$  从  $2\text{ mA}$  变为  $4\text{ mA}$  时,它的低频跨导  $g_m$  将( )。
- A. 增大                                        B. 不变  
 C. 减小                                        D. 大大减小
- (12) 与 BJT 相比, FET 的温度稳定性( )。
- A. 差一些                                      B. 好得多  
 C. 大致相同                                 D. 差得多
- (13) 工作中的结型场效应管(JFET)的漏极电流等于源极各电流,这一电流( )。
- A. 穿过一个 PN 结                            B. 穿过一对反偏的 PN 结  
 C. 穿过一对背向的 PN 结                D. 不穿过任何的 PN 结,穿过导电沟道
- (14) 设某增强型 N 沟道 MOS 管开启电压  $U_{GS(th)}=3.6\text{ V}$ , 试问当它的栅-源电压  $u_{GS}$  为  $3.62\text{ V}$  时,该管处于( )。
- A. 截止区                                      B. 导通状态  
 C. 开关状态                                 D. 可变电阻区

(15) 当光电晶体管的管压降  $u_{CE}$  足够大时,其光电流几乎仅仅取决于( )。

- A.  $u_{CE}$  的大小  
B. 工作电压  
C. 暗电流的大小  
D. 入射光强度

答案 (1) A (2) B (3) D (4) D (5) C (6) C (7) C (8) D (9) C (10) B  
(11) A (12) B (13) D (14) B (15) D

1.2 PN 结为什么会有单向导电性? 在什么情况下单向导电性会丧失? 温度对 PN 结的正向特性、反向特性有何影响?

解 PN 结之所以有单向导电性,关键在于有内电场。在外加正向电压作用下,此正向电压削弱了内电场,PN 结变窄,势垒变低,有利于多子扩散,所以正向电流大,容易导电。但在反向电压作用下,外加电压与内电场方向相同,使 PN 结变宽,势垒增高,不利于多子扩散,而有利于少子漂移。但因少子数量少,所以反向电流很小,即不易导电。在正向电压作用下电流较大,在反向电压作用下电流较小,所以说 PN 结具有单向导电性。

当反向电压足够大时,反向电流突然增大,这种现象称为“击穿”。此时,PN 结失去单向导电性。此外,环境温度过高或外加交流电压的频率超过 PN 结的特征频率  $f_T$  时,也会使 PN 结失去单向导电性。

PN 结的正向特性、反向特性均与它的反向饱和电流  $I_S$  的大小有关。当温度升高时,本征激发的电子空穴对增多,即少子数量增多,反向饱和电流  $I_S$  增大。这样将使 PN 结在同样的外加电压下正向电流增大,正向特性曲线向左移动。当温度升高时,反向电压作用下的反向电流增大,即反向特性曲线下移。

1.3 设某 PN 结的反向饱和电流  $I_S=1 \mu A$ ,温度  $T \approx 27^\circ C$ 。试用 PN 结的伏安特性表达式,分别估算外加电压  $u=0.26 V$  或  $u=-1 V$  时的电流  $i$ ,并问这些估算结果说明了什么问题?

解 PN 结(实际上即为二极管)的伏安特性方程式:

$$i = I_S(e^{u/U_T} - 1);$$

当外加正向电压  $u=0.26 V$  时,正向电流为:

$$I = 10^{-6} \times (e^{260/26} - 1) = 10^{-6} \times e^{10} \approx 22 \text{ mA};$$

当外加反向电压  $u=-1 V$  时,反向电流为:

$$I = 10^{-6} \times (e^{-1000/26} - 1) = 10^{-6} \times (e^{-38.46} - 1) \approx 10^{-6} \times (-1) = -1 \mu A.$$

这一结果说明了,当外加正向电压较小时,二极管已工作在正向特性接近指数规律的范围内。正向电压虽小,而正向电流已经较大。反向电压虽绝对值较大,但因  $e^{-38.46}$  项已近似衰减至零,所以反向电流约等于反向饱和电流:  $-I_S$ 。

1.4 当用万用表测二极管的正向电阻时,用  $\Omega \times 1$  挡测出的电阻值小,而用  $\Omega \times 100$  挡测出的电阻值大,这是为什么? 在测反向电阻时,为了使电表试笔和二极管的阴、阳极接触良好,测量者用手捏紧,结果测出的二极管反向电阻小,似乎不合格,但用在设备上却表现正常,这又是为什么?

