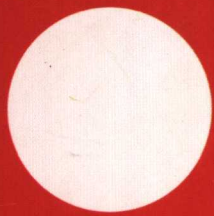
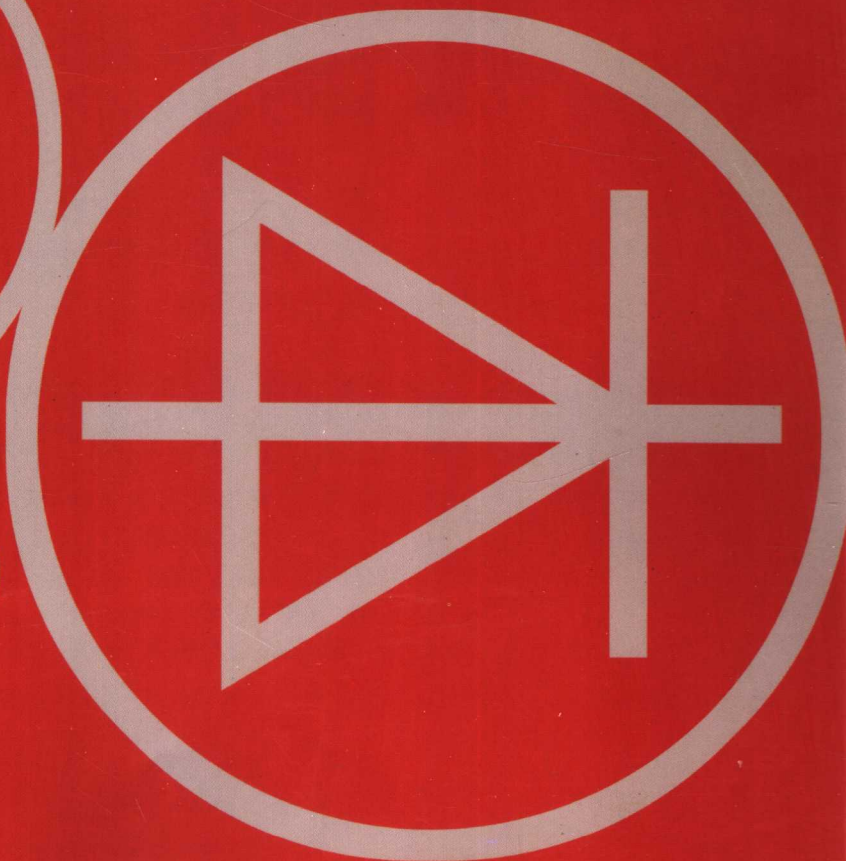


全国高等职业院校电子类专业教材

QUANGUO GAODENG ZHIYE JISHU YUANXIAO DIANZILEI ZHUANYE JIAOCAI

模拟集成电路 应用基础



中国劳动社会保障出版社

QUANGUO GAODENG ZHIYE JISHU YUANXIAO DIANZILEI ZHUANYE JIAOCAI

全国高等职业技术院校电子类专业教材

模拟集成电路应用基础

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟集成电路应用基础/诸林裕主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2005
全国高等职业技术学院电子类专业教材

ISBN 7-5045-4857-X

I. 模… II. 诸… III. 模拟集成电路 IV. TN431.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 006919 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

新华书店经销

北京印刷集团有限责任公司印刷二厂印刷 北京顺义河庄装订厂装订

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.5 印张 285 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

印数: 4000 册

定价: 19.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

前言

为贯彻落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》，推进高等职业技术教育更好地适应经济结构调整、科技进步和劳动力市场的需要，推动高等职业院校实施职业资格证书制度，加快高技能人才的培养，劳动保障部教材办公室在充分调研和论证的基础上，组织编写了高等职业院校系列教材。从 2004 年起，陆续推出数控类、电工类、模具设计与制造、电子商务、电子类、烹饪类专业教材，并将根据需要不断开发新的教材，逐步建立起覆盖高等职业院校主要专业的教材体系。

在高等职业院校系列教材的编写过程中，我们始终坚持了以下几个原则：一是坚持高技能人才的培养方向，从职业（岗位）分析入手，强调教材的实用性；二是紧密结合高职院校、技师学院、高级技校的教学实际情况，同时，坚持以国家职业资格标准为依据，力求使教材内容覆盖职业技能鉴定的各项要求；三是突出教材的时代感，力求较多地引进新知识、新技术、新工艺、新方法等方面的内容，较全面地反映行业的技术发展趋势；四是打破传统的教材编写模式，树立以学生为主体的教学理念，力求教材编写有所创新，使教材易教易学，为师生所乐用。

