

第7讲 MOSFET及 MOSFET放大器

- 一、MOSFET晶体管
- 二、MOSFET放大器

MOSFET基本结构与特性

- 内容

MOSFET基本结构及特性曲线

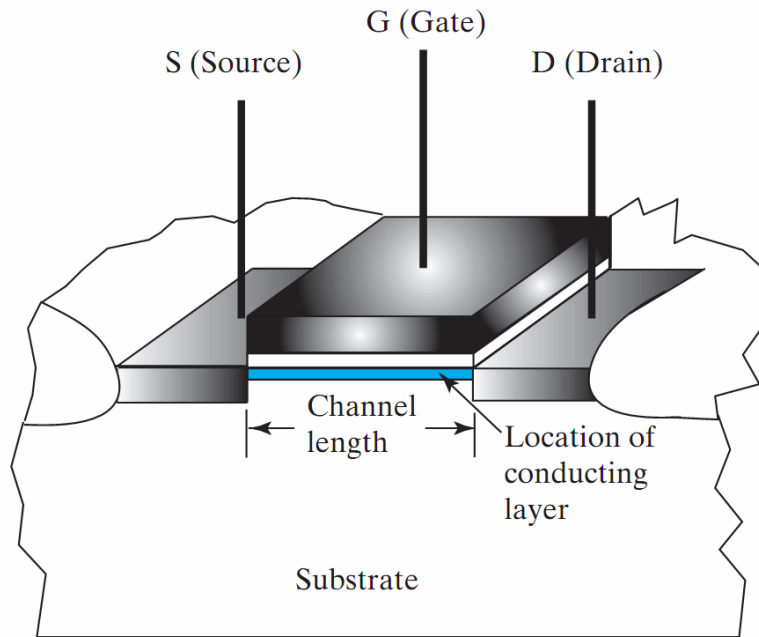
- 目标

解释MOSFET特性曲线各段的意义与对应的理论模型。

MOSFET基本结构与特性 (1/5)

● MOSFET结构

- 3端（两端口）元件（栅极G、源极S、漏极D）
- G-S输入（控制）端口
- D-S输出（受控）端口



MOSFET的物理结构

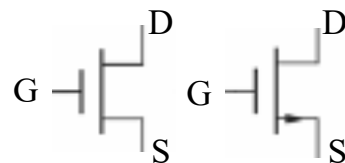


N沟道型图形符号



P沟道型图形符号

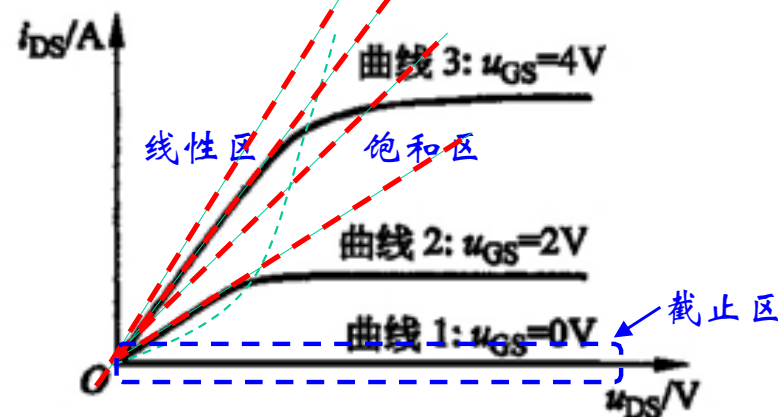
MOSFET基本结构与特性 (2/5)



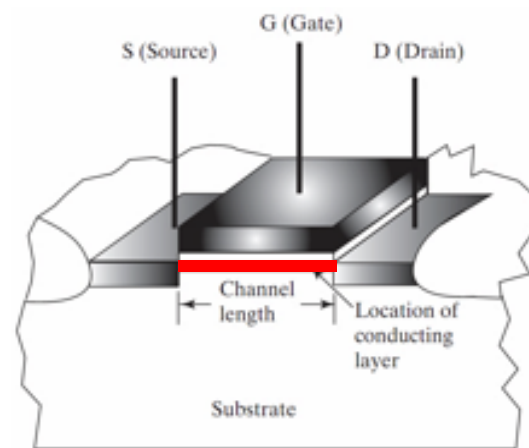
● MOSFET的电气特性 (以N型为例)

