

# 模电作业

2021251124 古翱翔

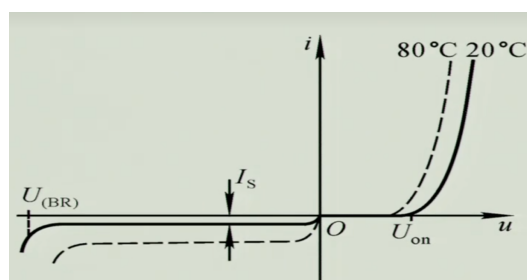
2023 年 6 月 21 日

## 目 录

## 1 半导体器件

P3N5(3p) (穴电), PN 结多子扩散形成电流,

### 1.1 二极管



击穿电压:  $U_{BR}$ , 开启电压:  $U_{on}$ , 反向电流:  $I_s$ , 最高频率  $f_m$ 。温度升高, 左下。

#### 1.1.1 等效电路

我们需要知道等效电路是什么样子的, 用非线性用线性表示出来。有两种, 一种是外特性的等效, 一种是模型原理上的等效。伏安特性折线化

**定理 1.1** (二极管电流方程).

$$i = I_s(e^{\frac{u}{U_T}} - 1)$$

可以等效成理想, 考虑压降, 考虑压降和线性斜率, 微变等效电路。

对于微变等效电路, 已正向导通, 有

$$I = I_s e^{\frac{U}{U_T}} \quad (2.1)$$

## 1.1.2 怎么计算工作状态

只有一个 断开算两端电压

两个或者多个

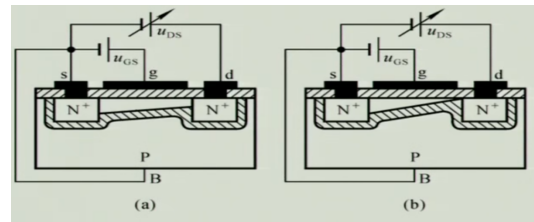
共阴阴只有一个可以正常工作，可以看谁不共的大或者使用假设法。

稳压二极管

工作在击穿区？

其他 SI 0.7, GE 0.2

始倾斜,  $U_{ds}$  增大, 沟道越来越倾斜,  $i_D$  增大, 但是增大的速度越来越慢, 最后趋于饱和。



## 1.2 双极型晶体管

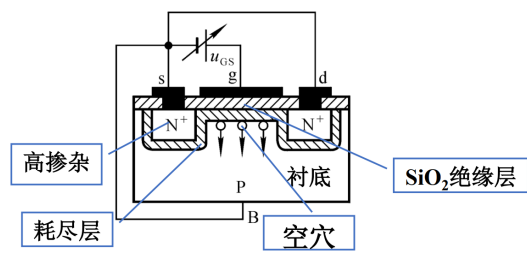
## 1.2.1 晶体管的主要参数

极限参数有最大允许功耗, 集电极最大允许电流  $I_{CM}$ , 反向击穿电压  $U_{(BR)CEO}$

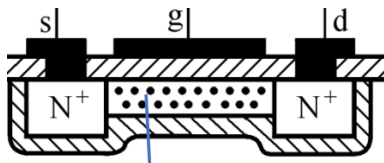
## 1.3 单极型晶体管 FET

低功耗, 噪声小, 体积小, 抗辐照性强, 只有多子 参与导电, 压控。分为结型 (JET) 和绝缘栅型 (MOS 管)。

## 1.3.1 N 沟道增强型绝缘栅型 MOS 管

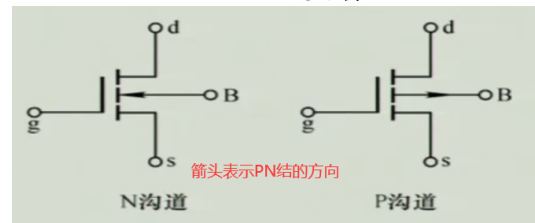
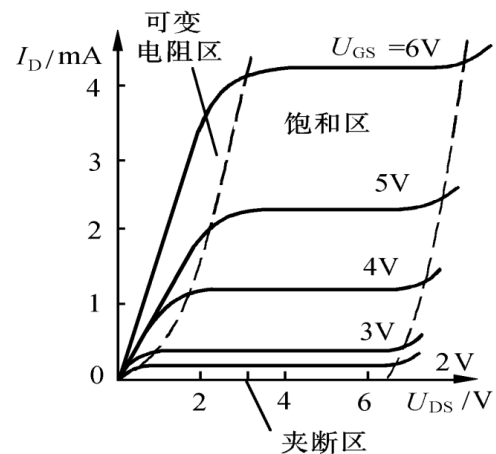


g 栅极, S 源极, d 漏极, 分别对应三极管的 (b,e,c),  $U_{GS}$  增大到一定程度, 再继续增大, 导电沟道将变厚, ds 之间电阻 变小。