电子类专业主要教材包括《模拟集成电路应用基础》《数字集成电路应用基础》《电子测量与仪器》《单片机原理与应用》《电子电路故障诊断及维修技术》《电子 CAD》《电视机原理与技能训练》《常用通信终端设备原理与技能训练》《摄录像机原理与技能训练》，可供高职院校、技师学院、高级技校电子类专业使用。教材的编写参照了相关的国家职业标准、技术标准。

在上述教材编写过程中，我们得到有关省市劳动保障部门、教育部门，以及高等职业院校、技师学院、高级技校的大力支持，在此表示衷心的感谢。同时，我们恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议，以便修订时加以完善。

劳动保障部教材办公室

简介

本书为全国高等职业技术学院电子类专业教材，供各类高职院校、技师学院、高级技校相关专业使用。主要内容有：半导体器件基础、双极型基本单元电路、MOS基本单元电路、模拟集成运算放大器及其应用、放大电路中的负反馈、集成功率放大器、信号产生和变换电路、电源电路等。

本书也可用于高级技术人才培养。

本书由诸林裕主编，骆富昌、朱国良参加编写；邵展图主审，孙大俊参加审稿。

目录

第一章 半导体器件基础	(1)
§ 1—1 二极管	(1)
§ 1—2 双极型晶体管	(6)
§ 1—3 场效应晶体管	(11)
§ 1—4 半导体光电器件	(14)
§ 1—5 集成化元件	(15)
第二章 双极型基本单元电路	(22)
§ 2—1 共发射极放大电路	(22)
§ 2—2 共集电极放大电路	(26)
§ 2—3 有源负载放大电路	(30)
§ 2—4 放大电路的频率特性	(31)
§ 2—5 多级直接耦合放大电路	(32)
§ 2—6 基本差动放大电路	(35)
§ 2—7 光电耦合放大电路	(41)
第三章 MOS 基本单元电路	(45)
§ 3—1 共源极放大电路	(45)
§ 3—2 共漏极放大电路	(47)
§ 3—3 MOS 有源负载放大电路	(49)
§ 3—4 MOS 差动放大电路	(50)
第四章 模拟集成运算放大器及其应用	(54)
§ 4—1 模拟集成电路的概念	(54)
§ 4—2 集成运算放大器的典型电路	(55)
§ 4—3 理想集成运算放大器	(57)
§ 4—4 集成运算放大器的线性应用	(61)
§ 4—5 集成运算放大器的非线性应用	(71)

§ 4—6 集成运算放大器实际使用中的一些问题	(75)
第五章 放大电路中的负反馈	(84)
§ 5—1 反馈的基本概念	(84)
§ 5—2 负反馈的四种类型	(86)
§ 5—3 负反馈对放大电路性能的影响	(91)
§ 5—4 负反馈放大电路的应用	(95)
第六章 集成功率放大器	(99)
§ 6—1 互补对称功率放大电路	(99)
§ 6—2 集成功率放大器	(104)
§ 6—3 集成功率放大器的应用	(106)
第七章 信号产生和变换电路	(116)
§ 7—1 LC 正弦波振荡电路	(116)
§ 7—2 RC 正弦波振荡电路	(120)
§ 7—3 石英晶体振荡电路	(122)
§ 7—4 非正弦波振荡电路	(125)
§ 7—5 信号变换电路	(129)
§ 7—6 555 集成多谐振荡器	(131)
第八章 电源电路	(137)
§ 8—1 直流稳压电源的组成	(137)
§ 8—2 单相整流电路	(137)
§ 8—3 滤波电路	(140)
§ 8—4 串联型稳压电源	(143)
§ 8—5 线性集成稳压电源	(146)
§ 8—6 集成开关型稳压电源	(149)
§ 8—7 不间断电源 (UPS)	(152)
§ 8—8 电源模块	(154)
实验一 晶体管特性测试	(158)
实验二 共发射极放大电路	(160)

实验三	集成运算放大器的测试·····	(161)
实验四	集成功率放大器的测试·····	(162)
实验五	矩形波发生电路·····	(164)
实验六	集成直流稳压电源·····	(164)

第一章

半导体器件基础

二极管、三极管、场效应管等是电子技术中最常用的器件。虽然分立元件电路在相当程度上正在被各种功能和用途的集成电路代替，但作为集成电路中最基本器件的二极管、三极管、场效应管的结构、工作原理、特性曲线、主要参数仍然相当重要。