N沟道型图形符号

- u_{GS} 小于 U_T 时, $i_{DS}=0$, D-S 开路, 为截止区;
- u_{GS} 增加到 U_T , D-S 不再开路;
- u_{GS} 大于 U_T 时, D-S 分为线性区 (电阻区、三极管区) 和饱和区 (恒流区)
- 在线性区, D-S 相当于一个电阻;
- 在饱和区, D-S 相当于一个电流源, 电流大小受 u_{GS} 控制, 但与 u_{DS} 无关, 即 MOS 管是一个压控电流源;
- 在整个非截止区, 只有当 u_{DS} 大于某一阈值 ($u_{GS} - U_T$) 后, D-S 才从一个电阻变为一个受控源。



MOS管的电气特性

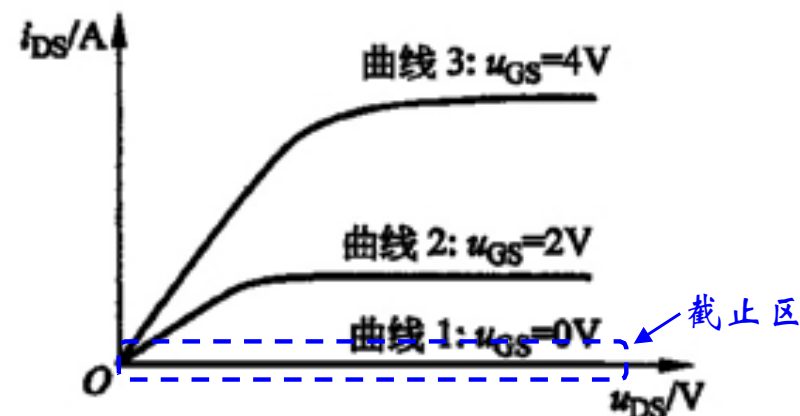


MOSFET的物理结构

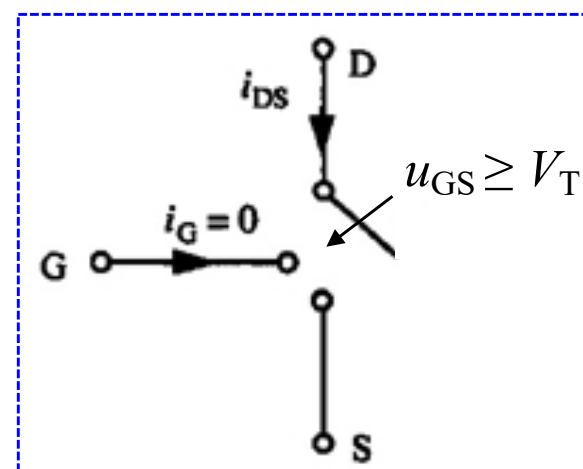
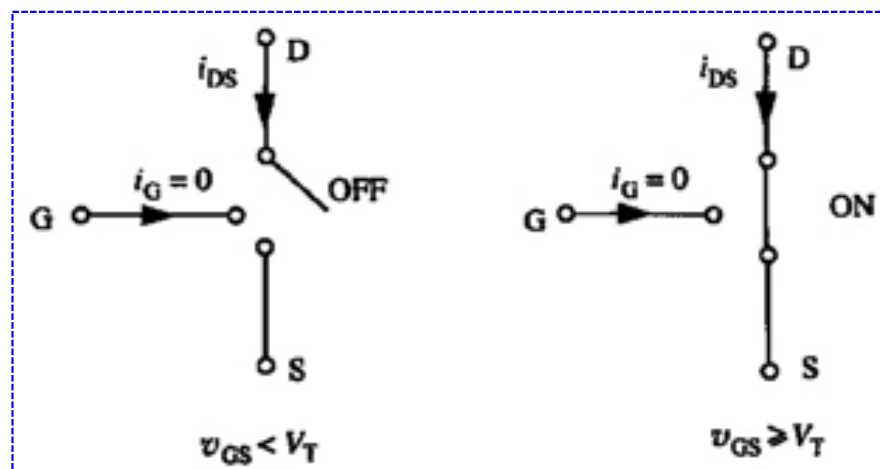
MOSFET基本结构与特性 (3/5)

