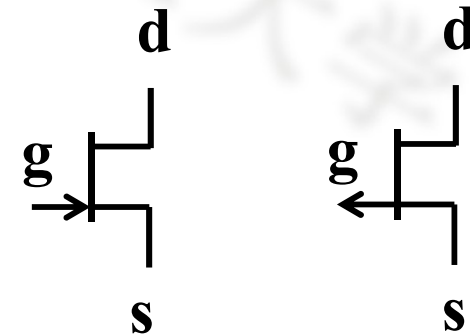
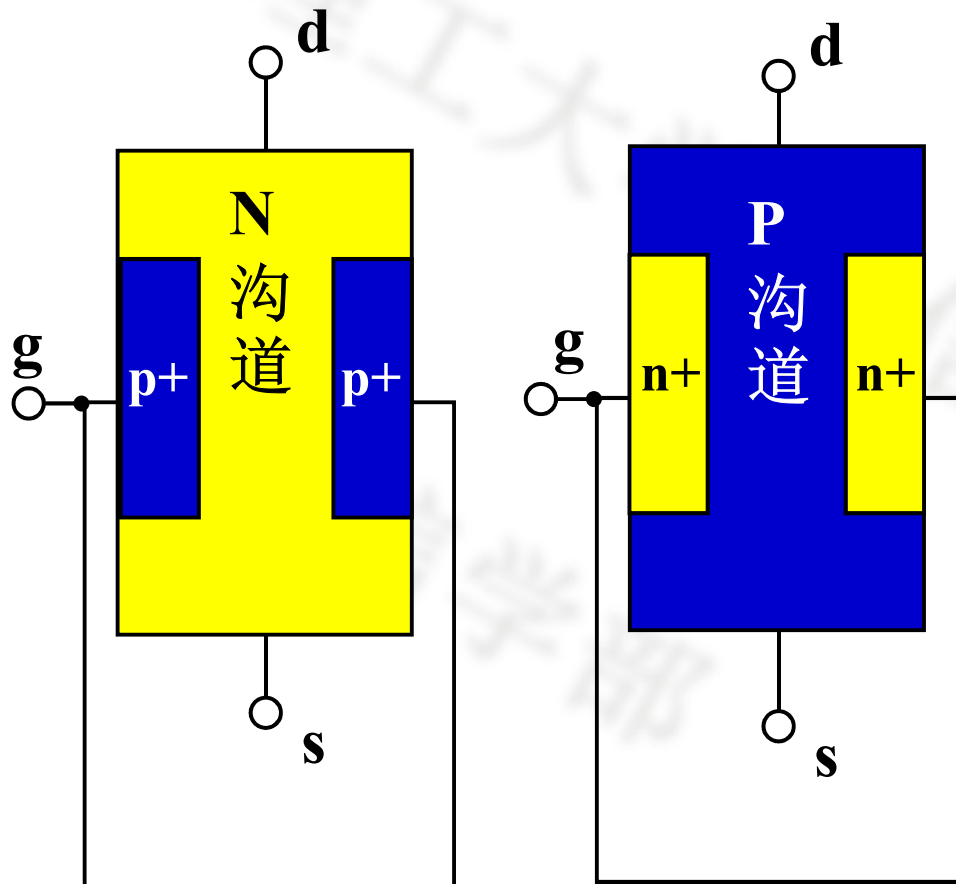