§ 1—1 二 极 管

一、二极管的结构、符号、外形

1. 二极管的结构和符号

二极管实质就是一个 PN 结，从 P 区和 N 区各引出一条电极引线，然后再封装在管壳内，就制成了一个二极管，如图 1—1a 所示。

由 P 区引出的电极为二极管正极，N 区引出的电极为二极管负极，其图形符号如图 1—1b 所示。图形符号中的箭头指向为二极管正向电流的方向。

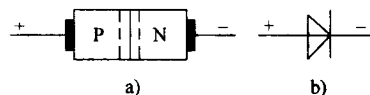


图 1—1 二极管的结构、符号
a) 结构 b) 符号

2. 二极管的外形

由于功能和用途的不同，二极管的封装、大小、外形也不同。小电流的二极管常用玻璃壳或塑料壳封装；电流较大的二极管工作时温度较高，常用金属外壳封装，且外壳就是一个极，并制成螺栓形，以便与散热器连成一体。几种常用的二极管的外形如图 1—2 所示。

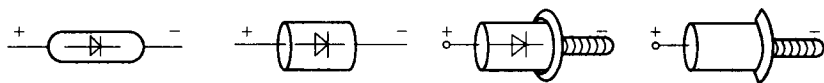


图 1—2 几种常用的二极管外形

二、二极管的伏安特性曲线

加在二极管两端的电压和二极管中的电流之间的关系曲线称为二极管的伏安特性曲线。二极管的伏安特性可分为正向特性和反向特性。

1. 正向特性

由实验测得的二极管伏安特性曲线如图 1—3 所示。

由曲线可见，在正向电压较小的时候，正向电流近似为零，此时，正向电压产生的外电场还不足以克服 PN 结内电场对多数载流子的扩散阻碍。只有当正向电压足够大时，正向电流才从零开始随电压增加按指数规律增大。

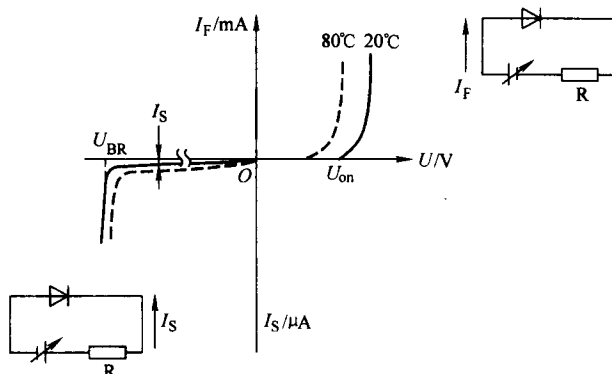


图 1—3 二极管伏安特性

图中 U_{on} 是二极管开始正向导通的电压，称为开启电压。硅管的开启电压约为 0.5 V、锗管约为 0.2 V。二极管的正向特性曲线起始部分比较弯曲，以后比较陡直。在比较陡直的部分，当二极管电流在一定范围内变化时，正向压降基本不变，硅管的正向压降约为 0.6 ~ 0.7 V、锗管约为 0.2 ~ 0.3 V。

2. 反向特性

由曲线可见，当二极管所加反向电压不超过一定范围时，反向电流 I_S 很小，且几乎不变，故 I_S 也称为反向饱和电流，小功率硅管的 I_S 约为几个微安，锗管的 I_S 约为几十微安。当反向电压增大到一定值时，反向电流会急剧增大，这种现象称为反向击穿，对应的电压称为反向击穿电压，用 U_{BR} 表示。不同型号二极管的反向击穿电压差别很大，从几伏到几千伏不等。

当二极管反向击穿时，如果外电路中有适当的限流电阻，把电流限制在二极管能承受的范围内，二极管不会损坏，否则就会因流过二极管的反向电流过大而导致热击穿，造成二极管永久损坏。

3. 温度对二极管伏安特性曲线的影响

环境温度升高时，二极管正向特性曲线左移。每升高 1°C ，曲线左移 2 ~ 2.5 mV。这表明：如果流过二极管的电流大小不变，则温度升高时，导通压降降低；如果外加正向电压不变，则温度升高时，正向电流增大。

在环境温度升高时，二极管反向特性曲线下移，反向饱和电流显著增加，反向击穿电压显著下降。环境温度每升高 10°C ，反向饱和电流增大约一倍。

三、二极管的主要参数

二极管的参数是选择使用二极管的依据。二极管的参数是厂家在规定的测试条件下测试的。在选用二极管时，可查阅晶体管手册（见附录 I 半导体二极管参数）。

二极管的主要参数如下：

1. 最大整流电流 I_F

二极管长期安全运行时，允许通过的最大正向平均电流称为额定工作电流，也叫最大整流电流，用 I_F 表示。它由 PN 结面积和散热条件决定，这个电流与二极管正向导通压降的乘积就是二极管的热损耗功率。使用时，在规定散热条件下的实际工作电流要低于 I_F 。