● 模型化MOSFET特性

● 开关 (S) 模型: u_{GS} 小于 U_T 时, $i_{DS}=0$, D-S开路, 否则 D-S导通



MOS管的电气特性

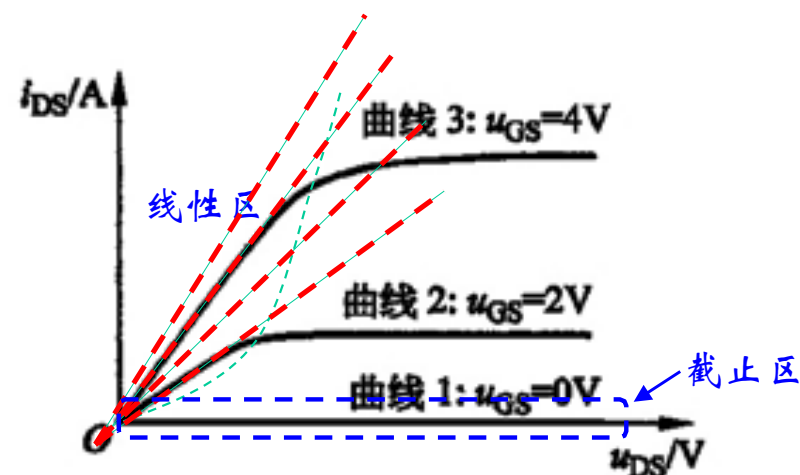


MOSFET基本结构与特性 (4/5)

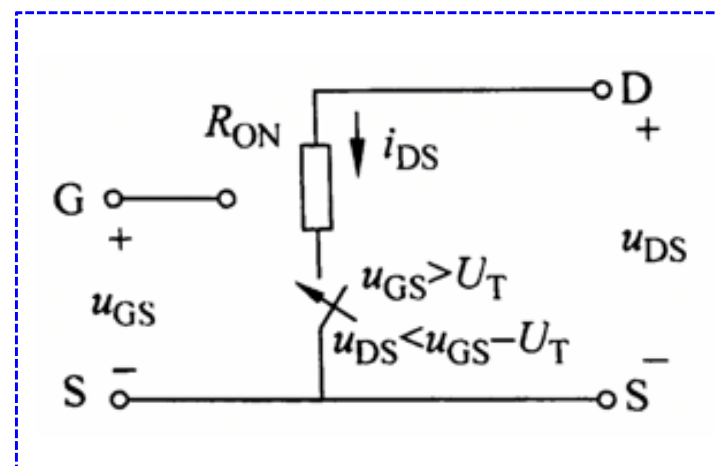
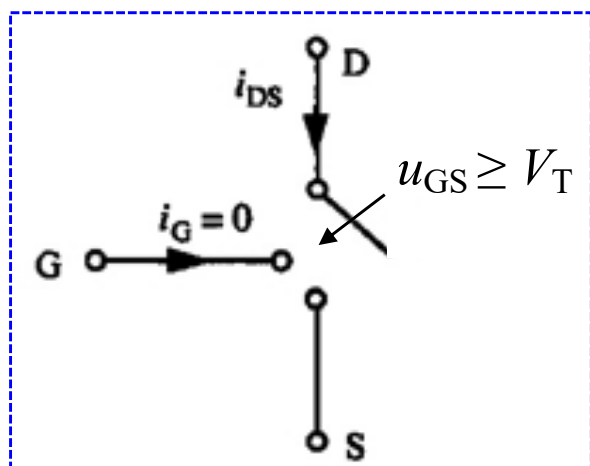
● 模型化MOSFET特性

● 开关-电阻 (SR) 模型:

$u_{GS} > U_T$, 且 $u_{DS} < u_{GS} - U_T$ 时,
D-S之间相当于一个电阻



MOS管的电气特性



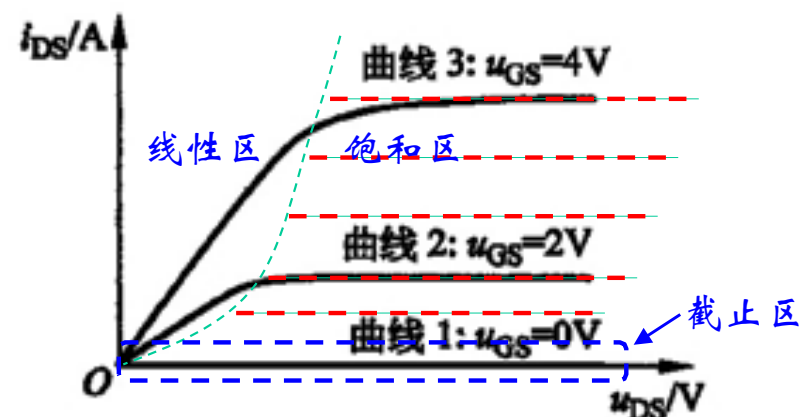
MOSFET基本结构与特性 (5/5)