解 用万用表测出的二极管的电阻值是它的直流电阻。二极管的电压与电流不成正比,所以通过管子的电流不同,测

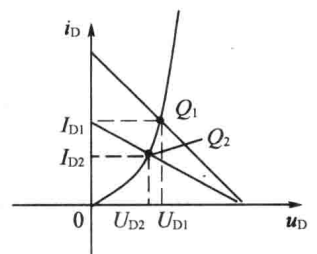


图 1.3 题 1.4 图

出的直流电阻也不同。当用  $\Omega \times 1$  挡测量时,由于万用表的内阻小,二极管的工作电流大,管子工作在图 1.3 所示的点  $Q_1$  处,所以直流电阻( $U_{D1}/I_{D1}$ )较小。当用  $\Omega \times 100$  挡测量时,因此时电表内阻大,二极管工作电流小,管子工作在点  $Q_2$  处,所以管子的直流电阻( $U_{D2}/I_{D2}$ )较大。

二极管的反向电阻较大。当测量反向电阻时,如用两手分别捏紧两支表笔,等于把人体电阻与管子的反向电阻并联,所以测出的反向电阻小,而管子本身可能是好的。

1.5 对于图 1.4(教材图 1.57)所示的电路(VD 为硅管),试解答:

(1) 电流  $I$  约为多少毫安?

(2) 当温度升高时, $I$  和  $U_D$  是增大、减小还是不变?

解 (1) 
$$I \approx \frac{10 - 0.7}{5.1} \approx 1.82 \text{ mA}$$

(2) 二极管压降  $U_D$  减小,流过管子的电流  $I$  增大。

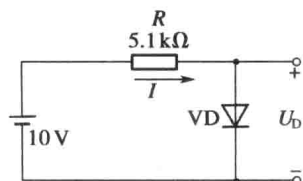


图 1.4 题 1.5 图

1.6 在图 1.5(教材图 1.58)所示电路中,已知  $u_i = 30\sin 100\pi t$  (V),设二极管为理想。试分别画出它们的输入、输出电压的波形和电压传输特性  $u_o = f(u_i)$ 。