此时如果要出现电流, 那我们只需要在 ds 两端加一个电压  $U_{ds}$  就行, 此时固定 USG, 研究  $U_{ds}$  对  $i_D$  的影响, gs 电位差变小, 沟道开

当  $U_{GS} - U_{DS} = U_{GS(th)}$  成为预夹断, 再增加电阻增大, 之后近似恒流。



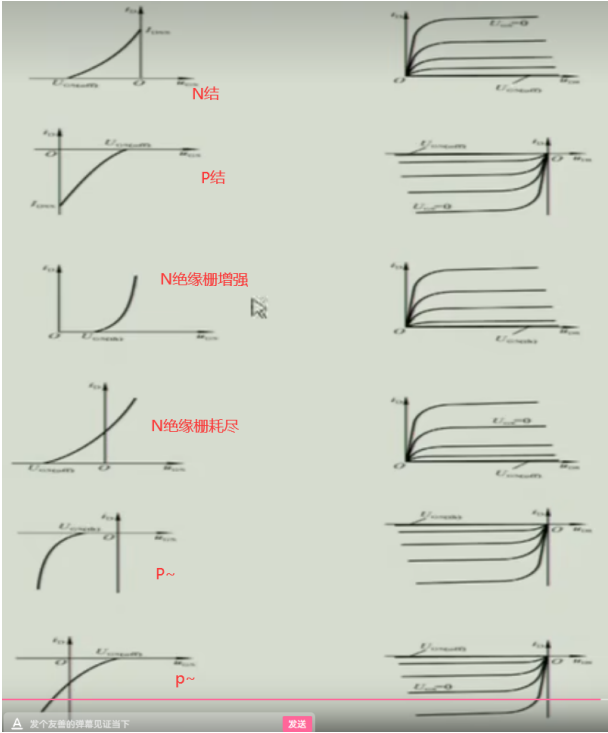
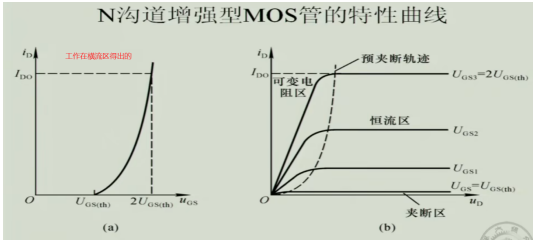
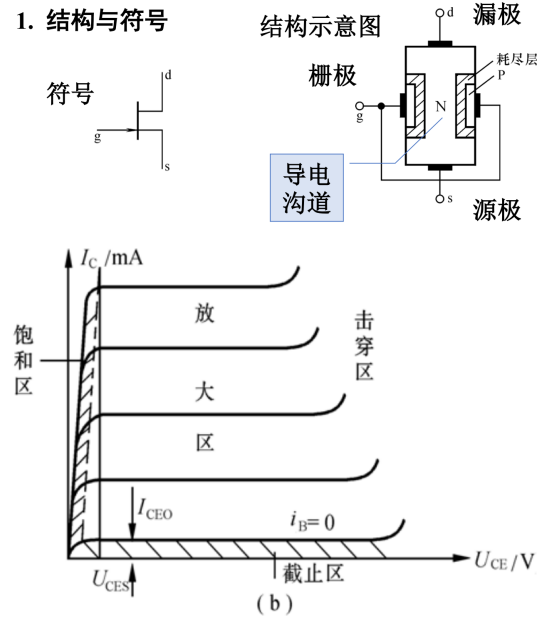
他本身没有沟道, 那能不能让他一开始就有沟道?