● 模型化MOSFET特性

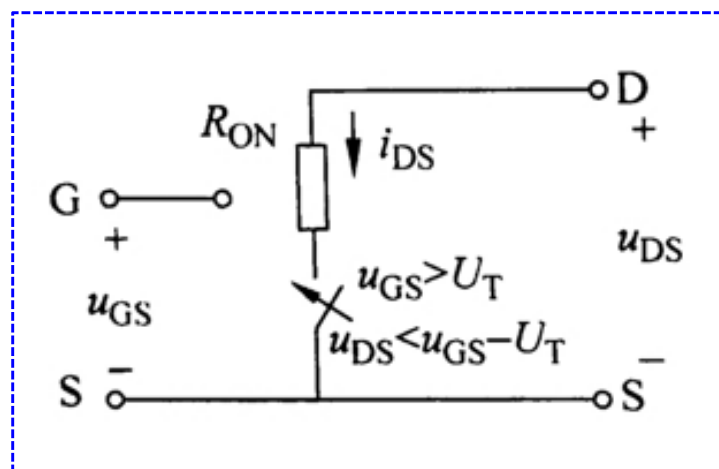
● 开关-电流源 (SCS) 模型:

$u_{GS} > U_T$, 且 $u_{DS} > u_{GS} - U_T$ 时,

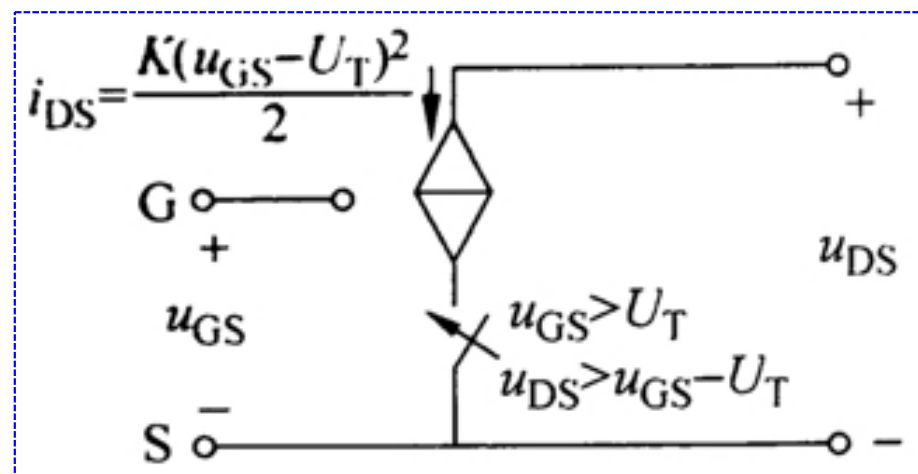
$$i_{DS} = K(u_{GS} - U_T)^2 / 2$$



MOS管的电气特性



+



MOSFET放大器

- 内容

MOSFET共源极放大器

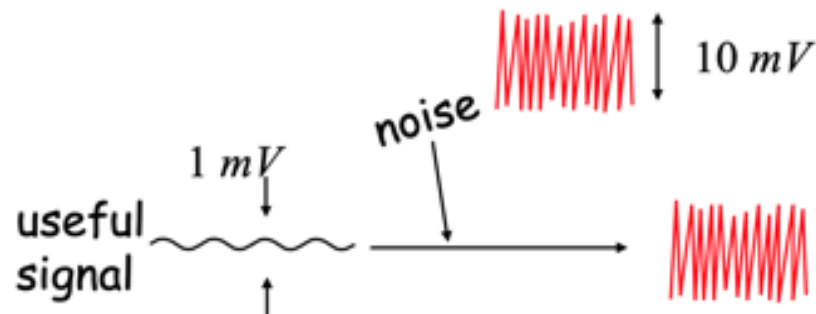
- 目标

用转移特性曲线正确描述MOSFET共源极放大电路的小信号放大工作状况。

MOSFET放大器 (1/6)

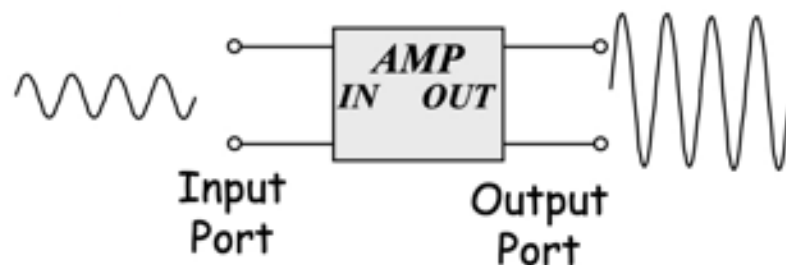
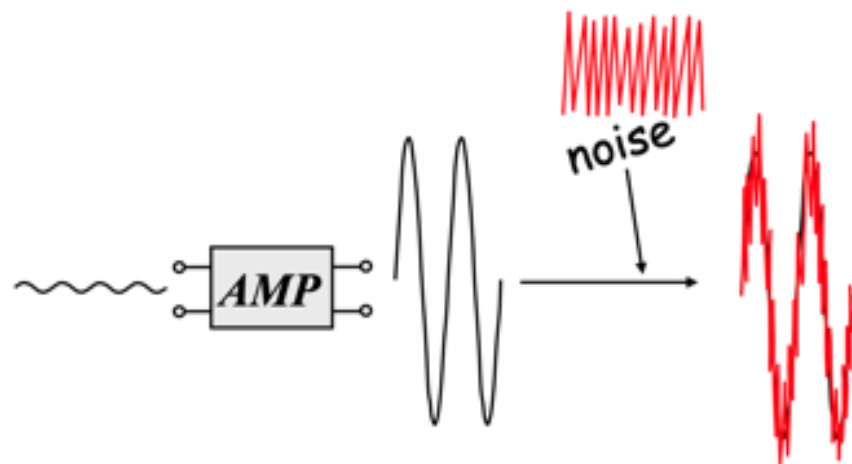
● 为什么要放大?