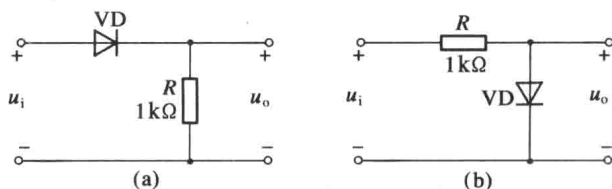


图 1.5 题 1.6 图

解 电路的输出波形图和传输特性曲线见图 1.6。

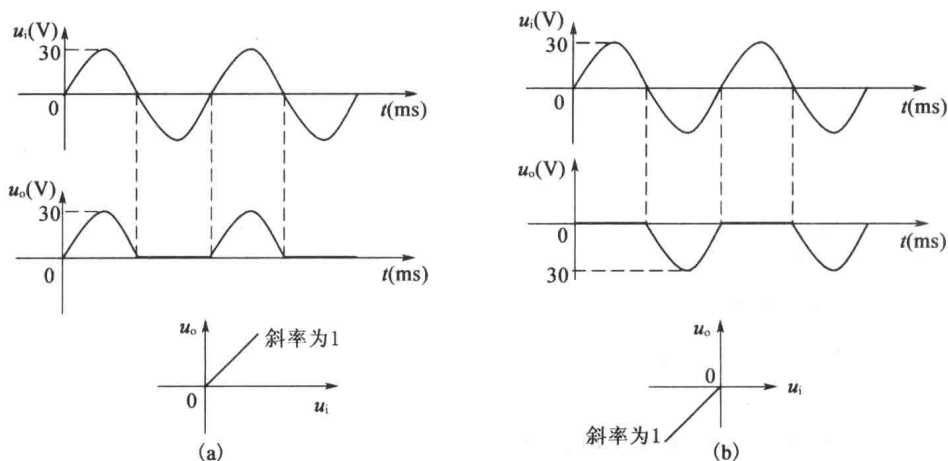


图 1.6 题 1.6 电路的输出波形图及电压传输特性

1.7 在图 1.7(教材图 1.59)所示电路中,已知  $u_i = 10\sin \omega t$  (V),二极管为理想。试分别画出它们的输入、输出电压波形和电压传输特性  $u_o = f(u_i)$ 。

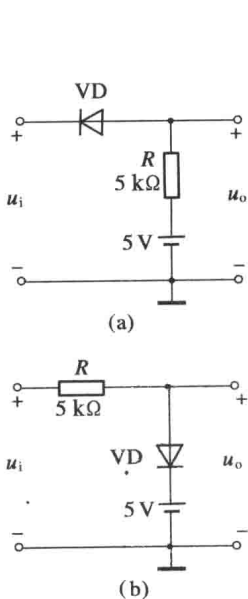


图 1.7 题 1.7 图

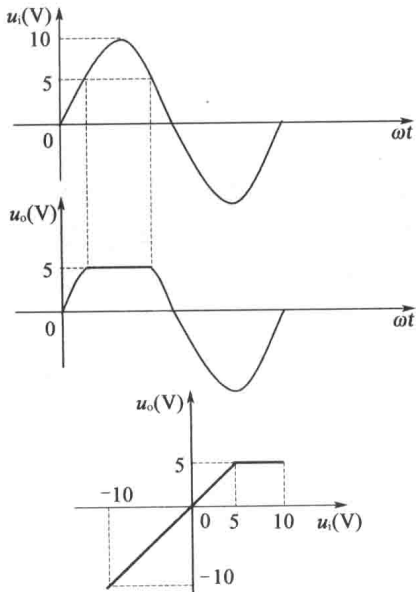


图 1.8 题 1.7(a)、(b)电路的输入、输出波形图及电压传输特性

解 图 1.7(a)、(b)两图电路的输入、输出波形图和传输特性曲线,见图 1.8。

- 1.8 (1) 如果将一个硅稳压管正向接在某一直流电路中,试问其上获得的正向压降约为多少伏? 此正向压降是否稳定? 为什么?
- (2) 现有两个硅稳压管,它们的稳定电压分别为  $U_{Z1}=6\text{ V}$ ,  $U_{Z2}=9\text{ V}$ ,请问将它们串联相接于某直流电路中可以获得几种稳压值,各是多少? 将它们并联相接呢?

解 (1) 正向压降约为  $0.7\text{ V}$ 。此正向压降稳定,因为根据硅稳压管的正向伏安特性可知,正向电流在较大的范围内变化时,正向压降  $0.7\text{ V}$  几乎不变。

(2) 注意:稳压管实际上是特殊制作的硅二极管。反向击穿时,它两端的反向电压就是稳定电压;在正向电压下工作时,它两端的正向电压仍为  $0.7\text{ V}$ (硅管)。所以,若把两个稳压管串联,由于有 4 种接法(每个管子都可正向或反向连接),所以可以得到 4 种稳压值: $15\text{ V}$ 、 $6.7\text{ V}$ 、 $9.7\text{ V}$ 、 $1.4\text{ V}$ 。若把两个稳压管并联,则可得稳压值为  $6\text{ V}$ 、 $0.7\text{ V}$ 。

- 1.9 硅稳压管稳压电路如图 1.9(教材图 1.60)所示。已知稳压管的稳定电压值  $U_Z$  为  $6\text{ V}$ ,稳定电流  $I_Z$  为  $10\text{ mA}$ ,额定功耗为  $200\text{ mW}$ ,限流电阻  $R=500\ \Omega$ 。

