

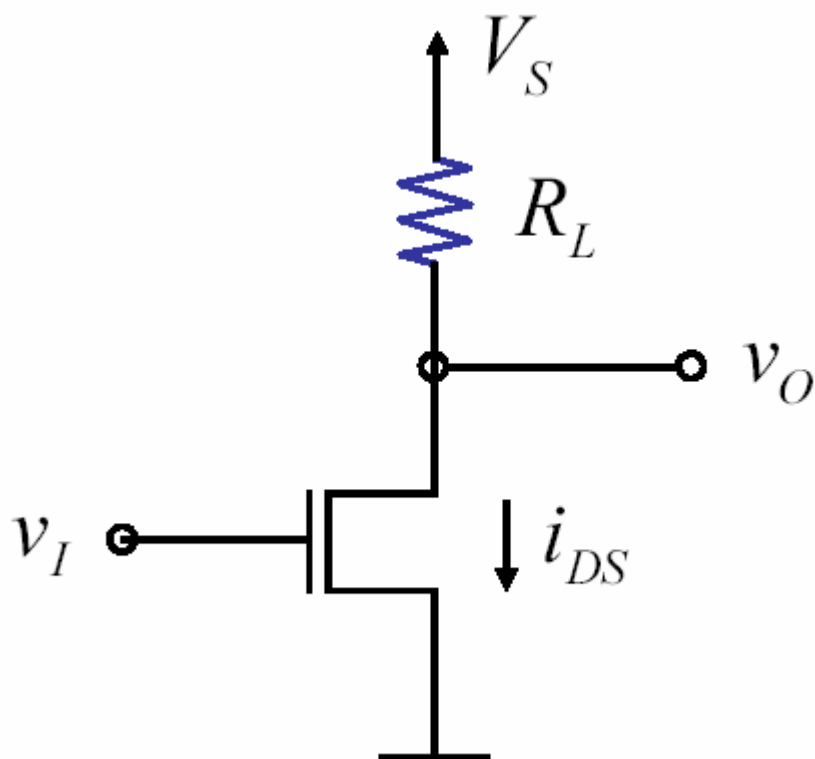
6.002

电路与  
电子学

## 放大器--- 小信号模型

## 复 习

### ■场效应管放大器



■饱和定律 — 金属氧化物半导体场效应晶体管只工作在饱和区

### ■大信号分析

1. 找出在饱和区内  $v_O$  和  $v_I$  之间的关系
2. 饱和区之内有效的  $v_O$ 、 $v_I$  范围

阅读：小信号模型——第 8 章

## 大信号复习

①  $v_O$  和  $v_I$

$$v_O = V_S - \frac{K}{2}(v_I - 1)^2 R_L$$

在  $v_I \geq V_T$

且

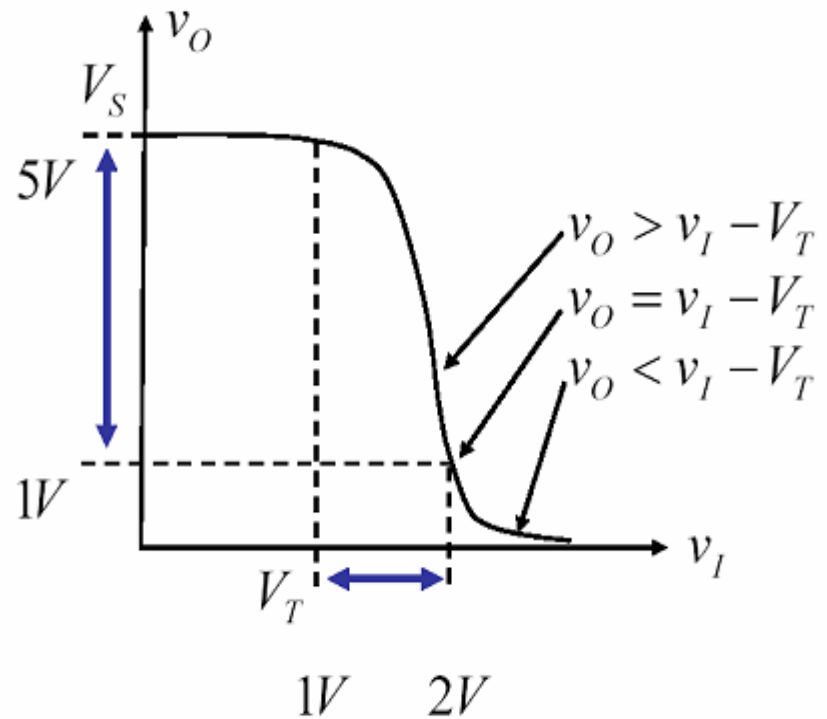
$v_O \geq v_I - V_T$  时有效

(同样  $i_{DS} \leq \frac{K}{2} v_O^2$ )

# 大信号复习

## ② 有效的工作范围

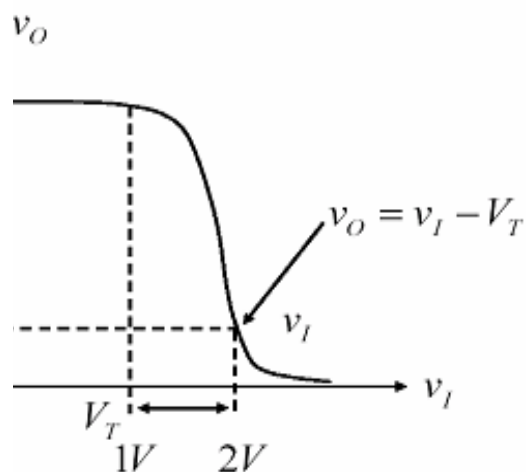
相应的  
 $v_o$  有效  
的区域



$v_i$ 有效区域。

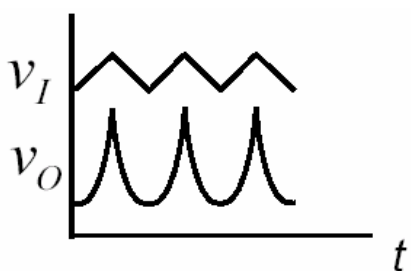
满足饱和定律

但...