2. 最高反向工作电压 U_{RM}

二极管工作时, 允许外加的最高反向电压称为额定工作电压, 通常取击穿电压 U_{BR} 的一半, 以确保二极管安全工作。

3. 反向电流 I_R

二极管未被反向击穿时的电流称为反向电流, 用 I_R 表示, I_R 就是反向饱和电流 I_S 。

4. 最高工作频率 f_M

f_M 是保证二极管单向导电特性的最高频率。超过 f_M 时, 由于 PN 结的结电容的影响, 二极管的单向导电性会变差, 甚至失去单向导电性。

四、二极管的等效电路

1. 二极管的静态电阻和动态电阻

二极管在直流电压和直流电流下工作称为静态, 在其特性曲线上相应的点称为静态工作点 Q , 如图 1—4 所示。相应的 U_D 和 I_D 之比称为静态电阻 R_D (直流电阻)。

$$R_D = \tan \alpha = \frac{U_D}{I_D} \quad (1-1)$$

静态电阻 R_D 与工作点 Q 有关, 当工作点上移时, $\tan \alpha$ 减小, R_D 减小。

如果在 Q 点的基础上叠加一个比较小的交流信号电压, 那么二极管应该在 Q 点附近的一段特性曲线上工作, 如图 1—5 所示。此时, 电压变化量和电流变化量之比即为二极管的动态电阻 (交流电阻)。

$$r_d = \tan \beta = \frac{\Delta U_D}{\Delta I_D} \quad (1-2)$$

r_d 与工作点 Q 有关, 工作点 Q 向上移时, r_d 减小。

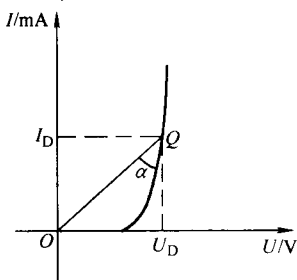


图 1—4 二极管静态电阻

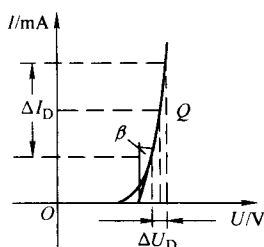


图 1—5 二极管的动态电阻

2. 二极管特性曲线的分段线性近似模型

二极管的伏安特性曲线表明二极管是一个非线性元件, 因此含有二极管的电路就是非线性电路。而在工程上, 常根据实际情况将二极管用线性元件构成的电路来近似等效, 以使电路分析简单。

1) 理想二极管

理想二极管的伏安特性如图 1—6a 所示。正向导通时, 二极管的导通压降为零, 反向偏置时电流为零。导通时, 二极管电流大小完全由外电路决定, 理想的二极管可等效成一个开关。

2) 恒压源模型

将二极管等效成理想二极管和一个电压为 U_m 的恒压源串联, 二极管正向导通时压降为

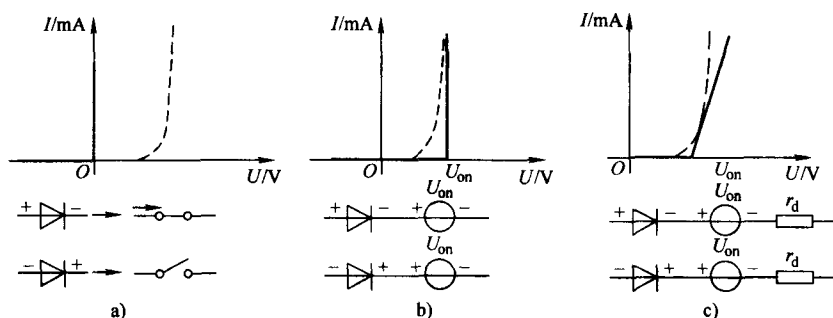


图 1—6 二极管伏安特性曲线的近似模型

a) 理想二极管 b) 恒压源模型 c) 折线近似模型

常数 U_{on} ，正向电压小于 U_{on} 和反偏时电流均为零。经近似处理后，不管二极管电流随负载在允许范围内如何变化，二极管的导通压降均为 U_{on} 。