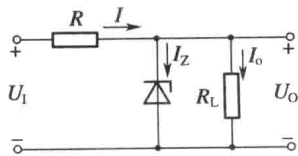


图 1.9 题 1.9 图

- (1) 当  $U_1=20\text{ V}$ ,  $R_L=1\text{ k}\Omega$  时,  $U_o=?$
- (2) 当  $U_1=20\text{ V}$ ,  $R_L=100\ \Omega$  时,  $U_o=?$
- (3) 当  $U_1=20\text{ V}$ ,  $R_L$  开路时,电路的稳压性能情况如何?
- (4) 当  $U_1=7\text{ V}$ ,  $R_L$  变化时,电路的稳压性能情况又如何?

解 (1)  $U_o=6\text{ V}$ ;

$$(2) U_o=U_1 \times \frac{R_L}{R+R_L} \approx 3.3\text{ V}$$

(3)  $I_Z = \frac{20-6}{500} = 28\text{ mA}$ , 功耗为:  $6\text{ V} \times 28\text{ mA} = 168\text{ mW} < 200\text{ mW}$ , 故该电路能

稳压；

(4)  $I_{Zmax} = \frac{7-6}{500} = 2 \text{ mA} < 10 \text{ mA}$ , 故该电路不能稳压。

1.10 (1) 理想二极管电路如图 1.10(a) [教材图 1.61(a)] 所示, 试确定图中的  $I$  及  $U$  的大小。

(2) 理想二极管开关电路见图 1.10(b) [教材图 1.61(b)], 当  $u_{i1}$  和  $u_{i2}$  为 0 V 或 5 V 时, 求  $u_{i1}$  和  $u_{i2}$  的值为不同组合情况时, 输出电压  $u_o$  值。要求分析完后将输入电压、输出电压的值列表表示。

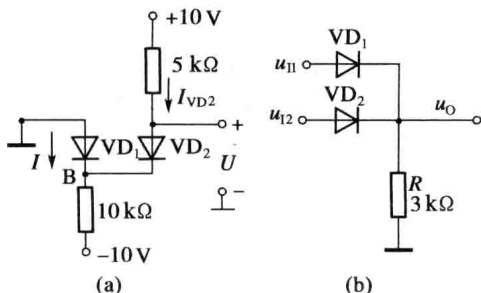


图 1.10 题 1.10 图

解 (1) 将二极管  $VD_1$ 、 $VD_2$  断开, 可知  $VD_2$  的开路电压为 20 V, 此电压大于二极管的死区电压, 故  $VD_2$  导通, 节点 B 对地的电位为:

$$U_B = (20 \times 10 / 15) - 10 \approx 3.3 \text{ V}$$

故二极管  $VD_1$  的开路电压小于其死区电压,  $VD_1$  处于截止状态, 图示  $I = 0 \text{ mA}$ , 因为  $VD_2$  导通, 所以所求电压  $U = U_B \approx 3.3 \text{ V}$ 。

(2) 对于图 1.10(b) 图电路, 当  $u_{i1} = 0 \text{ V}$ ,  $u_{i2} = 5 \text{ V}$  时,  $VD_2$  为正偏,  $u_o = 5 \text{ V}$  (因二极管理想), 此时  $VD_1$  的阴极电位为 5 V, 阳极为 0 V,  $VD_1$  反偏, 故  $VD_1$  截止。

依此类推, 将  $u_{i1}$  和  $u_{i2}$  的其余 3 种组合和输出电压列于表 1.1 中。

表 1.1 图 1.10(b) 图电路的分析结果

输入电压		二极管工作状态		输出电压 $u_o$ (V)
$u_{i1}$ (V)	$u_{i2}$ (V)	$VD_1$	$VD_2$	
0	0	截止	截止	0
0	5	截止	导通	5
5	0	导通	截止	5
5	5	导通	导通	5