5.2 结型场效应管JFET

1. 结构与符号

Junction **F**ield **E**ffect **T**ransistor

JFET分为N沟道和P沟道



N-JFET

P-JFET

箭头方向: $P \rightarrow N$

JFET是常开型FET

5.2 结型场效应管JFET

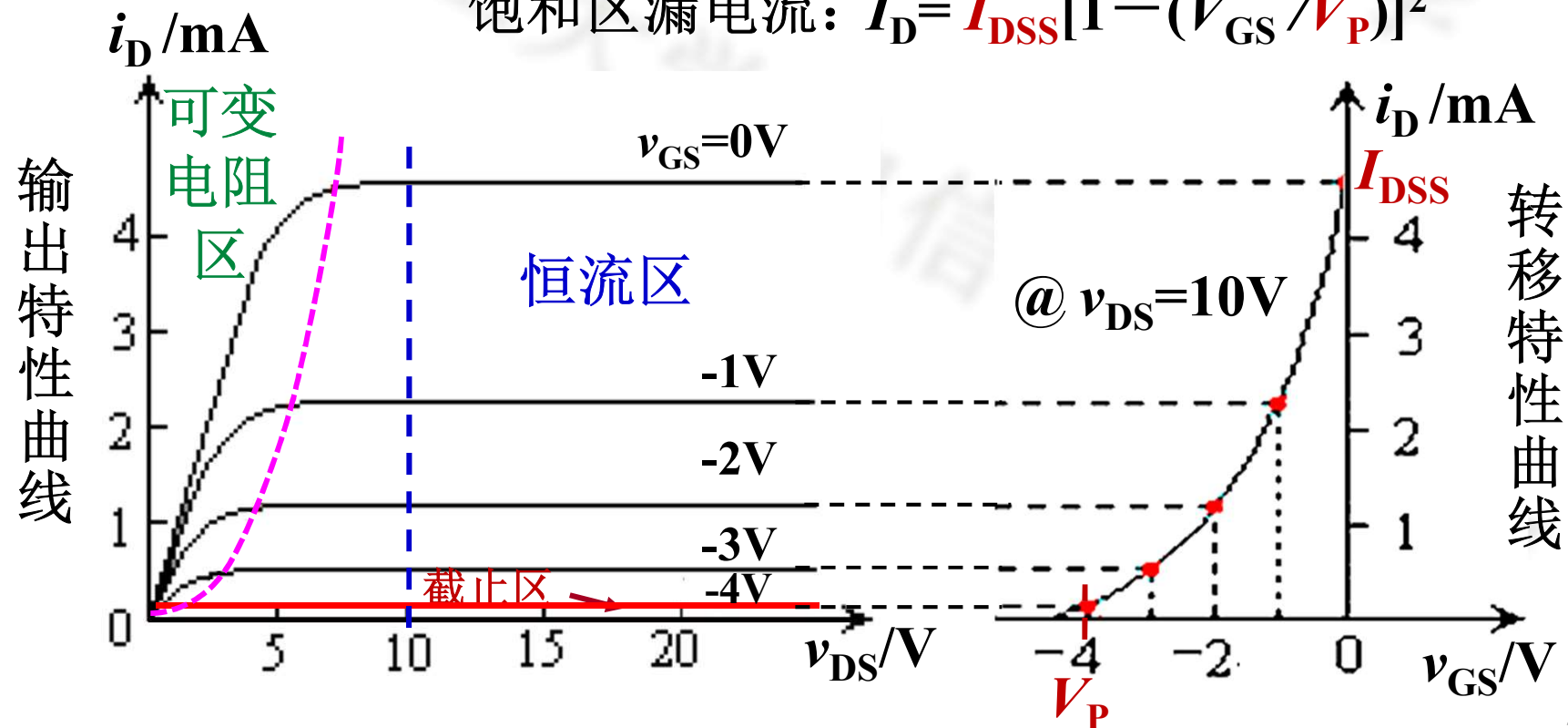
2. 工作原理与特性曲线

(1) 工作原理

v_{GS} 控制沟道宽窄； v_{DS} 控制沟道形状

(2) 特性曲线（以N-JFET为例）

饱和区漏电流： $I_D = I_{DSS} [1 - (V_{GS} / V_P)]^2$

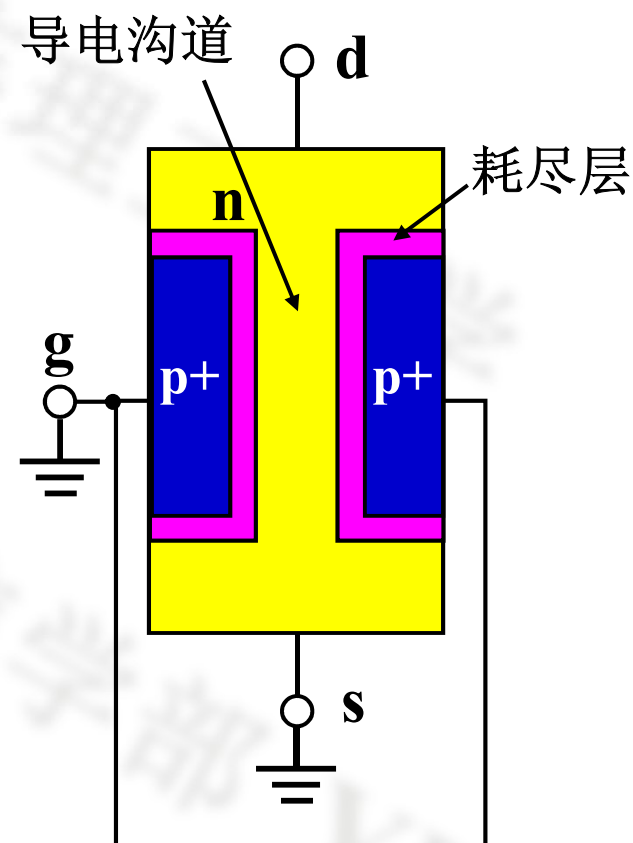
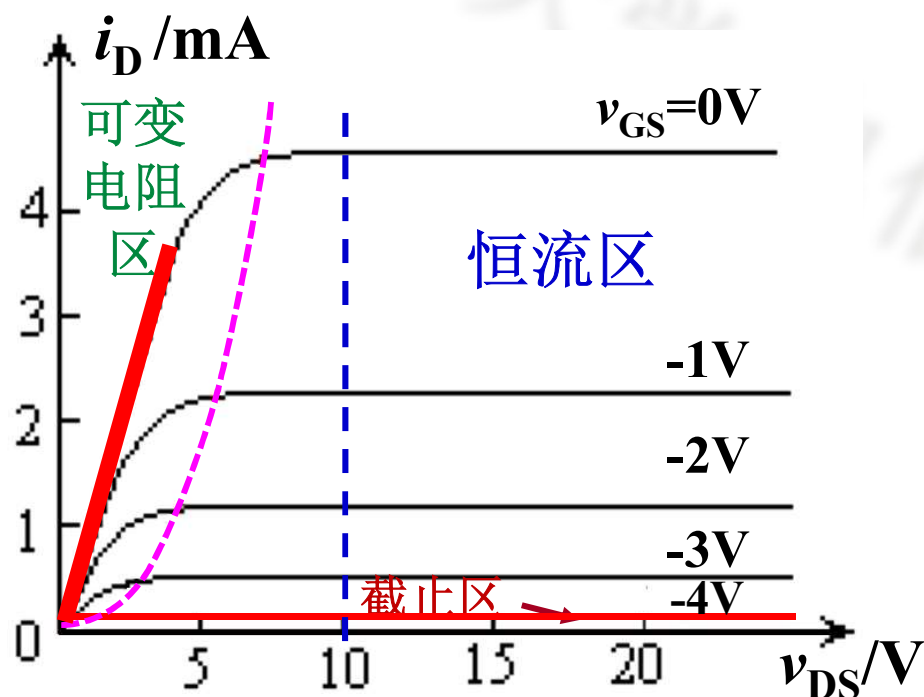