N 沟道耗尽型 MOS 管

## 1.3.2 N 沟道耗尽型绝缘栅型 MOS 管

天生有沟道, 有一个参数叫做  $U_{GS(off)}$ , 称作夹断电压。

1.3.3 N 沟道结型场效应管



天生有沟道，加反压使其夹断，是真夹断。

其中漏极电流和  $gs$  之间电流方程为（对应上图曲线）

$$i_D = I_{D0} \left( \frac{u_{GS}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2 \quad (2.1.a)$$

$$i_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}} \right)^2 \quad (2.1.b)$$

其中  $I_{DSS}$  为  $U_{GS} = 0$  时的漏极电流，其中  $I_{D0}$  为  $U_{GS} = 2U_{GS(th)}$  时的漏极电流.(2.1.a) 是对 N 沟道绝缘栅型增强 (MOS) 管，(2.1.b) 是对 N 沟道结型 (JET) 管。直流参数

$$U_{GS(th)}, U_{GS(off)}, I_{DSS}, R_{GS(DC)}$$

漏极，源极和栅极。有转移和输出特性曲线。

交流参数 跨导  $g_m$

1.4 场效应管的特性曲线和参数

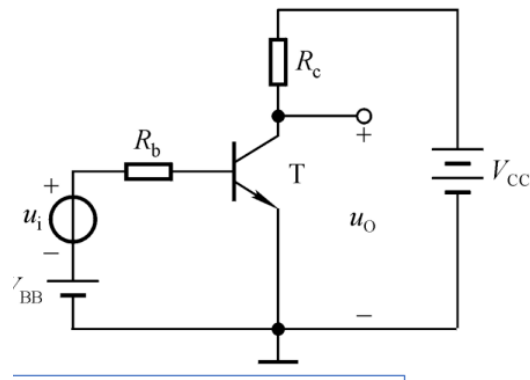
2 基本放大电路

- 第一讲 放大电路的组成及工作原理
- 第二讲 放大电路的分析方法
- 第三讲 工作点稳定电路
- 第四讲 放大电路的三种组态及其性能比较
- 第五讲 场效应管基本放大电路
- 第六讲 差动放大电路

是功率放大，本质上还是能量控制和放大，必要条件是要有有源元件，前提是不失真，用正弦波测试。

2.1 怎样构建（基本放大电路）

我们只有一个小功率信号，元件，电源。让晶体管工作在放大区，小信号需要控制  $i_B$ ，实际上是控制  $U_{BE}$ 。



- 首先是正反偏，然后输入加入电阻保护，加上输出电阻输出电压。
- $V_{BB}$  抬高小信号电压，使三极管发射结正偏。
- $V_C$  使得三极管集电结反偏。
- $R_b$  保护。
- $R_c$  使得输出电压。
- $u_i$  输入电压

静态工作点 Q

$u_i = 0$  的时候，此时各个参数的表示为  $I_{BQ}, I_{CQ}, U_{BEQ}, U_{CEQ}$ 。

静态工作点的必要性

因为要解决失真问题，使三极管工作在线性区，使信号不失真。

对于共射放大电路，负载上无直流份量，也可以在输入或者输出加上耦合电容来隔离直流，通过交流，叫做阻容耦合电路。我们按

照过程（电容耦合下），有如下

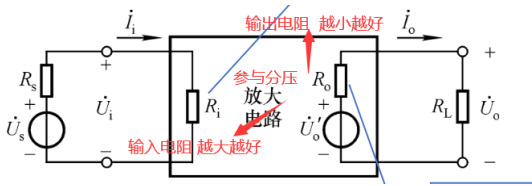
$$u_{BE} = u_i \tag{3.1.a}$$

$$i_B = \frac{u_{CC} - u_{BE}}{R_B} \tag{3.1.b}$$

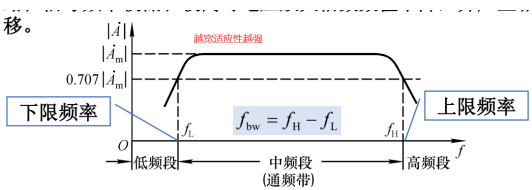
$$i_C = \beta i_B \tag{3.1.c}$$

$$u_{CE} + R_C i_C = u_{CC} \tag{3.1.d}$$

2.1.1 性能参数



任何一个放大电路都可以看作是一个二端口网路，定义放大倍数为输入和输出量之比，但是电压放大倍数  $A_{um}$  是最常被研究的通频带



定义 2.1 (非线性失真系数).

$$D = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{\infty} U_{i+1}^2}}{U_1}$$

最大输出功率  $p_{om}$ ，电源效率为  $\eta = \frac{p_{om}}{p_v}$

2.1.2 直流通路和交流通路

直流通路  $U_S = 0$ ，保留  $R_s$  电，容开路，电感短路。用于研究静态工作点

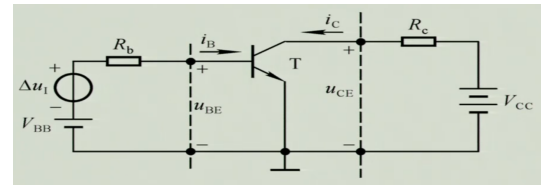
交流通路 直流电源短路 (如  $V_{CC}$ )，大容量电容短路。用于动态参数研究