由表 1.1 可见, 在输入电压  $u_{i1}$  和  $u_{i2}$  中, 只要有一个输入电压为 5 V, 则输出电压为 5 V, 只有当两个输入电压均为 0 V 时, 输出电压才为 0 V, 这一逻辑关系在数字电路中称为或逻辑关系。

1.11 BJT 有两个 PN 结。若仿照其结构, 用两个二极管反向串联如图 1.11 (教材图 1.62) 所示, 并提供必要的偏置条件, 问能否获得与 BJT 相似的电流控制和放大作用? 为什么?

解 如图 1.11 所示的两个反向串联的二极管无电流控制和放大作用。因为在双极型晶体管 (BJT) 中, 是靠载流子在基区和集电区的扩散与复合来实现电流控制和放大作用的, 而在两个二极管反向联接时不存在类似基区和集电区的作用, 故在 BJT 的结构中, 强调的是在同一块半导体上形成 3 个宽窄不等、浓度不同的掺杂区, 而图示接法不能满足 BJT 的内部条件。

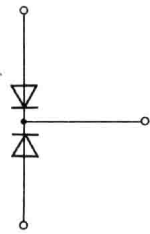


图 1.11 题 1.11 图

1.12 在放大电路中测得 BJT A 管和 B 管的各电极对电位参考点的直流电压如下,试确定它们的 X、Y、Z 各为哪个电极, A 管和 B 管是 NPN 还是 PNP 型? 是硅管还是锗管?

A 管:  $U_X=12\text{ V}, U_Y=11.7\text{ V}, U_Z=6\text{ V}$ ;

B 管:  $U_X=-5.2\text{ V}, U_Y=-1\text{ V}, U_Z=-5.5\text{ V}$ 。

解 A 管为 PNP 型锗管, X 为发射极, Y 为基极, Z 为集电极;

B 管为 NPN 型锗管, X 为基极, Y 为集电极, Z 为发射极。

1.13 电路如图 1.12(教材图 1.63)所示, BJT 的  $\beta=50, U_{BE}=-0.2\text{ V}$ , 饱和管压降  $U_{CES}=-0.1\text{ V}$ ; 稳压管的稳压值  $U_Z=5\text{ V}$ , 正向导通电压  $U_D=0.5\text{ V}$ 。试问:

(1) 当  $u_1=0\text{ V}$  时,  $u_o=?$

(2) 当  $u_1=-5\text{ V}$  时,  $u_o=?$

解 (1) 当  $u_1=0\text{ V}$  时, BJT 截止, 稳压管反向击穿, 输出电压为:

$$u_o = -U_Z = -5\text{ V};$$

(2) 当  $u_1=-5\text{ V}$  时, BJT 的基极电流大小为:

$$|I_B| = (|u_1| - |U_{BE}|) / R_B = 0.48\text{ mA};$$

而临界饱和时的基极电流大小:

$$|I_{BS}| = (V_{CC} - |U_{CES}|) / \beta R_C = 0.238\text{ mA}。$$

由上两式可见:  $|I_B| > |I_{BS}|$ , 说明 BJT 已经饱和, 故输出电压  $u_o = -0.1\text{ V}$ 。

1.14 某 BJT 的输出特性曲线如图 1.13(a)[教材图 1.64(a)]所示, 由它组成的电路见图 1.13(b)[教材图 1.64(b)]。

(1) 根据所给的输出特性曲线截取或估算该 BJT 的主要参数:  $I_{CEO}, U_{(BR)CEO}$  和  $P_{CM}$ , 以及当  $u_{CE}=10\text{ V}, i_c=2\text{ mA}$  时的  $\beta, \alpha$  和  $I_{CBO}$  值;

(2) 试问图 1.13(b)[教材图 1.64(b)]接成了何种组态的电路? 当开关 S 分别打到 A、B、C 这 3 个触点时, 判断 BJT 的工作状态, 并确定相应的输出电压  $U_o$  的大小。提示: 运用第 1.3.3 节和第 1.3.4 节所学知识分析。