演  
示

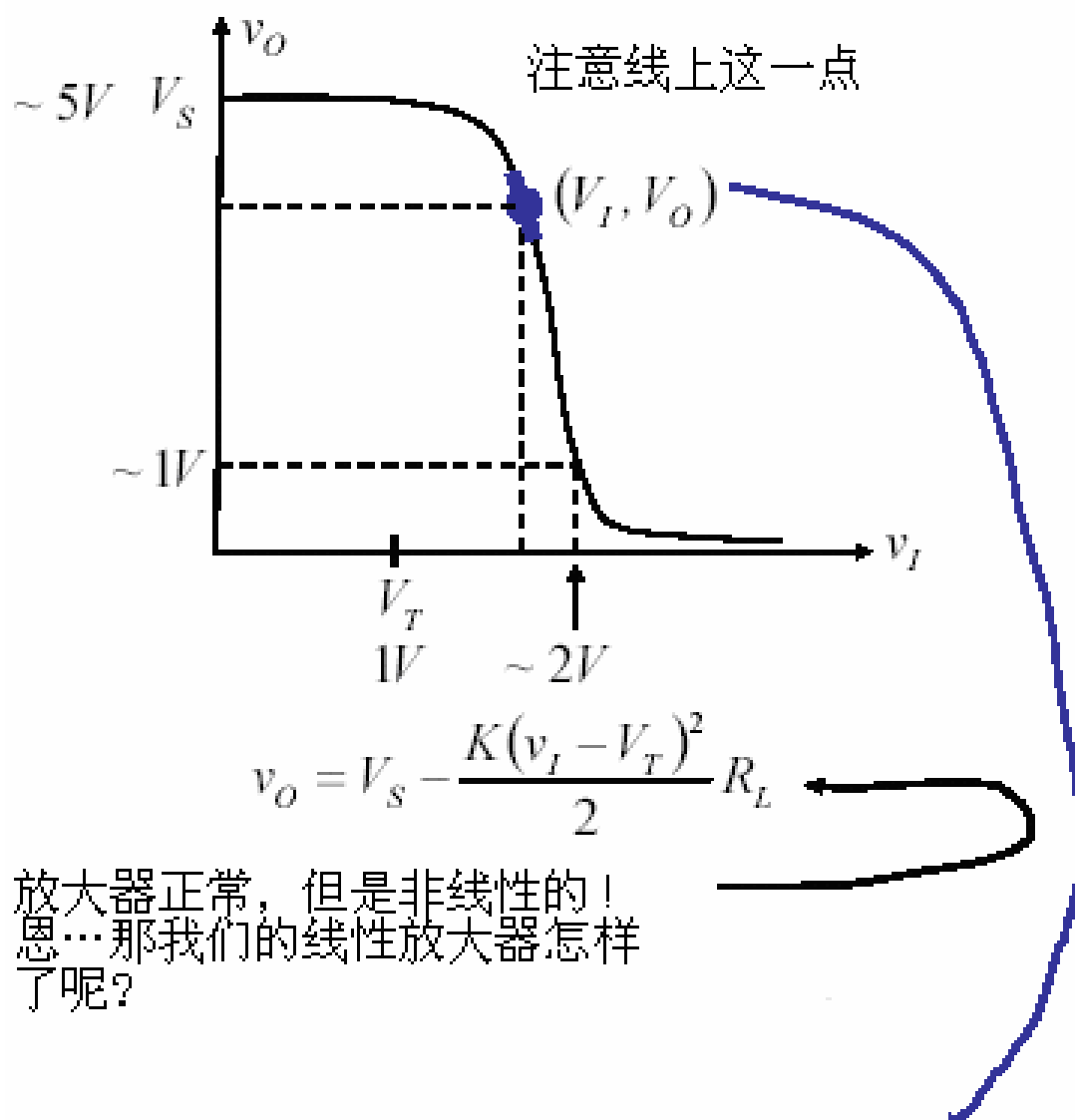
放大器正常，但是波形失真了



放大器是非线性的...