先静后动。静态有计算和图解，动态有图解和微变等效。

2.2 静态分析方法

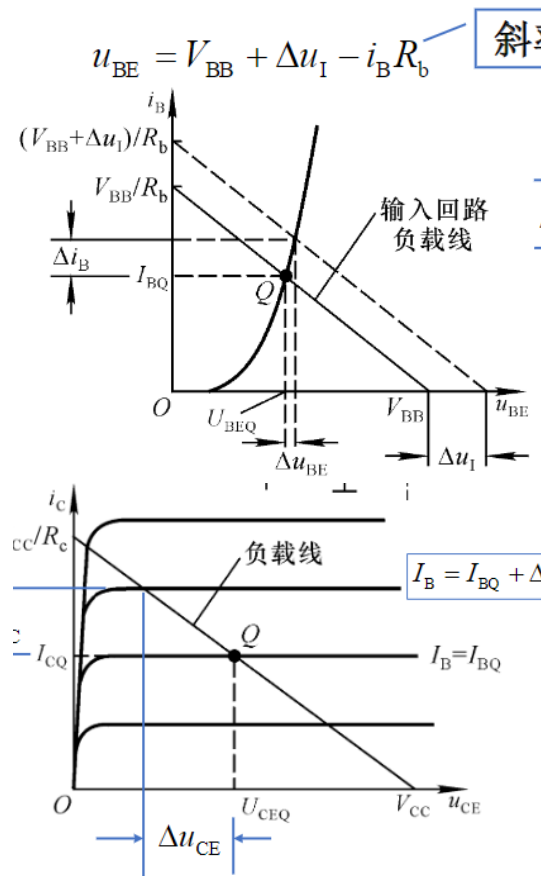
2.2.1 图解法

在三极管的输入和输出曲线上，画出外部的工作线。



$$i_b = \frac{V_{BB} - U_{BE}}{R_b} \tag{3.1.a}$$
$$i_c = \frac{V_{CC} - U_{CE}}{R_c} \tag{3.1.b}$$

(3.1.a) 是针对输入曲线, (3.1.b) 针对输出曲线。  
纵坐标是  $\frac{V_{CC}}{R_c}$ , 横坐标是  $V_{CC}$ , 对于放大倍数, 有如下:



2.2.2 图解最大不失真电压以及直流交流负载线

| 名称   | 斜率                      | 其他     |
|------|-------------------------|--------|
| 直流负载 | $-\frac{1}{R_c}$        | 交于 $Q$ |
| 交流负载 | $-\frac{1}{R_c // R_L}$ |        |

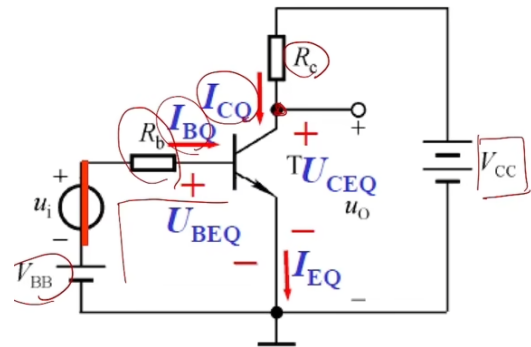
表 1

2.2.3 电位分析法

一个一个地写起来, 使用基尔霍夫电压定律。

2.2.4 估算法

本质是两个直线相交。利用  $U_{BEQ}=0.7V$



$$V_{BB} = R_b I_{BQ} + 0.7 \tag{3.2.a}$$
$$I_{BQ} : I_{CQ} : I_{EQ} = 1 : \beta : 1 + \beta \tag{3.2.b}$$