2 工作原理与特性曲线

PN结**必须反偏**。N-JFET的 $v_{GS} \leq 0$

$v_{GS} = 0$ 时，沟道最宽、电阻最小

当 v_{DS} 较小，可变电阻区



2 工作原理与特性曲线

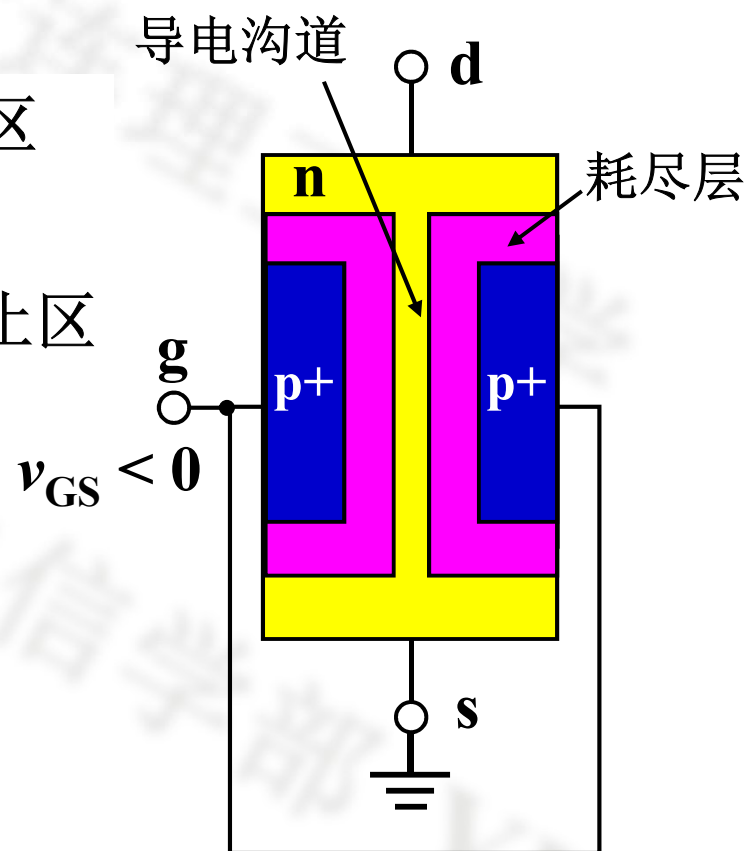
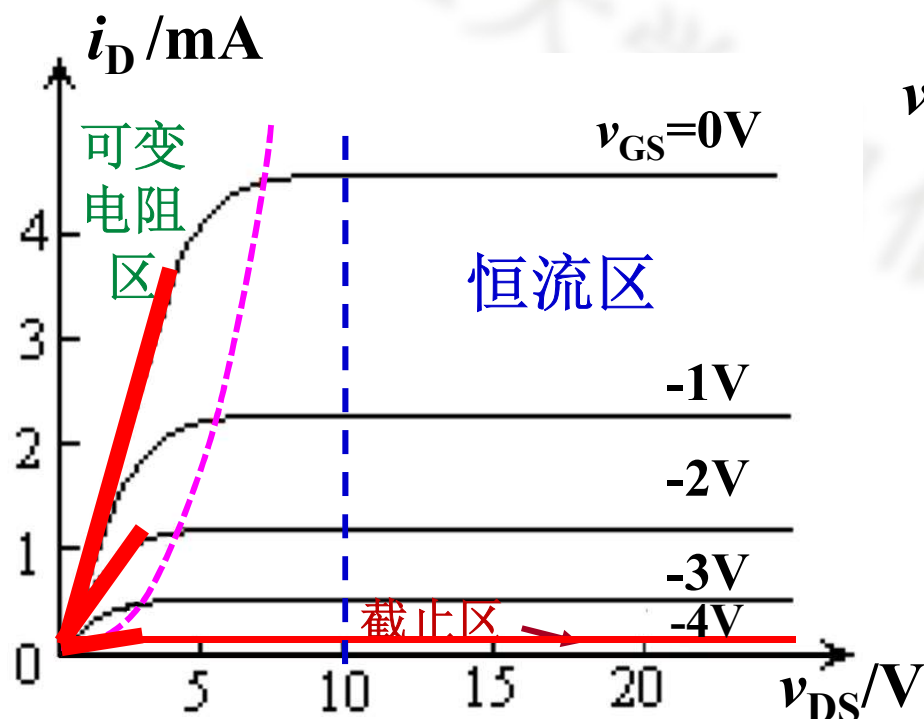
PN结**必须反偏**。N-JFET的 $v_{GS} \leq 0$

$v_{GS} = 0$ 时，沟道最宽、电阻最小

当 v_{DS} 较小，可变电阻区

$v_{GS} < 0$ 时，沟道变窄、电阻增大

$v_{GS} = V_P$ 时，沟道夹断， $i_D \approx 0$ ，截止区



$v_{GS} < 0$ ，PN结反偏，耗尽层增厚，属于耗尽型FET。

2 工作原理与特性曲线（N-JFET为例） v_{DS} 控制沟道形状

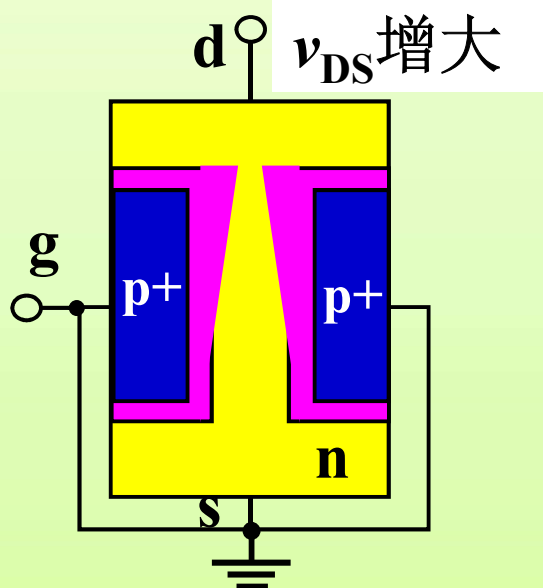
当 V_{GS} 是保持常数（例如 $V_{GS}=0$ ），增大 v_{DS} 。