## 小信号模型

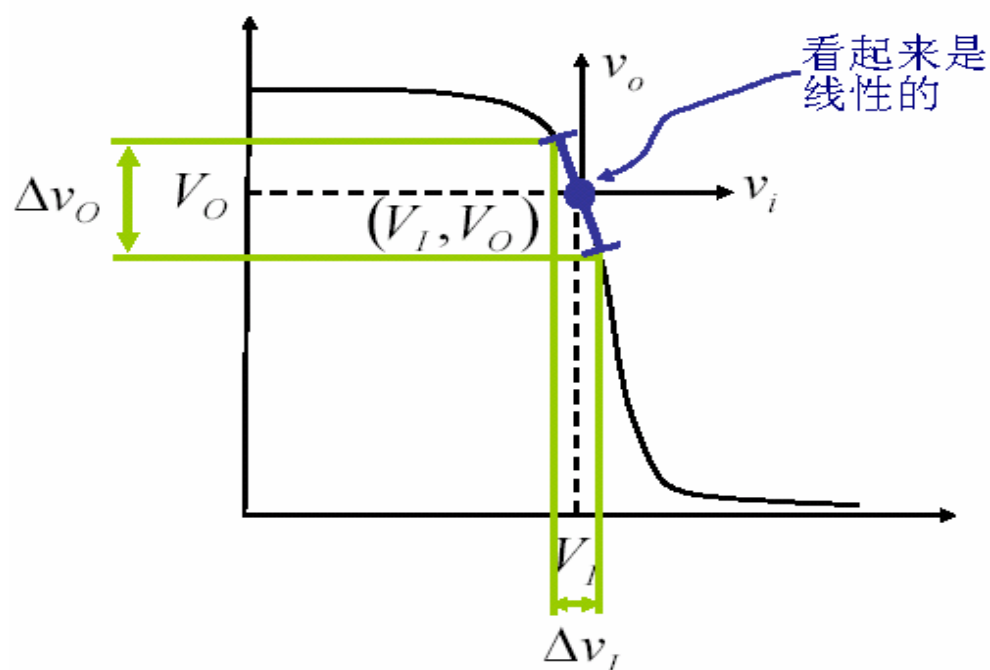


注意：

但是，观察  $V_O$  和  $V_I$  上某些点 ( $V_O$ ,  $V_I$ )