- 信号幅值太小, 不易察觉
- 信号功率太小, 不能驱动负载
- 传输过程中信号易被噪声淹没



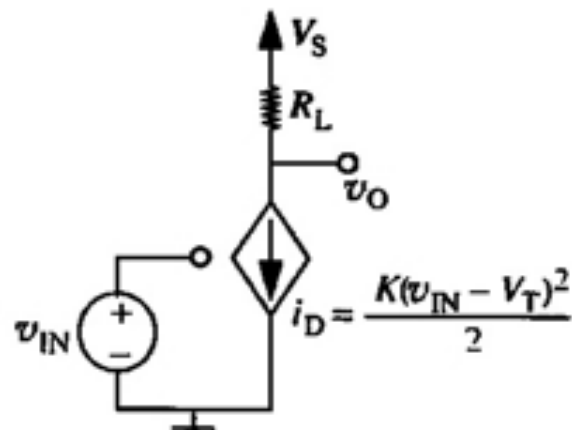
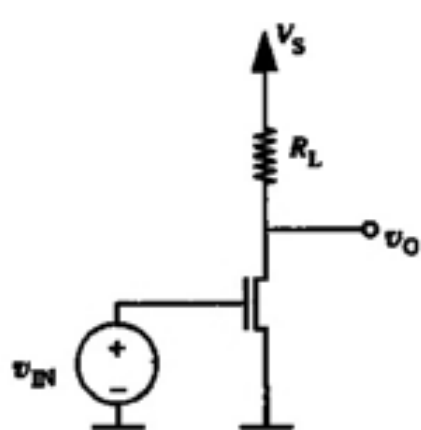
● 什么是信号放大?

- 电压放大
- 电流放大
- 功率放大
- 能量守恒

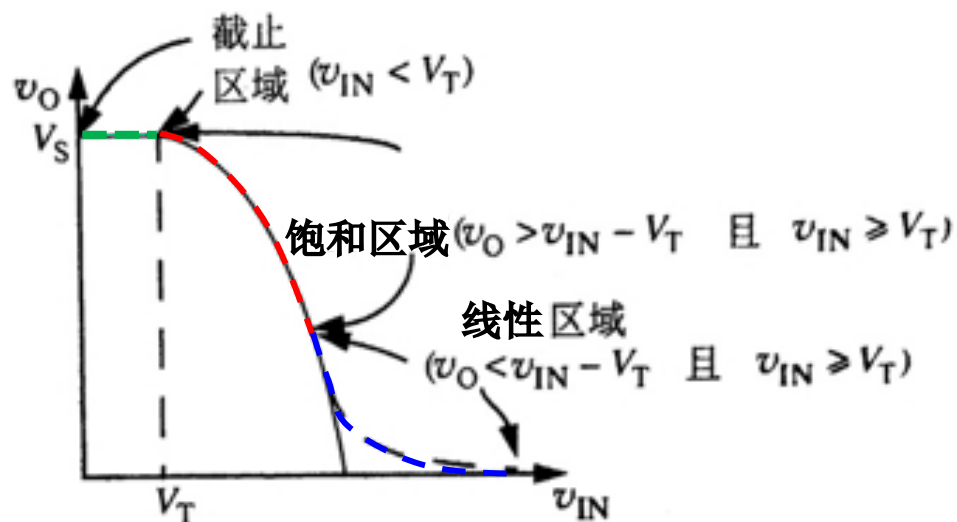
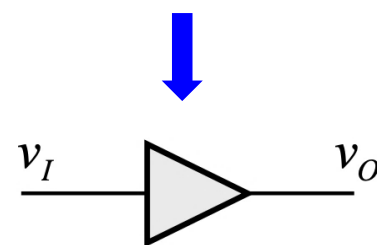
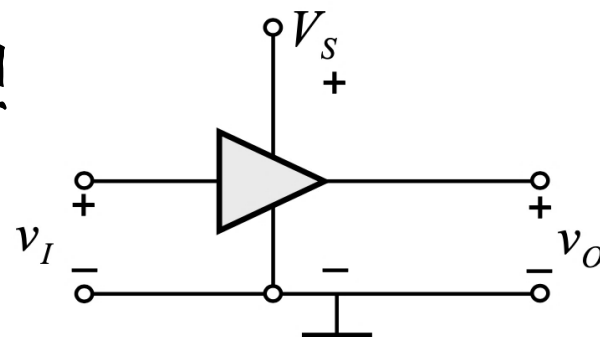