$v_{DS}=0$ 时均匀沟道

增大 v_D , 即 $v_{DS}>0$

v_{DG} 增大

楔形沟道

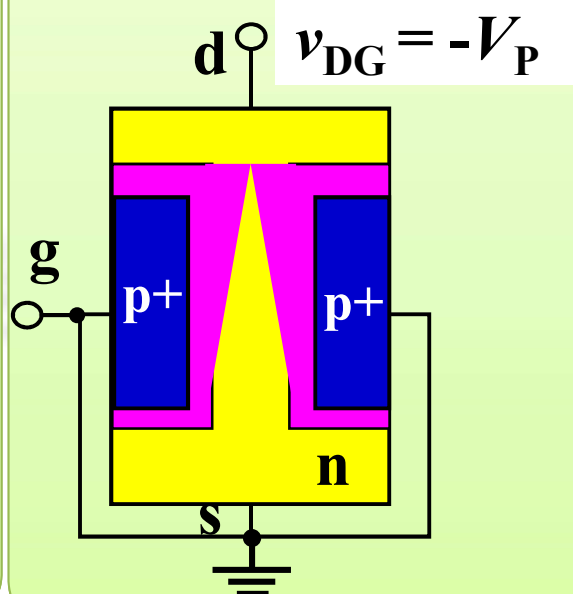


继续增大 v_{DS}

预夹断临界点

$$v_{DS}=v_{GS}-V_P$$

预夹断→恒流区

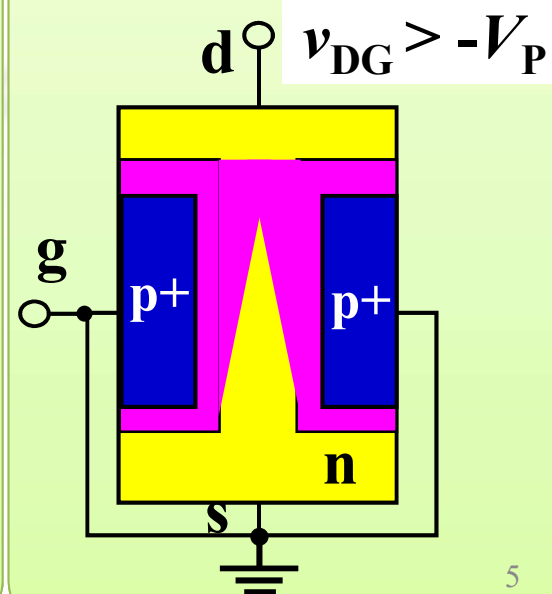


继续增大 v_{DS}

$$v_{DS}>v_{GS}-V_P$$

夹断点向s移动

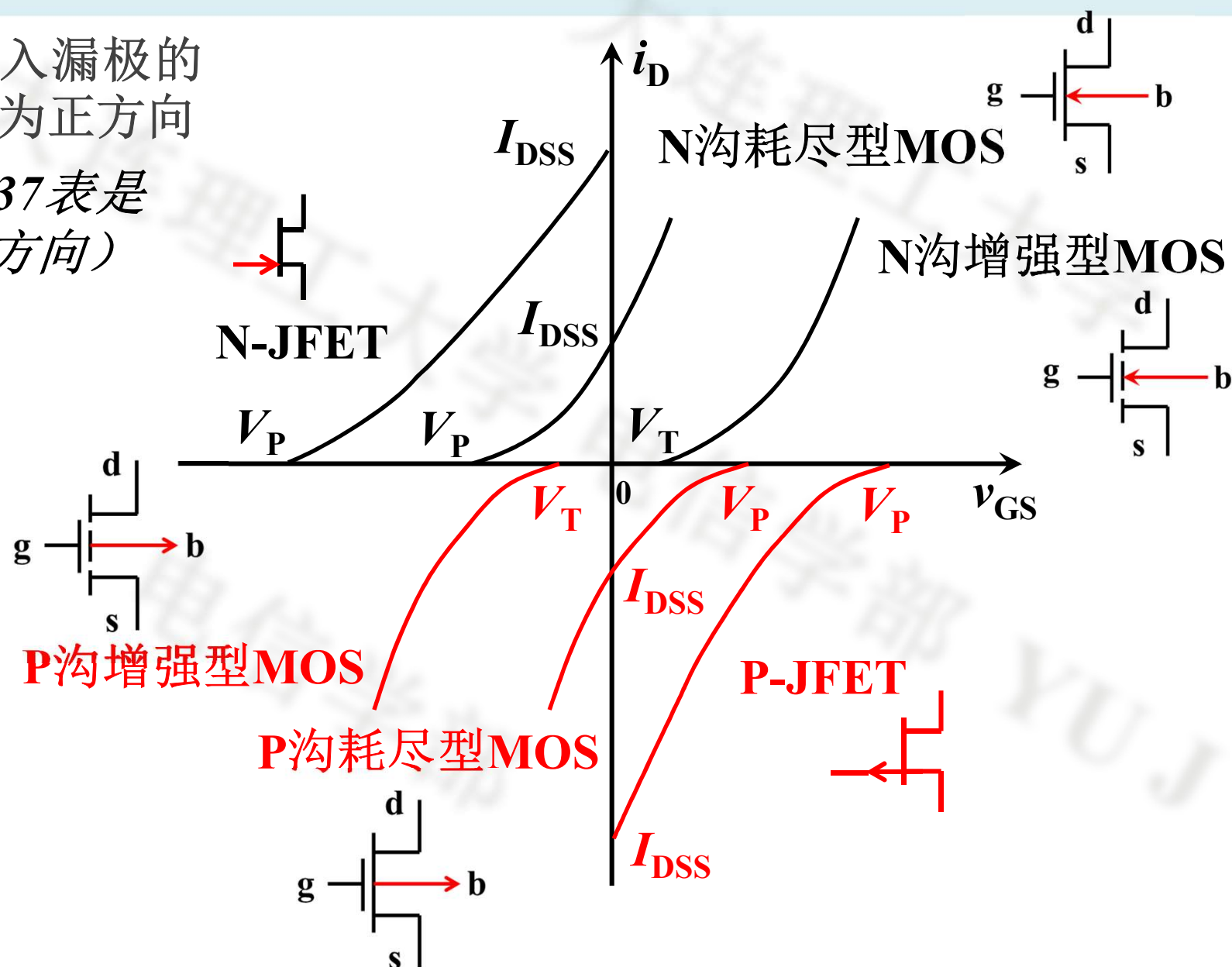
恒流区



5.3 各种场效应管对比 (a) 恒流区转移特性

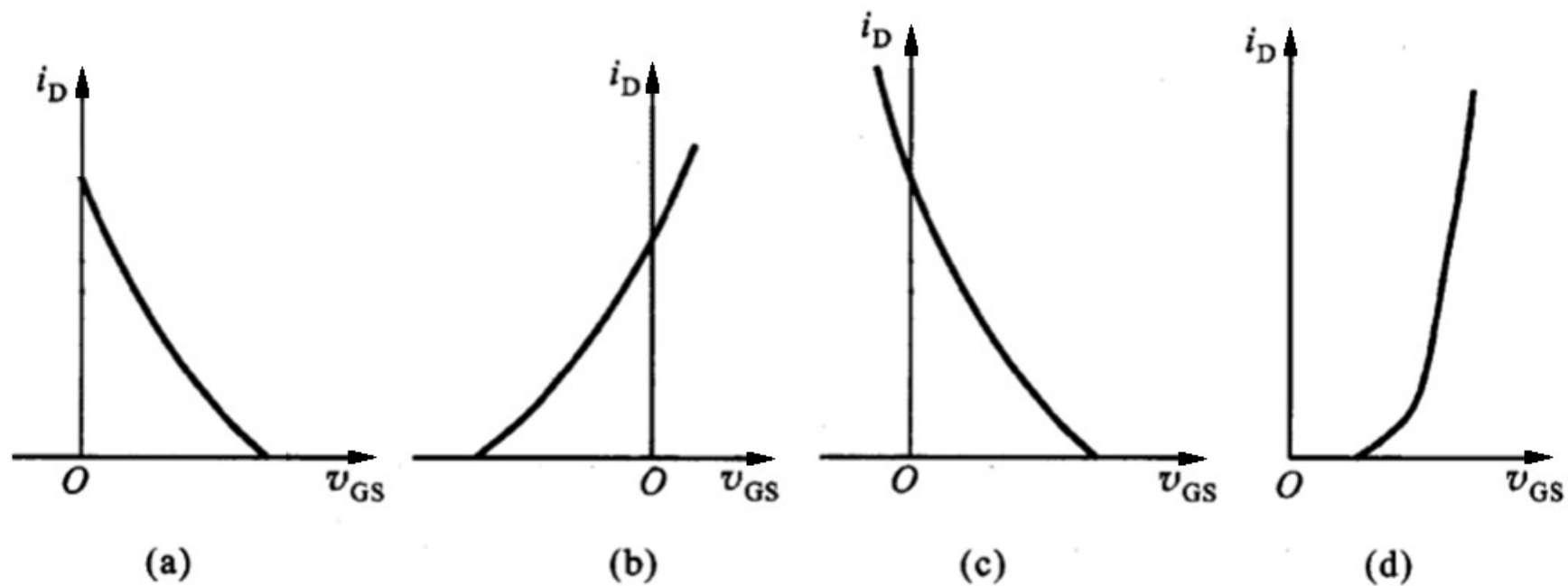
设流入漏极的方向为正方向

(P237表是实际方向)



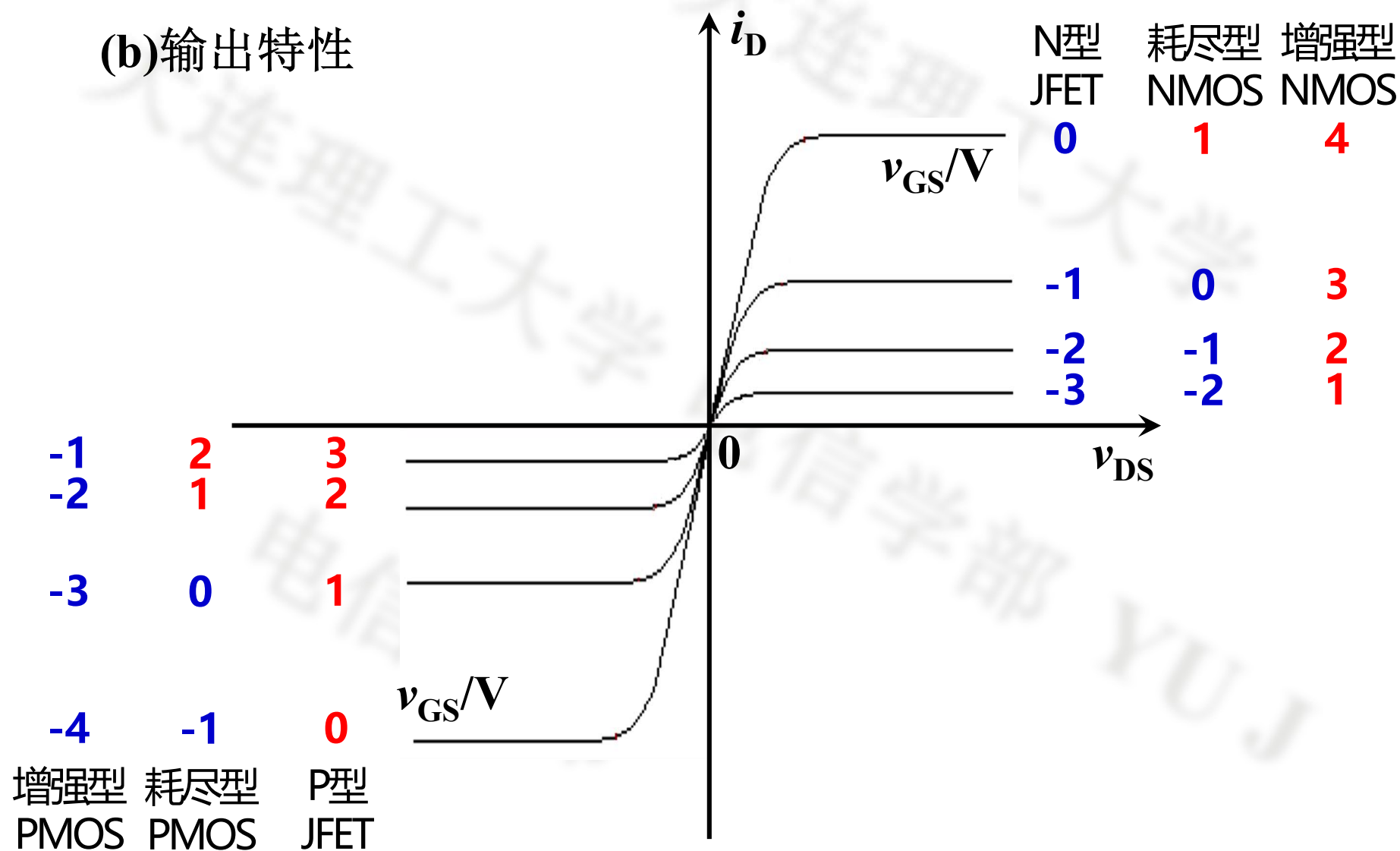
练习

i_D 的假定正向是它的实际方向。试问它们各是哪一种类型的 FET?



5.3 各种场效应管对比

(b) 输出特性



5.3 各种场效应管对比

(3) 主要参数----- 直流参数

① V_T ___开启电压(增强型MOSFET)

V_P ___夹断电压(耗尽型MOSFET、JFET)

② I_{DSS} ___饱和漏极电流(耗尽型MOSFET、JFET)

$v_{GS}=0$ 时所对应的 i_D

③ R_{GS} ___直流输入电阻

MOSFET约 $10^9 \sim 10^{15} \Omega$ (电容)

JFET约 $10^7 \Omega$ (反偏二极管)

安全参数 ①最大漏极电流 I_{DM}

② U_{BRXX} ___击穿电压 (XX: GS、DS)

③ P_{DM} ___最大漏极功耗. 由 $P_{DM} = v_{DS} i_D$ 决定.