… 看起来很像线性的！

## 技巧



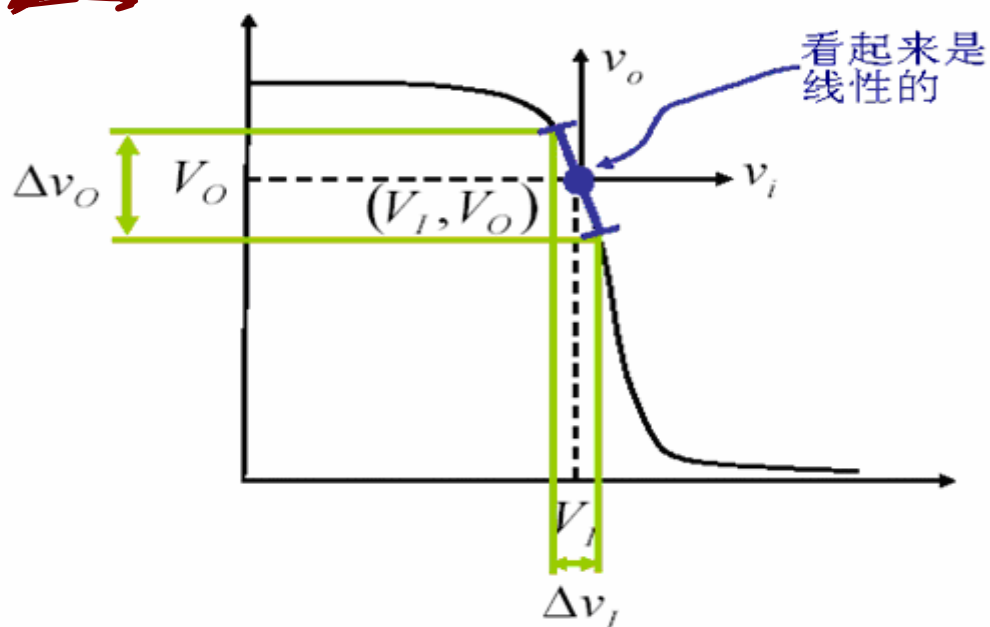
❖ 放大器工作在  $V_I$ - $V_O$  曲线上

→ 直流“偏压”（最好选在：输入工作范围的中点）

❖ 在  $V_I$  上添加小信号

❖ 对这个小信号的响应看起来是近乎线性的

## 技巧



❖ 放大器工作在  $V_I$ - $V_O$  曲线上

→ 直流“偏压”（好的选择：输入工作范围的中点）