3) 折线近似模型

将二极管等效成理想二极管、恒压源 U_{on} 和 r_d 的串联。当正向电压大于 U_{on} 时，电压和电流成线性关系，交流电阻 r_d 是常数。通过二极管的电流较大时，该模型能更准确地反映二极管的实际情况，二极管的正向压降为

$$u_D = U_{on} + I r_d \quad (1-3)$$

3. 二极管的微变等效电路

在二极管正向直流电压 U_D 的基础上叠加一个交流小信号电压 u_d ，只要工作点 Q 在特性曲线较为陡直的合适部分， u_d 足够小，小到 Q 点附近的特性曲线近似为直线，如图 1—7a 所示。这时电压变化 ΔU_D 可用 u_d 表示，电流变化量 ΔI_D 可用 i_d 表示， u_d 和 i_d 之间成线性关系，交流电阻 r_d 为常数，二极管微变等效电路如图 1—7b 所示。

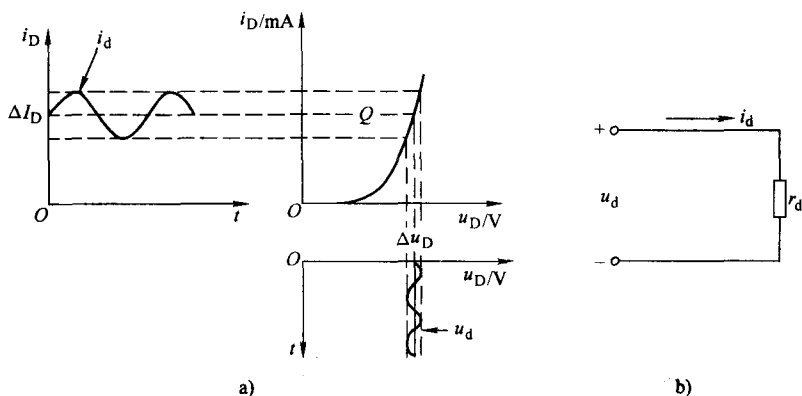


图 1—7 二极管微变等效电路

a) 波形图 b) 微变等效电路

二极管微变等效电路反映的是交流信号 u_d 和 i_d 之间的关系，这时二极管两端的电压为

$$u_D = U_D + u_d \quad (1-4)$$

二极管电流为

$$i_D = I_D + i_d \quad (1-5)$$

例 1—1 二极管电路如图 1—8a 所示, $R = 1 \text{ k}\Omega$, $U_s = 1.5 \text{ V}$, 试求下列情况下二极管中的电流 I 。

(1) 理想二极管; (2) 二极管为恒压源; (3) 实际二极管 (其伏安特性如图 1—8d 所示)。

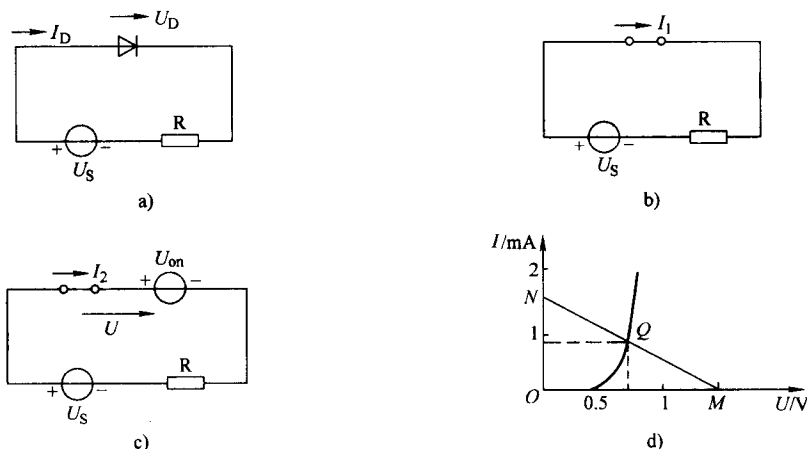


图 1—8 例 1—1 图

解:

(1) 二极管为理想二极管时, 等效电路如图 1—8b 所示。

$$I_1 = \frac{U_s}{R} = \frac{1.5}{1 \times 10^3} = 1.5 \text{ mA}$$

(2) 二极管为恒压源时, 等效电路如图 1—8c 所示。

$$I_2 = \frac{U_s - U_{on}}{R} = \frac{1.5 - 0.7}{1 \times 10^3} = 0.8 \text{ mA}$$

(3) 实际二极管是非线性的, 其伏安特性曲线如图 1—8d 所示。图 1—8c 中 U_s 和 R 组成的下半部分电路是线性的, 根据一段含源电路的欧姆定律 $U = U_s - IR$, 此式表明 U 和 I 之间关系为一条直线, 此直线的 M 点在 $U = U_s = 1.5 \text{ V}$ 处, N 点在 $I = U_s/R = 1.5 \text{ mA}$ 处, 此直线和二极管伏安特性的交点为 Q , Q 点对应的电流 $I = 0.8 \text{ mA}$, 电压为 $U = 0.7 \text{ V}$ 。