MOSFET栅极不能悬空! (防止静电击穿)

5.3 各种场效应管对比

(3) 主要参数 -----交流参数

g_m ——低频跨导 transconductance

反映 v_{GS} 对 i_D 的控制作用 (VCCS)

$$g_m = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_{Q \text{ point}} \quad (\text{mS}) \text{ (毫西门子)}$$

设阈值电压 V_{T0} (对于增强型管为 V_T , 对于耗尽型管为 V_P)

恒流区: $i_D = K(v_{GS} - V_{T0})^2$

$$g_m = 2K(V_{GS} - V_{T0}) = 2\sqrt{K I_{DQ}}$$

g_m 可以在转移特性曲线上求取, 即曲线的斜率。

双极型三极管和场效应型晶体管的比较

	三 极 管	场 效 应 管
导电机制	双极性器件	单极性器件
导电方式	载流子的扩散与漂移	漂移
控制方式	电流控制	电压控制
类 型	NPN 型、PNP 型	P、N 沟道，增强、耗尽型、结型
放大参数	$\beta=30\sim100$	$g_m=1\sim6\text{mS}$
输入电阻	$10^2\sim10^4\ \Omega$	$10^7\sim10^{15}\ \Omega$
抗辐射能力	差	好
噪 声	大	小
热稳定性	差	好
制造工艺	不宜大规模集成	小尺寸；便于大规模集成
对称性	C、E 不对称	D、S 对称
静电影响	不受静电影响	易受静电影响

5.4 FET放大电路

- 1 FET的小信号模型
- 2 共源放大电路（**Common-Source**）
- 3 共漏放大电路（**Common-Drain**）
- 4 三种组态比较

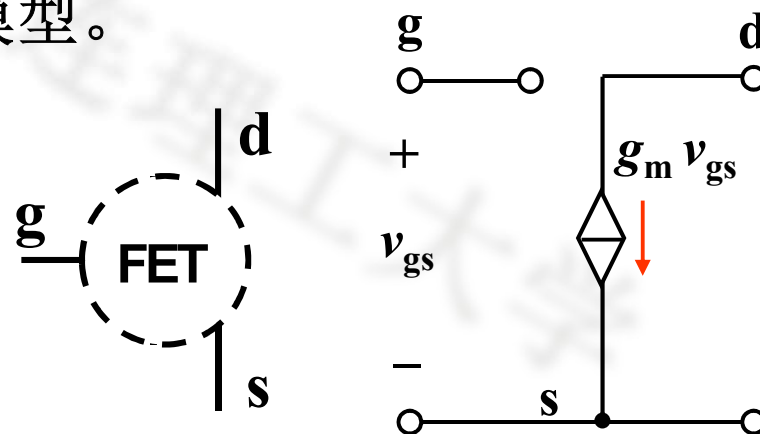
5.4 FET放大电路

1. FET的小信号模型

任意类型FET都有同样的小信号模型。

要点：

- ①g与d/s之间开路；
- ②d与s之间压控电流源 $g_m v_{gs}$ ；
- ③受控源电流方向指向s极。



g_m 值可根据恒流区 i_D 公式对 v_{GS} 求导获得：

增强型MOS

$$i_D = K (v_{GS} - V_T)^2$$

$$g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 2\sqrt{K I_{DQ}}$$

K 是器件常数。已知 I_{DSS} 和 V_P 时， $K = I_{DSS} / V_P^2$

耗尽型MOS以及JFET

$$i_D = I_{DSS} [1 - (v_{GS} / V_P)]^2$$

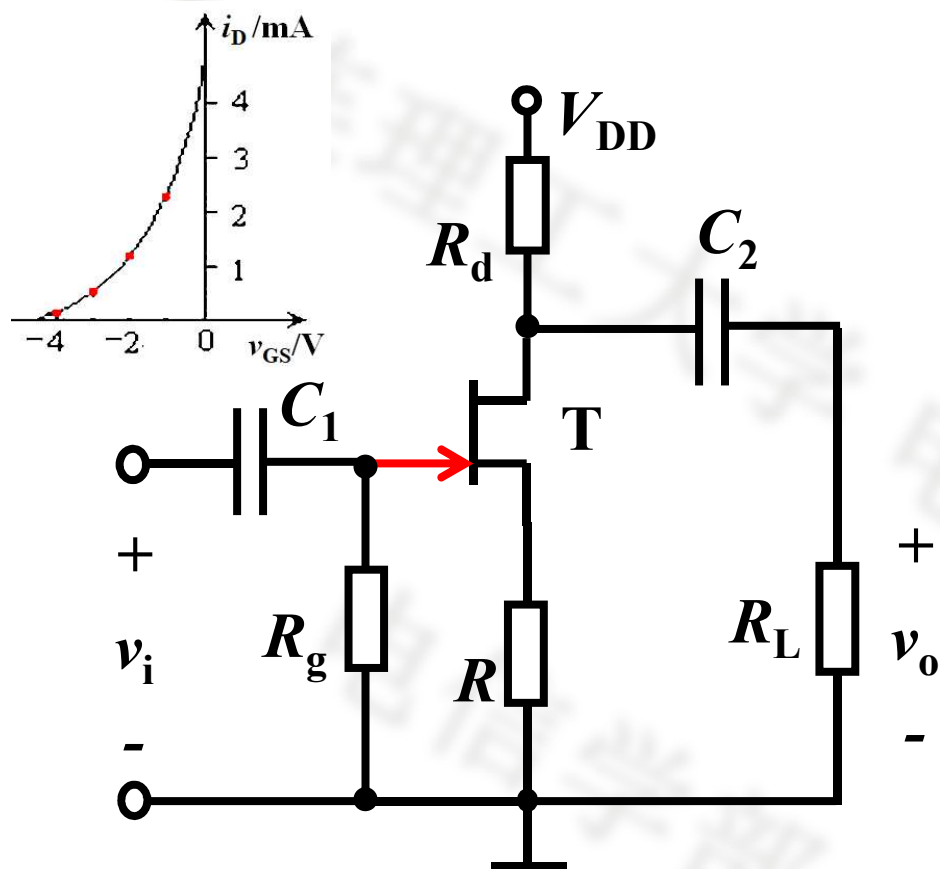
$$i_D = K (v_{GS} - V_P)^2$$

$$g_m = 2K(V_{GS} - V_P) = 2\sqrt{K I_{DQ}}$$

5.4 FET放大电路

2. 共源放大电路分析 (CS)