❖ 在  $V_I$  上添加小信号

❖ 对这个小信号的响应看起来是近乎线性的

让我们更细致地看这个问题 —

I 图解法

II 数学分析法

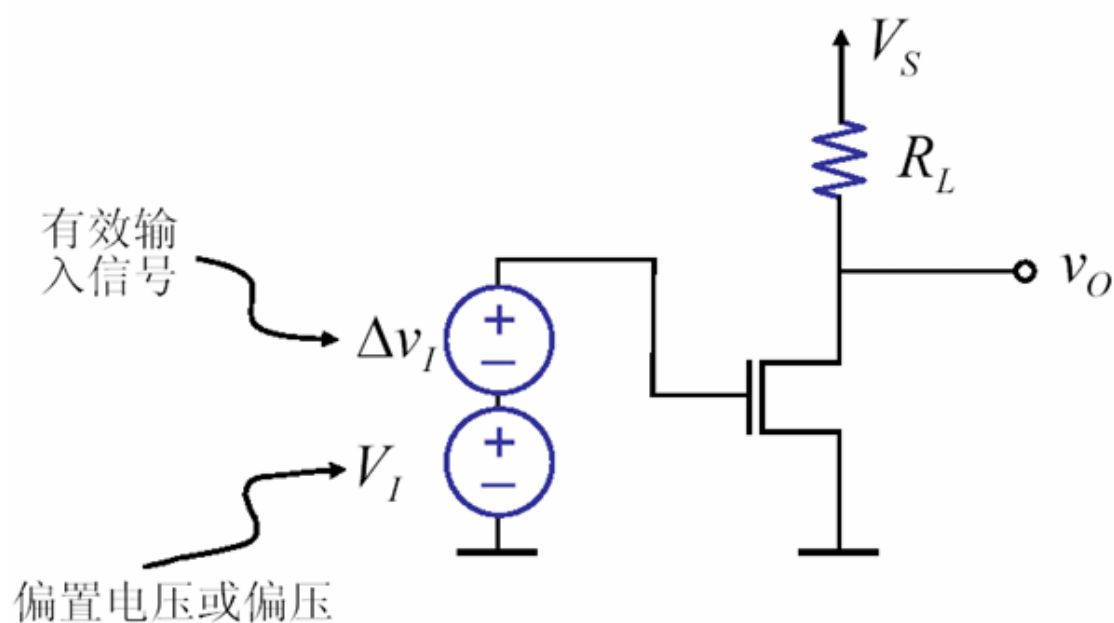
III 从电路观点看

下周

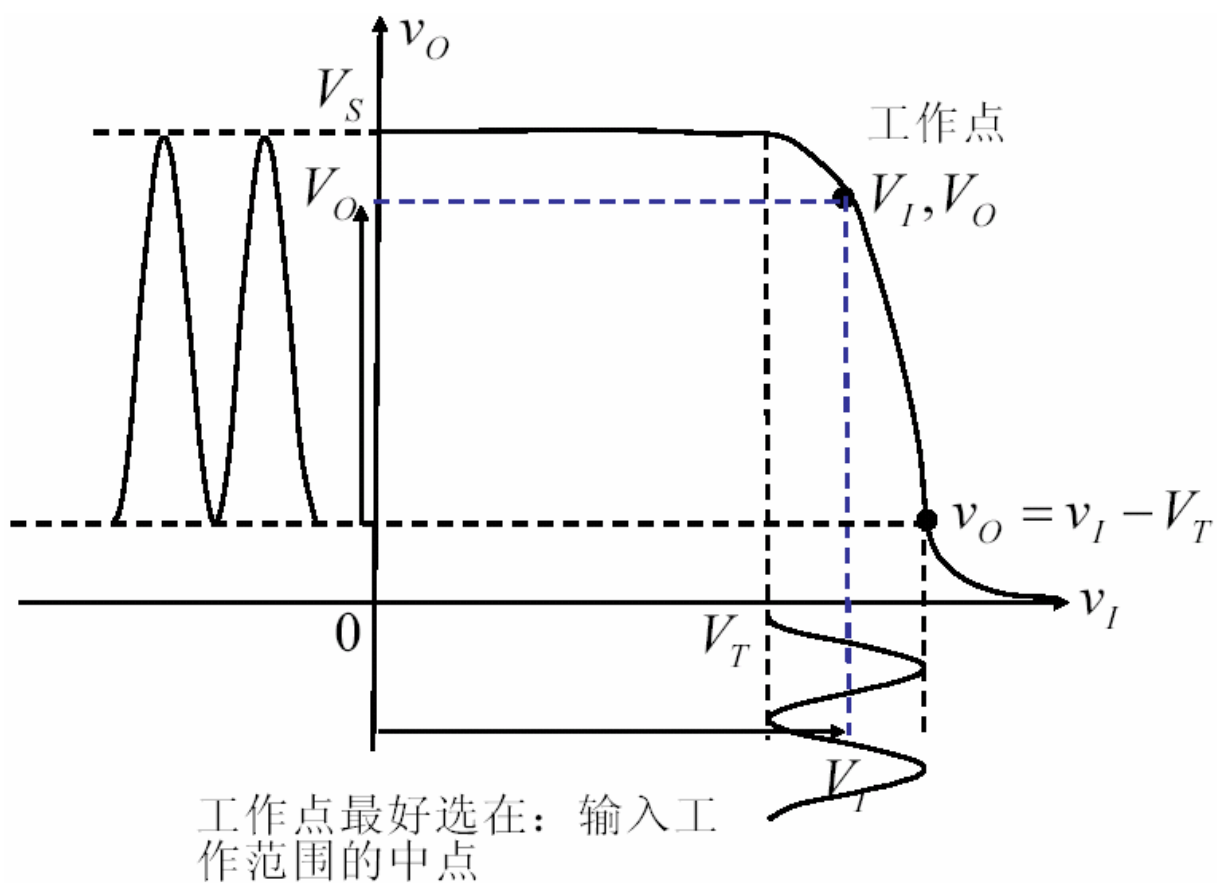
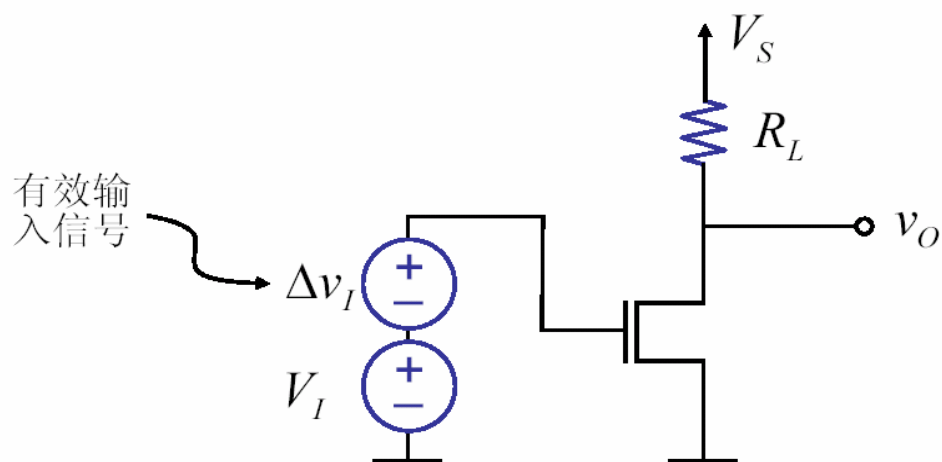