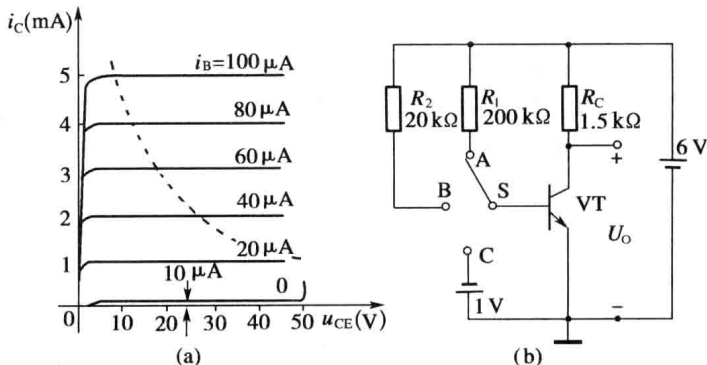


图 1.13 题 1.14 图

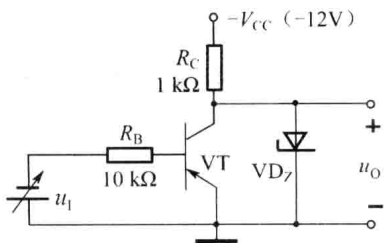


图 1.12 题 1.13 的电路图

解 (1) 由图 1.13(a)[教材图 1.64(a)]截得:

$$I_{CEQ} \approx 10 \mu\text{A}, \quad U_{(BR)CEQ} \approx 50 \text{ V}, \quad P_{CM} \approx 5 \times 10^{-3} \times 10 = 50 \text{ mW};$$

当  $u_{CE} = 10 \text{ V}$ ,  $i_C = 2 \text{ mA}$  时, 管子的  $\beta \approx 2 \text{ mA} / 0.04 \text{ mA} = 50$ ,  $\alpha = \beta / (1 + \beta) \approx 0.98$ ,  $I_{CBO} = I_{CEQ} / (1 + \beta) \approx 0.196 \mu\text{A}$ .

(2) 图 1.13(b) 电路接成共射组态。S 接 A 点时:

$$I_B = \frac{6 - 0.7}{200} = 26.5 \mu\text{A}, \quad I_C = \beta I_B \approx 1.3 \text{ mA}, \quad U_O = U_{CE} \approx 4.1 \text{ V}.$$

据此可知管子处于放大状态; S 接 B 点时,  $I_B = \frac{6 - 0.7}{20} = 265 \mu\text{A}$ , 而  $I_{BS} = \frac{6 \text{ V} - 0.1 \text{ V}}{1.5 \text{ k}\Omega \times 50} \approx 79 \mu\text{A} < I_B$ , 所以管子处于饱和状态,  $U_O = U_{CES} \approx 0.1 \text{ V}$ ; S 接 C 点时,  $U_{BE} = -1 \text{ V}$ , 发射结  $J_e$  反偏, 而集电结  $J_c$  亦反偏, 故管子处于截止状态,  $U_O = 6 \text{ V}$ 。

- 1.15 在图 1.14(教材图 1.65)所示的电路中, 已知 N 沟道 JFET 的  $I_{DSS} = 2 \text{ mA}$ ,  $U_{GS(off)} = -4 \text{ V}$ , 计算  $i_D$  和  $u_{GS}$  值。提示: 需要列出两个方程式, 其中一个方程由栅-源极输入回路列出, 注意 FET 输入电阻的大小。

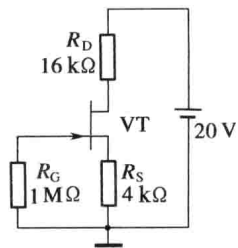


图 1.14 题 1.15 图

解 列出方程组如下:

$$\begin{cases} i_D = 2 \left( 1 - \frac{u_{GS}}{-4} \right)^2, \\ u_{GS} = -i_D R_S \end{cases}$$