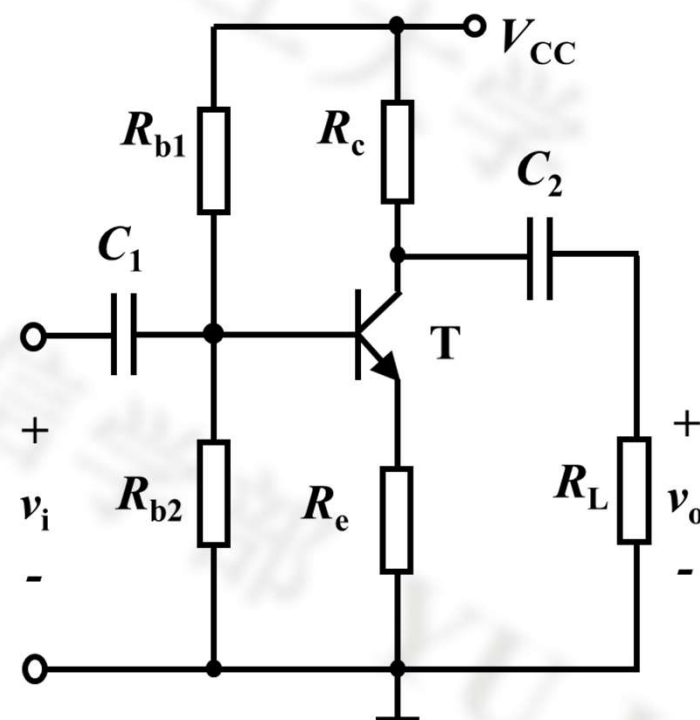
例1. 某N-JFET共源极放大电路



根据转移特性
确定静态偏置

N-JFET \longleftrightarrow NPN
CS \longleftrightarrow CE

共射放大电路



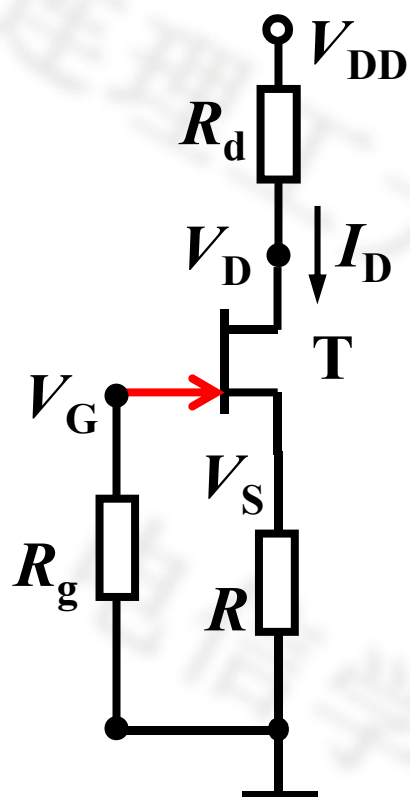
5.4 FET放大电路

2. 共源放大电路分析 (CS)

例1. 某N-JFET共源极放大电路

(1) 静态工作点Q:

$$V_{GSQ}, I_{DQ}, V_{DSQ}$$



$$\begin{cases} V_{GSQ} = V_G - V_S = 0 - I_{DQ}R = -I_{DQ}R \\ I_{DQ} = I_{DSS}[1 - (V_{GSQ}/V_P)]^2 \end{cases}$$

解方程组求得 V_{GSQ}, I_{DQ}

$$V_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ}(R_d + R)$$

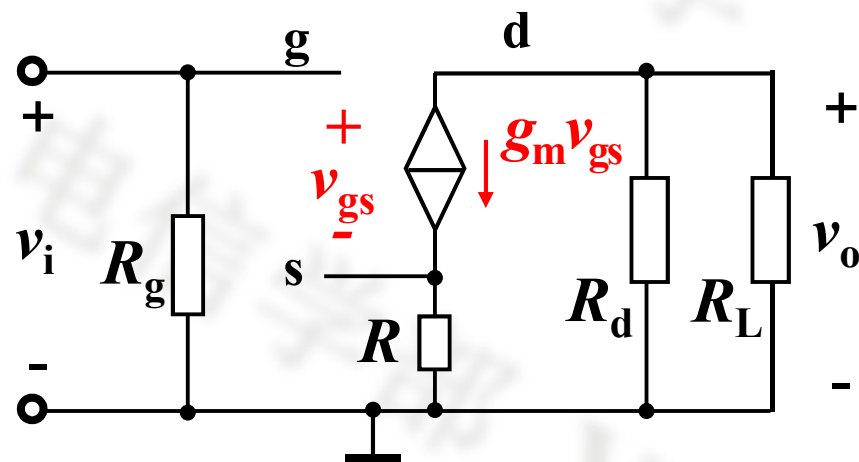
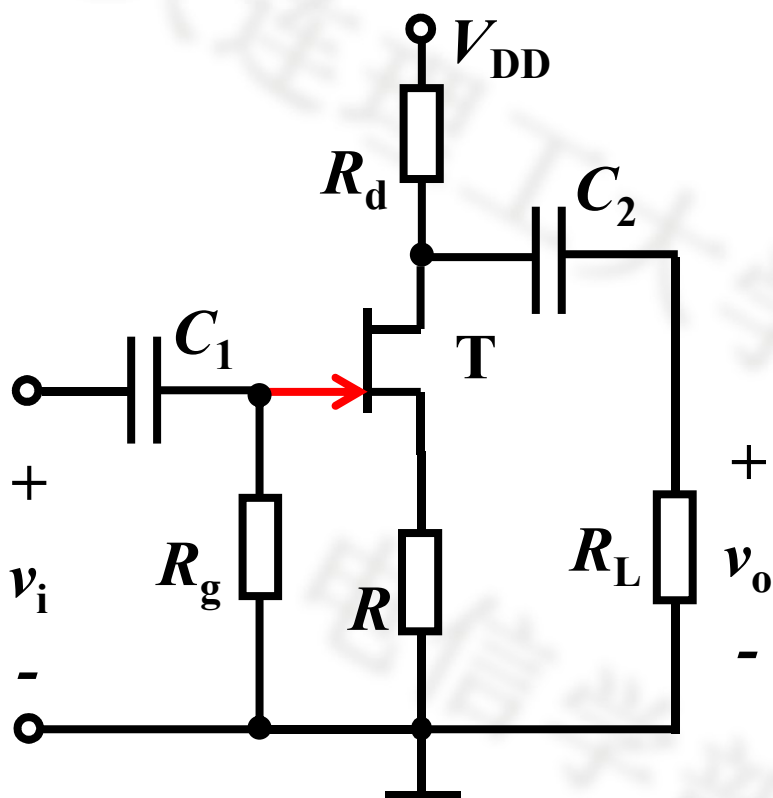
FET管静态输入电阻无穷大! $i_G \approx 0$