2.2.5 等效电路

先找 Q 点, 再找  $r_{be} = r_{bb} + (H\beta) \frac{U_T}{I_{EQ}}$

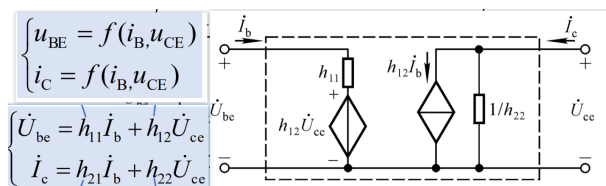
2.3 动态分析

2.4 h 参数等效电路

中低频, 小信号。

## 2.4.1 三极管的等效模型

三极管可以简化成一个 h 参数微变等效模型



$$U_{be} = I_b(r_{bb'}) + I_e(r_{b'e})$$

$$r_{be} = \frac{U_{be}}{I_b} = r_{bb'} + r_{b'e}$$

$$= r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{U_T}{I_{EQ}(\text{mA})}$$

$$= r_{bb'} + \frac{U_T}{I_{BQ}}$$

## 2.4.2 直接接法

并且一般的来说有如下

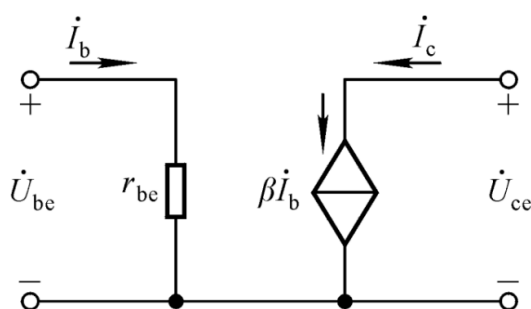
$$h_{11} = r_{be} \approx 0 \quad (3.3.a)$$

$$h_{12} = \frac{\Delta_{BE}}{\Delta_{CE}} \quad (3.3.b)$$

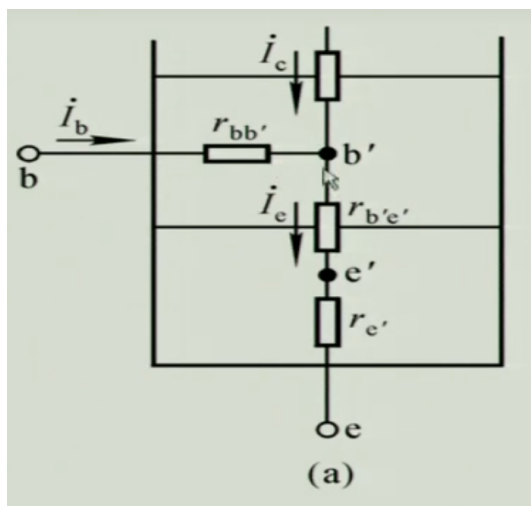
$$h_{21} = \beta \approx \infty \quad (3.3.c)$$

$$h_{22} = \frac{1}{r_{ce}} \quad (3.3.d)$$

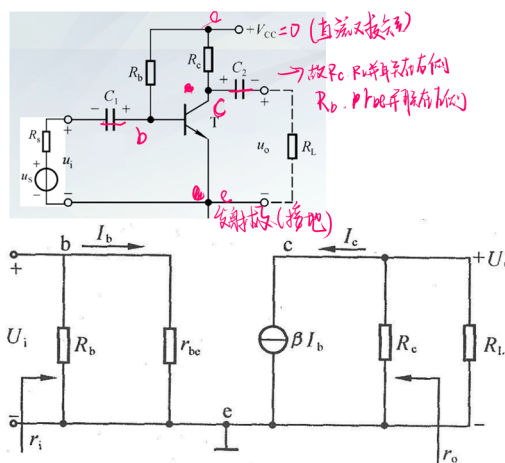
继续简化就可以得到



并且有  $r_{bb'}$  为基区体电阻,  $r_{b'e}$  为发射结微分电阻,  $r_{ce}$  为集电结微分电阻,  $U_T = 26(\text{mV})$ 。



之前等效的左 b 右 c 下 e。VCC 对交流短路, 所以可直接当接地。具体如下图



下面计算一些常用参数

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{-i_c R_o}{i_b r_{be}} = -\frac{\beta R_o}{r_{be}} \quad (3.4.a)$$

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = R_b // r_{be} \quad (3.4.b)$$

$$R_o = \frac{U_o}{I_o} = R_c // R_L \approx R_c \quad (3.4.c)$$

$$r_{be} = r_{bb'} + \frac{U_T}{I_{BQ}} \quad (3.4.d)$$

$$A_f \approx \beta \frac{R'_L}{R_L} \quad (1)$$

## 2.4.3 失真分析

## 2.5 放大电路 Q 点的稳定性

温度, 电源波动, 元器件老化都会引起 Q 点波动。会失真, 截至失真, 饱和失真。

### 2.5.1 如何稳定

所谓 Q 点稳定, 是指  $I_{CQ}$  和  $U_{CEQ}$  在温度变化时基本不变, 这是靠  $I_{BQ}$  的变化得来的 (加了反馈电阻  $R_e$ )。