解出

$$\begin{cases} i_D = 0.5 \text{ mA} \\ u_{GS} = -2 \text{ V} \end{cases} \quad \begin{cases} i_D = 2 \text{ mA} \\ u_{GS} = -8 \text{ V} \end{cases}$$

先舍去后一组解(因为: 应有  $i_D < I_{DSS} = 2 \text{ mA}$ ), 故取  $i_D = 0.5 \text{ mA}$ , 再根据  $u_{DS} = 20 - 0.5(16 + 4) = 10 \text{ V}$ , 得

$$\begin{cases} i_D = 0.5 \text{ mA} \\ u_{DS} = 10 \text{ V} \end{cases}$$

- 1.16 图 1.15(教材图 1.66)分别显示 3 只 MOSFET 的转移特性曲线, 请分别说明这 3 个管子各属于何种沟道。如是增强型, 说明其开启电压  $U_{GS(th)} = ?$  如是耗尽型, 说明其夹断电压  $U_{GS(off)} = ?$  已知图中  $i_D$  的参考正方向为流入漏极。

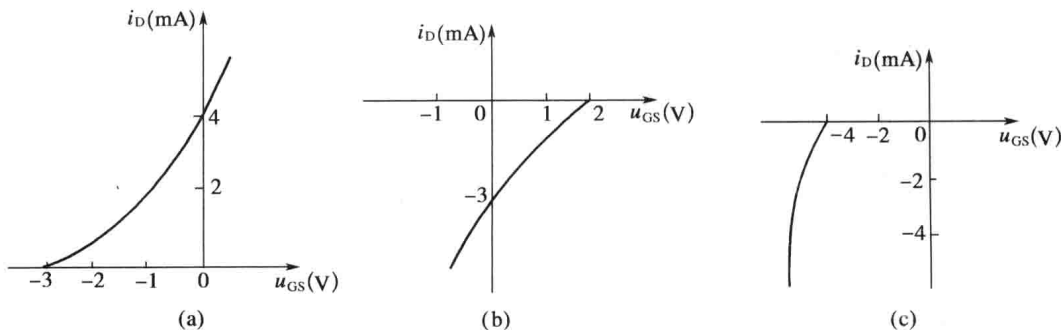


图 1.15 题 1.16 图



**解** 根据教材表 1.2 可知,图 1.15(a)[教材图 1.66(a)]:N 沟道耗尽型 MOS 管, $U_{GS(off)} = -3\text{ V}$ ;对图 1.15(b)[教材图 1.66(b)]:P 沟道耗尽型 MOS 管, $U_{GS(off)} = 2\text{ V}$ ;而图 1.15(c)[教材图 1.66(c)]:P 沟道增强型 MOS 管, $U_{GS(th)} = -4\text{ V}$ 。

**1.17** 已知 JFET 具有下列参数: $I_{DSS} = 2\text{ mA}$ , $U_{GS(off)} = -6\text{ V}$ , $U_{(BR)} = -20\text{ V}$ , $P_{DM} = 100\text{ mW}$ ,且其转移特性满足式(1.35)。

- \* (1) 试大致画出其转移特性和输出特性曲线,并确定 3 个工作区及安全工作区;  
(2) 若在管压降  $U_{DS} = 0.5\text{ V}$  时,要求其压控电阻为  $2.5\text{ k}\Omega$ ,试用转移特性估算其栅极电压  $U_{GS} = ?$

**解** 已知结型场效应管参数:

$$I_{DSS} = 2\text{ mA}, \quad U_{GS(off)} = -6\text{ V}, \quad U_{(BR)} = -20\text{ V}, \quad P_{DM} = 100\text{ mW}。$$

\* (1) 画输出特性和传输特性曲线 据参数知,此管为 N 沟道结型场效应管。

① 根据  $i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}}\right)^2$  计算饱和区内  $u_{GS}$  对应的  $i_D$  值,即