例 1—2 已知电路如图 1—9 所示, V_A 和 V_B 为硅二极管, 求下列两种情况下的输出电压 U_F :

(1) $U_A = U_B = 3 \text{ V}$;

(2) $U_A = 3 \text{ V}$, $U_B = 0 \text{ V}$ 。

解:

(1) 当输入对地电压 $U_A = U_B = 3 \text{ V}$ 时, V_A 和 V_B 两管两端获得同样大小的正偏电压而同时导通, 设导通时压降为 0.7 V , 则有

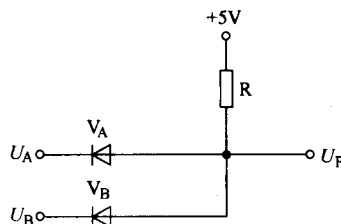


图 1—9 例 1—2 图

$$U_F = 3 + 0.7 = 3.7 \text{ V}$$

(2) 当 $U_A = 3\text{ V}$ 、 $U_B = 0\text{ V}$ 时, V_B 管上获得的正向偏置电压高, 所以 V_B 管优先导通, 使 U_F 钳制在 0.7 V , 这时 V_B 管起钳位作用, V_A 管起隔离作用。

§ 1—2 双极型晶体管

一、双极型晶体管的结构、符号、外形

1. 双极型晶体管的结构和符号

双极型晶体管也简称三极管, 它是在 N 型 (或 P 型) 硅 (或锗) 基片上, 通过一定的工艺制作出两个 PN 结, 构成三层半导体, 在三层半导体上, 各引出一条引线作为三个电极, 分别称为发射极 e、基极 b、集电极 c, 对应的三个区分别称为发射区、基区、集电区, 相应的 PN 结称为发射结、集电结。用平面工艺制成的 NPN 型三极管的结构及示意图如图 1—10a 和图 1—10b 所示, PNP 型三极管的结构与 NPN 型三极管结构相似。它们的符号如图 1—10c 所示。

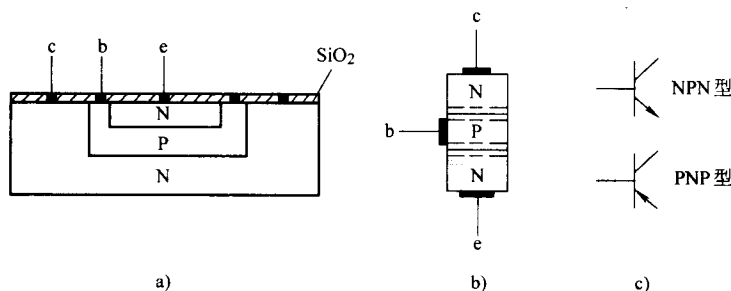


图 1—10 三极管的结构、符号

a) NPN 型结构 b) NPN 型管示意图 c) 三极管图形符号

三极管的结构具有以下特点:

- 1) 发射区掺杂浓度最高。
- 2) 基区很薄 (几微米到几十微米), 掺杂浓度低。
- 3) 集电区掺杂浓度比发射区低, 结面积大。

由于三极管在结构上具有上述特点, 因而它在一定的外部条件下, 具有电流放大作用。又由于三极管在工作时两种载流子 (电子和空穴) 均参与导电, 故又称为双极型晶体三极管。

2. 三极管的外形

由于用途不同 (主要是功率大小的不同), 三极管的体积和封装形式也不同。中小功率的三极管多采用金属外壳封装; 大功率三极管也采用金属外壳封装, 但集电极接外壳, 外部看起来只有两只管脚。常见的三极管外形如图 1—11 所示。

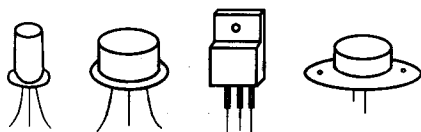


图 1—11 几种常见的三极管外形

二、三极管的工作状态

由于三极管有两个 PN 结、三个电极，根据三极管的连接方式，三极管组成的电路可以分为共发射极、共集电极、共基极三种接法。无论采用哪一种接法，其工作原理都相同，下面以 NPN 型共发射极接法为例来分析三极管的工作状态。