# I 图解法

我们用一个直流偏压  $V_I$ , 让有效输入信号叠加在其上使输入信号高于  $V_T$ , 而且事实上, 大大高于  $V_T$ 。



## 图解法



# 小信号模型

aka 增量模型

aka 线性模型

注释-

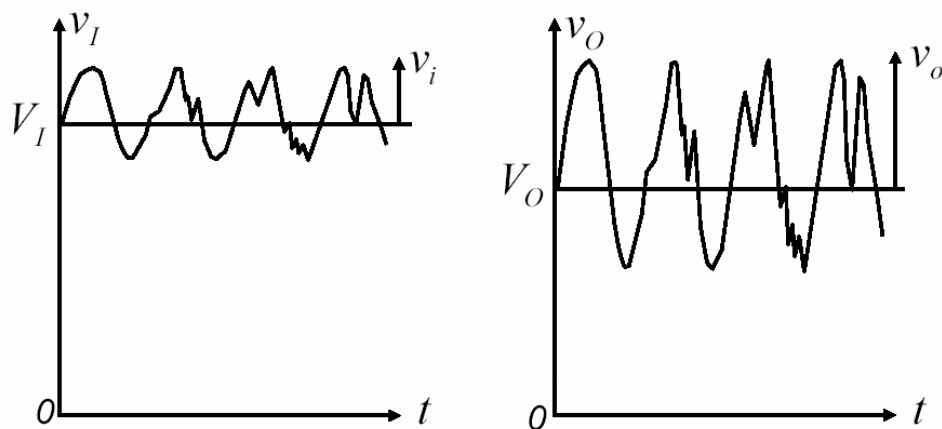
输入:  $v_I = V_I + v_i$

总变量      直流偏压      小信号 (类似  $\Delta v_I$ )

↓  
偏置电压 aka 工作点电压

输出:  $v_O = V_O + v_o$

图解法:



## II 数学推导

(…看我的箭头)

$$v_o = V_S - \frac{R_L K}{2} (v_I - V_T)^2 \quad \Bigg| \quad V_O = V_S - \frac{R_L K}{2} (V_I - V_T)^2 \quad \star$$