MOSFET放大器 (2/6)

● MOSFET (共源极) 放大电路及模型



$$v_O = V_S - K \frac{(v_{IN} - V_T)^2}{2} R_L$$



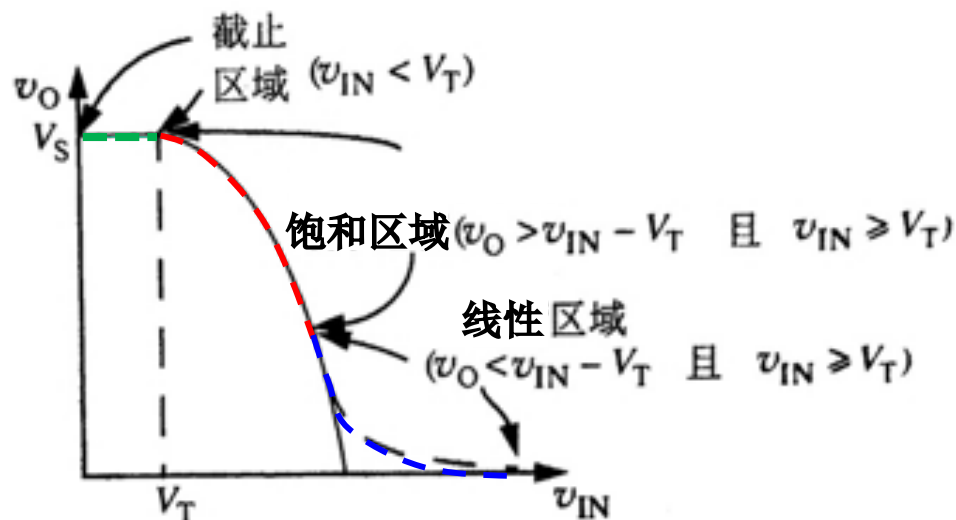
截止区: $i_D=0$, $v_O=V_S$

饱和区: v_O 如公式所示

线性区: v_O 不再服从该公式

MOSFET放大器 (3/6)

- MOSFET放大电路仅在饱和区表现出放大作用

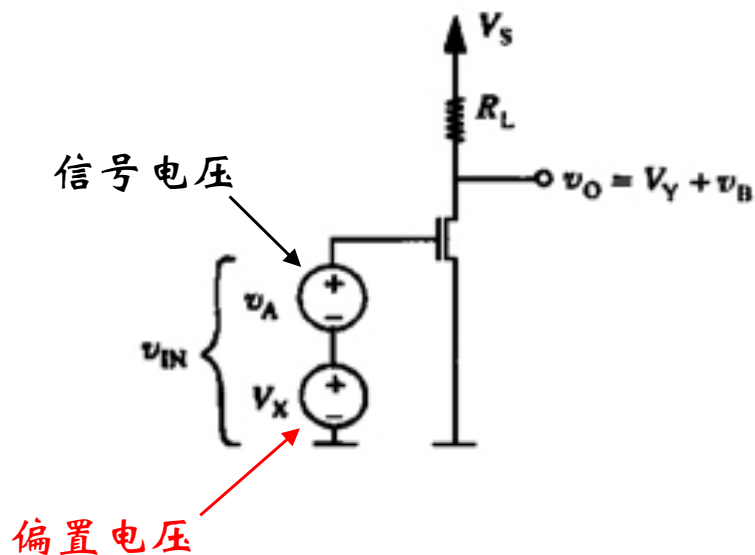


- 截止区: v_O 为常数 V_S
- 饱和区: 曲线斜率大, v_O 随 v_{IN} 快速变化
- 线性区: 曲线斜率小, v_O 随 v_{IN} 慢速变化
- 放大电路必须工作在恰当位置才具有放大功能, 当输入信号为零时, MOSFET必须加载合适的偏置电压。