三极管的工作状态有放大、饱和、截止三种。

1. 放大状态

1) 放大状态时的工作电压、电流分配关系

三极管处于放大状态的外部条件是发射结加正偏电压，集电结加反偏电压，由于有 NPN 型和 PNP 型之别，外加电压的极性也不同，如图 1—12 所示。

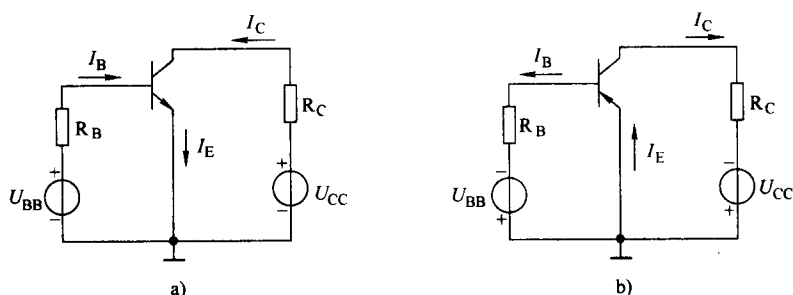


图 1—12 三极管的工作电压

a) NPN 型工作电压 b) PNP 型工作电压

由基尔霍夫定律可知，将三极管用一假想的封闭曲面包围起来，则有

$$I_E = I_B + I_C \quad (1-6)$$

2) 三极管的共发射极电流放大系数

三极管共发射极电路的直流电流放大系数用 $\bar{\beta}$ 表示

$$\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} \quad (1-7)$$

交流电流放大系数用 β 表示

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad (1-8)$$

β 值的大小反映了三极管的电流放大能力，通常 β 在 80 ~ 100 之间较为合适，质量好的三极管 $\bar{\beta}$ 和 β 基本一致，一般采用 β 。

2. 饱和状态

三极管处于饱和状态的外部条件是发射结加正偏电压，集电结也加正偏电压，此时 $U_{CE} < U_{BE}$ ， U_{CE} 减小到接近为零，集电极电流 $I_C \approx U_{CC}/R_C$ 已达到了最大值，即使 I_B 再增大， I_C 也基本保持不变。处于饱和状态的三极管 c、e 间相当于开关接通。

3. 截止状态

三极管处于截止状态的外部条件是发射结加反偏电压，集电结也加反偏电压。此时三极管的两个 PN 结都是反向偏置， $I_B = 0$ ， $I_C = 0$ ，处于截止状态的三极管 c、e 间相当于开关断开。在模拟电路中三极管主要工作在放大状态，对连续变化的模拟信号进行放大。在数字电路中三极管交替工作在截止和饱和状态，起开关的作用。

三、三极管的共发射极的特性曲线

三极管的特性曲线是描述三极管各极电压和电流之间的关系曲线，三极管的一些重要特性大多可以从特性曲线上反映出来。三极管的特性曲线可直接用特性图示仪观察，也可以通过图 1—13 所示的实验电路来测得。