$u_{GS} = 0\text{ V}$  时, $i_D \approx I_{DSS} = 2\text{ mA}$ ;  $u_{GS} = -1\text{ V}$  时, $i_D \approx 1.4\text{ mA}$ 。

$u_{GS} = -2\text{ V}$  时, $i_D \approx 0.9\text{ mA}$ ;  $u_{GS} = -3\text{ V}$  时, $i_D \approx 0.5\text{ mA}$ 。

$u_{GS} = -4\text{ V}$  时, $i_D \approx 0.22\text{ mA}$ ;  $u_{GS} = -5\text{ V}$  时, $i_D \approx 0.006\text{ mA}$ 。

$u_{GS} = U_{GS(off)} = -6\text{ V}$  时, $i_D \approx 0\text{ mA}$ 。

② 求可变电阻区和饱和区的分界点

根据  $u_{GD} = u_{GS} - u_{DS} = U_{GS(off)}$ ,得  $u_{DS} = u_{GS} - u_{GS(off)}$ ,由此式可知:

$u_{GS} = 0\text{ V}$  时, $u_{DS} = -(-6) = 6\text{ V}$ ;  $u_{GS} = -1\text{ V}$  时, $u_{DS} = 5\text{ V}$ 。

$u_{GS} = -2\text{ V}$  时, $u_{DS} = 4\text{ V}$ ;  $u_{GS} = -3\text{ V}$  时, $u_{DS} = 3\text{ V}$ 。

$u_{GS} = -4\text{ V}$  时, $u_{DS} = 2\text{ V}$ ;  $u_{GS} = -5\text{ V}$  时, $u_{DS} = 1\text{ V}$ 。

$u_{GS} = -6\text{ V}$  时, $u_{DS} = 0\text{ V}$ 。

③ 求击穿区与饱和区的分界点

根据  $u_{(BR)DS} = u_{GS} - u_{(BR)}$  知:

当  $u_{GS} = 0\text{ V}$  时, $u_{(BR)DS} = -u_{(BR)} = -(-20)\text{ V} = 20\text{ V}$ 。

$u_{GS} = -2\text{ V}$  时, $u_{(BR)DS} = 18\text{ V}$ ;  $u_{GS} = -3\text{ V}$  时, $u_{(BR)DS} = 17\text{ V}$ 。

$u_{GS} = -4\text{ V}$  时, $u_{(BR)DS} = 16\text{ V}$ ;  $u_{GS} = -5\text{ V}$  时, $u_{(BR)DS} = 15\text{ V}$ 。

$u_{GS} = -6\text{ V}$  时, $u_{(BR)DS} = 14\text{ V}$ 。

④ 求安全工作区的分界点

由  $P_{DM} = U_{DS} I_D$ ,得  $U_{DS} = \frac{P_{DM}}{I_D}$ 。已知  $P_{DM} = 100\text{ mW}$ ,当给定  $i_D$  时,即可求得对应

安全区的最大的  $u_{DS}$ 。

$i_D = 2\text{ mA}$  时, $u_{DS} = 100\text{ V}/2 = 50\text{ V}$ ;  $i_D = 1.4\text{ mA}$  时, $u_{DS} = 71\text{ V}$ 。

$i_D = 0.9\text{ mA}$  时, $u_{DS} = 111\text{ V}$ ;  $i_D = 0.5\text{ mA}$  时, $u_{DS} = 200\text{ V}$ 。

$i_D = 0.22\text{ mA}$  时, $u_{DS} = 454\text{ V}$ ;  $i_D = 0\text{ mA}$  时, $u_{DS} \rightarrow \infty$ 。

由上述计算结果可知,在保持饱和区的电流  $i_D$  时,其安全电压已远远大于漏-源击穿电压  $U_{(BR)DS}$ 。因此,应按  $U_{(BR)DS}$  作为安全工作区的界线。

根据以上计算结果,可以分别画出输出特性曲线和转移特性曲线,如图 1.16 所示。