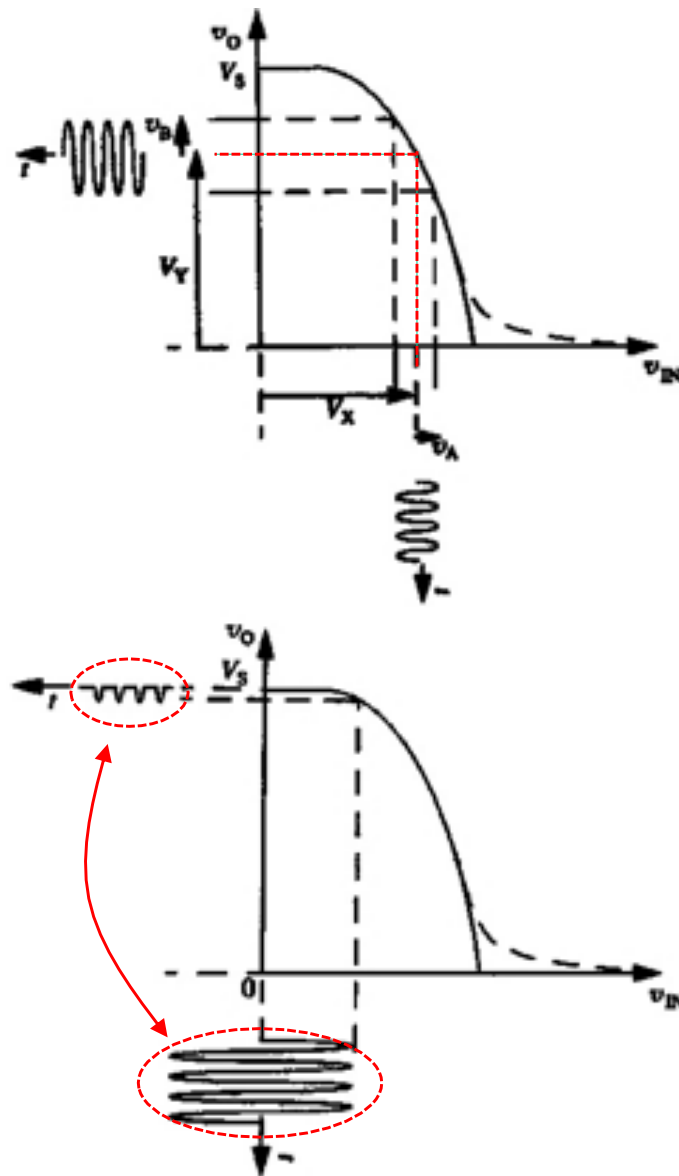
MOSFET放大器 (4/6)

● MOSFET放大器的偏置

- 通过加载合适的偏置电压 V_X 来实现

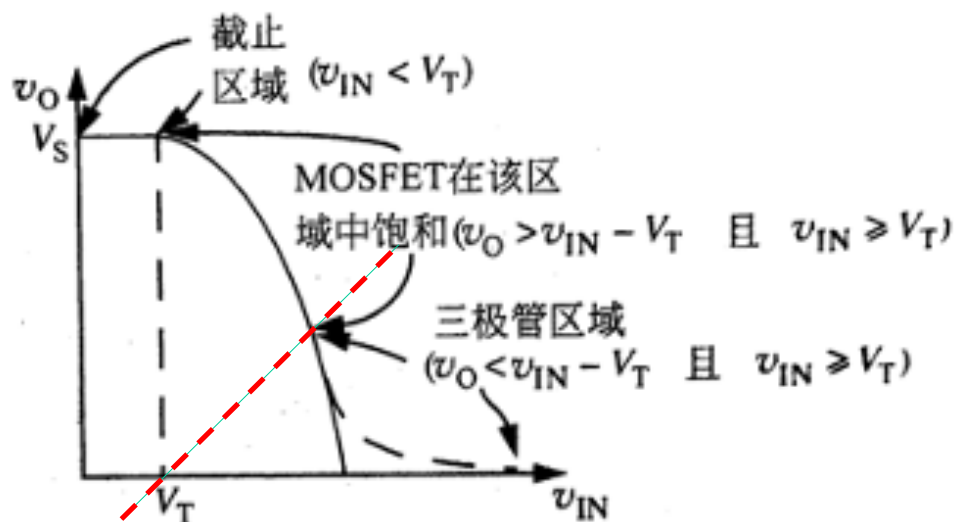


- 当偏置电压为零时，不仅没有放大，而且输出严重失真
- 偏置点选择有不同方法，如范围最大或增益最大



MOSFET放大器 (5/6)

例 根据MOSFET放大器的输入与输出关系曲线和输出电压在饱和区的表达式，估算偏置电压的范围。已知： $R_L=10\text{K}\Omega$ ， $K=1\text{mA/V}^2$ ， $V_S=5\text{V}$ ， $V_T=1\text{V}$ 。



$$v_O = V_S - K \frac{(v_{IN} - V_T)^2}{2} R_L$$

1. 最小偏置?

$$v_{\min} = V_T = 1\text{V}$$

2. 从下式求得的 v_{IN} 即为最大偏置电压 $v_{\max} \approx 1.9\text{V}$?