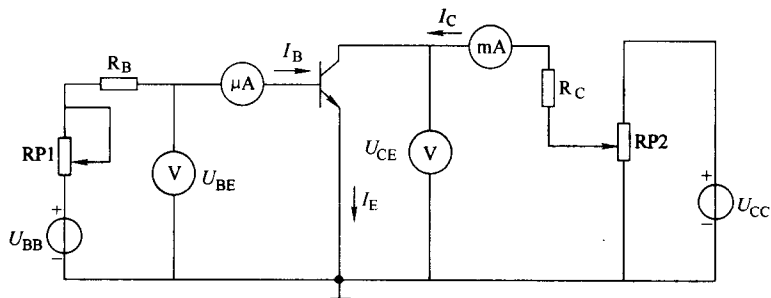


图 1—13 三极管特性曲线实验电路

1. 输入特性曲线

输入特性曲线是指 U_{CE} 保持一定时， U_{BE} 与 I_B 之间的关系曲线。

当 $U_{CE} = 0 \text{ V}$ 时，相当于集电极—发射极之间短路，调节 RP1 测得一条输入特性曲线 a 如图 1—14a 所示。

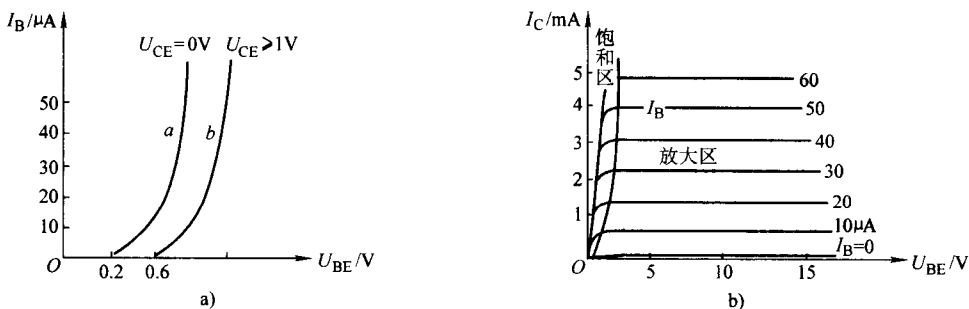


图 1—14 三极管特性曲线

a) 输入特性曲线 b) 输出特性曲线

当 $U_{CE} = 1 \text{ V}$ 时，重复上述实验测得输入特性曲线 b ，它相对于曲线 a 右移了一段距离。

当 $U_{CE} > 1 \text{ V}$ 时，曲线右移距离很小，可视为和 $U_{CE} = 1 \text{ V}$ 时的特性曲线 b 重合。在实际的放大电路中 U_{CE} 总是大于 1 V 的，在分析放大电路时，只需画 $U_{CE} = 1 \text{ V}$ 时的输入特性曲线，它代表了 $U_{CE} > 1 \text{ V}$ 时的所有输入特性曲线。

由三极管输入特性曲线可知，其形状和二极管正向伏安特性曲线相似，也有一段死区。硅管死区电压约 0.5 V ，锗管死区电压约 0.2 V 。

2. 输出特性曲线

输出特性曲线是指三极管基极电流 I_B 一定时， I_C 与 U_{CE} 之间的关系曲线。对每一个确定的 I_B 都有一条输出特性曲线相对应。因此输出特性曲线是一簇，如图 1—14b 所示。

从输出特性曲线可以看出：每条曲线都有上升、弯曲及平直部分。上升部分很陡，几乎重合在一起， I_B 随 U_{CE} 增加迅速增大，它对应着饱和区。跟 $I_B = 0$ 相对应的输入特性曲线，

I_C 很小, 可以忽略, 它对应着截止区。曲线的平直部分几乎和横轴平行, 当 I_B 等值增加时, 曲线等间距上移, 这表明 I_C 决定于 I_B (受 I_B 控制), 与 U_{CE} 几乎无关, 具有恒流源的特性。

四、三极管的主要参数

三极管的特性除了用特性曲线来描述外, 还可以用它的有关参数表示。这些参数反映了三极管性能及其适用范围, 是选用三极管的依据。

1. 共发射极电流放大系数

直流电流放大系数 $\bar{\beta}$ 和交流电流放大系数 β 如前所述, 在手册中 $\bar{\beta}$ 常用 h_{FE} 表示, β 常用 h_{fe} 表示。

2. 极间反向电流

1) 集电极—基极反向饱和电流 I_{CBO}

指发射极开路时, 在集电极—基极之间加规定的反向电压时的反向电流。常温下小功率硅管的 I_{CBO} 在 $1\ \mu A$ 以下, 锗管的 I_{CBO} 在 $10\ \mu A$ 左右。

2) 集电极—发射极反向饱和电流 I_{CEO}

指基极开路时, 在集电极—发射极之间加规定的反向电压时的反向电流, 也称穿透电流。

I_{CBO} 和 I_{CEO} 之间的关系为

$$I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO} \quad (1-9)$$

温度升高时, I_{CBO} 增加很快, 会导致三极管性能变坏。

I_{CBO} 和 I_{CEO} 都是衡量三极管质量的重要参数, 其值越小越好。

3. 极限参数

1) 集电极最大允许电流 I_{CM}

集电极电流在一定范围内变化时, β 基本不变, 但 I_C 增大到一定程度时, β 会下降。一般将 β 下降到其最大值的 $2/3$ 时的集电极电流定为 I_{CM} 。使用时要求 $I_C < I_{CM}$ 。虽然 I_C 超过 I_{CM} 时, 三极管不一定损坏, 但 β 下降太多会导致放大性能变坏。

2) 集电极最大允许耗散功率 P_{CM}

指三极管集电结上允许的最大功率损耗, P_{CM} 和 I_C 、 U_{CE} 的关系是

$$P_{CM} \geq I_C U_{CE} \quad (1-10)$$

集电极电流 I_C 流过集电结消耗的功率转变为热量使三极管温度升高。根据三极管允许的最高温度和规定的散热条件来确定 P_{CM} , 超过 P_{CM} 时, 三极管会损坏。

3) 集电极—发射极反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}$

指基极开路时, 在集电极—发射极之间允许加的最高反向工作电压。当 $U_{CE} > U_{(BR)CEO}$ 时, I_C 急剧上升, 造成集电结反向击穿, $U_{(BR)CEO}$ 常用作选取三极管电源电压的依据。

4. 三极管的频率参数

1) 截止频率 f_β

频率升高时, PN 结结电容的影响会使放大系数 β 下降, 将电流放大系数下降至低频电流放大系数的 0.707 倍时的信号频率定为共发射极电流放大系数 β 的截止频率。

2) 特征频率 f_T