代入  $v_I = V_I + v_i$   $v_i \ll V_I$

$$v_o = V_S - \frac{R_L K}{2} ([V_I + v_i] - v_T)^2$$

$$= V_S - \frac{R_L K}{2} ([V_I - V_T] + v_i)^2$$

$$= V_S - \frac{R_L K}{2} ([V_I - V_T]^2 + 2[V_I - v_T]v_i + v_i^2)$$

$$V_O + v_o = V_S - \frac{R_L K}{2} (V_I - V_T)^2 - R_L K (V_I - V_T)v_i$$

由  $\star$ ,

$$v_o = - \underbrace{R_L K (V_I - V_T)}_{g_m} v_i \quad \text{与 } V_I \text{ 有关}$$

## 数学推导法

$$v_o = -R_L \underbrace{K(V_I - V_T)}_{g_m} v_i \quad \text{与 } V_I \text{ 有关}$$

$$v_o = -g_m R_L v_i$$

对于一个给定的直流工作点电压  $V_I$ ,  
 $V_I - V_T$  是常数。因此

$$v_o = -A v_i$$

↓  
写成常量与  $v_i$  乘积

换句话说, 我们的电路在小信号下工作类似于一个线性的放大器。

## 另一种方法

$$v_o = V_S - \frac{R_L K}{2} (v_I - V_T)^2$$

$$v_o = \frac{d}{dv_I} \left[ V_S - \frac{R_L K}{2} (v_I - V_T)^2 \right] \bigg|_{v_I = V_I} \cdot v_i$$

在  $V_I$  这一点的斜率

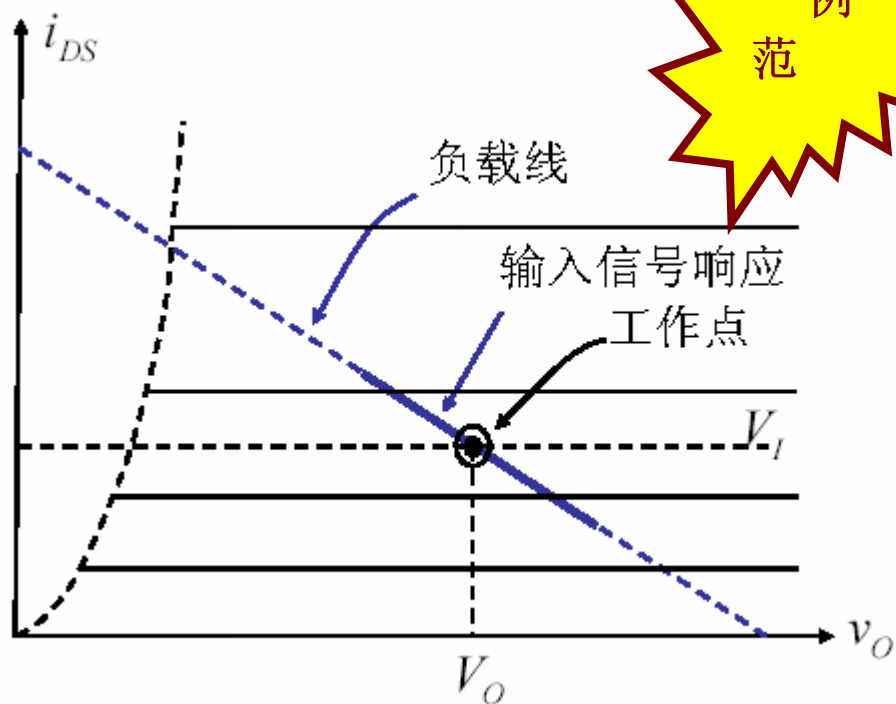
$$v_o = -R_L K (V_I - V_T) \cdot v_i$$

$$g_m = K (V_I - V_T)$$

$$A = -g_m R_L \quad \text{放大器增益}$$

同样, 按照课堂笔记 8.9 的指示用图解法解释这个结果。

关于下一节的一些知识:



如何选择偏置点:

1. 增益  $g_m \propto V_I$  部分
  2.  $v_i$  增大  $\rightarrow$  失真
- 所以要谨慎选择偏置
3. 输入有效的工作范围。  
工作点在输入工作范围的中点处, 输入可以有最大限度的波动。