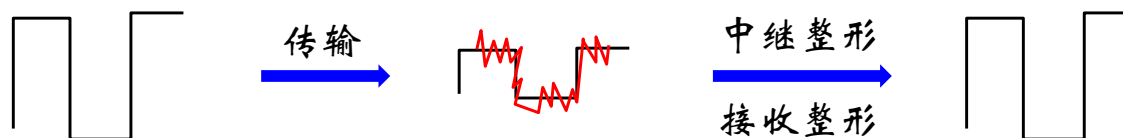
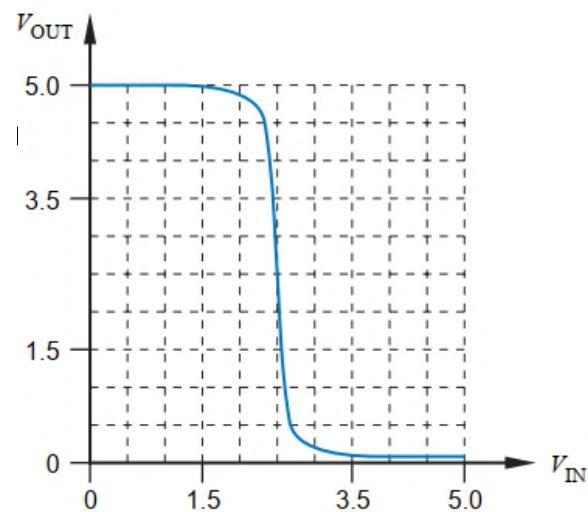
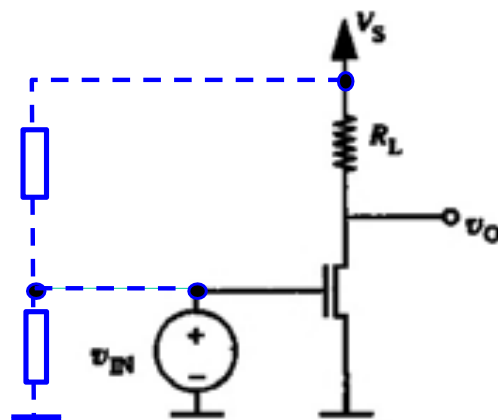
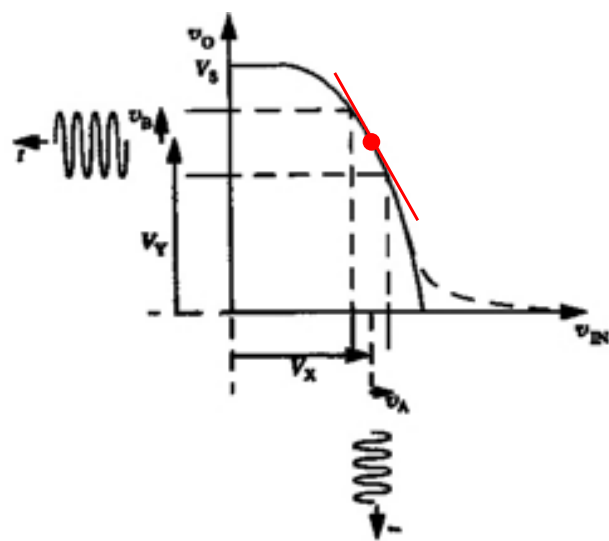
$$v_{IN} - V_T = V_S - K \frac{(v_{IN} - V_T)^2}{2} R_L$$

3. 工作点常在 v_{\min} 和 v_{\max} 中点，约为1.45V

MOSFET放大器 (6/6)

- MOSFET放大电路的小信号与大信号工作状态

- 小信号：线性放大
- 大信号：信号整形（标准化）



小结

● MOSFET 晶体管

- 3端（两端口）元件
- 开关（S）模型
- 开关—电阻（SR）模型
- 开关—电流源（SCS）模型

● MOSFET 放大器

- 放大的必要性
- 共源极放大电路
- 小信号放大，加偏置使电路工作在饱和区
- 大信号整形、标准化

● 测验