5.4 FET放大电路

2. 共源放大电路分析（CS）

例1. 某N-JFET共源极放大电路

（2）交流小信号模型

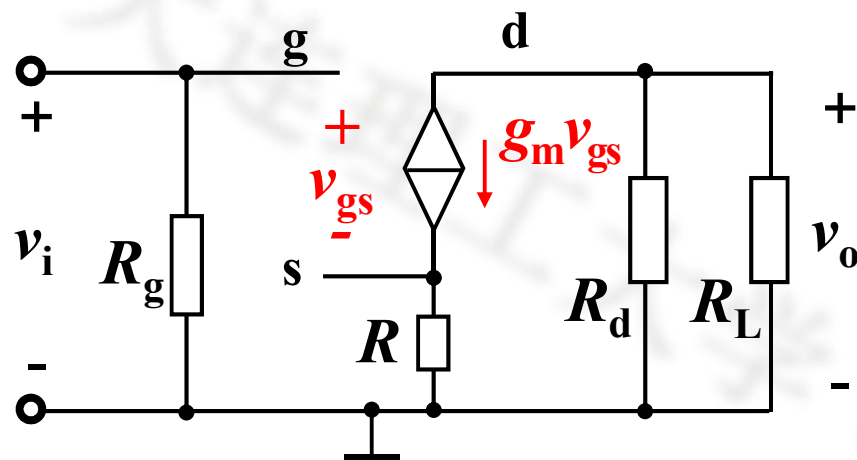


5.4 FET放大电路

2. 共源放大电路分析（CS）

例1. 某N-JFET共源极放大电路

(3) 交流分析计算



$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = R_g$$

$$R_o = \left. \frac{v_o}{i_o} \right|_{R_L=\infty, v_i=0} = R_d$$

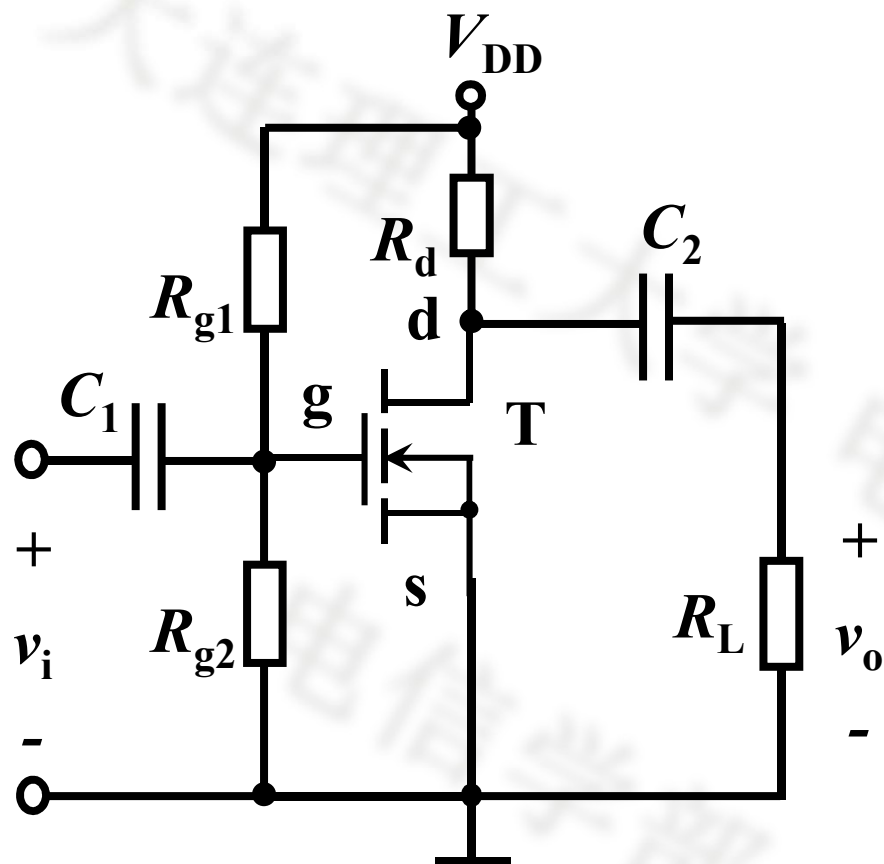
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-g_m v_{gs} (R_d // R_L)}{v_{gs} + g_m v_{gs} R} = \frac{-g_m R'_L}{1 + g_m R}$$

$$R'_L = R_d // R_L \quad g_m = 2\sqrt{K_n I_{DQ}}$$

5.4 FET放大电路

2. 共源放大电路分析（CS）

例1. 某增强型NMOS共源极放大电路



静态工作点分析

$$V_{GSQ} = \frac{V_{DD} R_{g2}}{R_{g1} + R_{g2}}$$

$$I_{DQ} = K_n (V_{GSQ} - V_T)^2$$

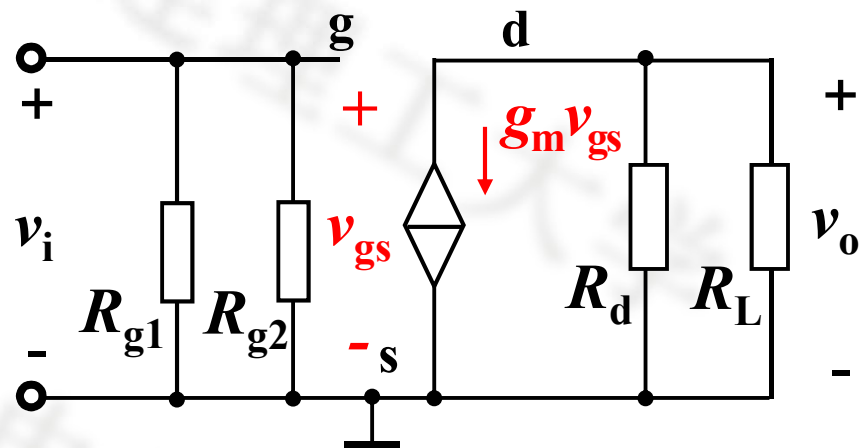
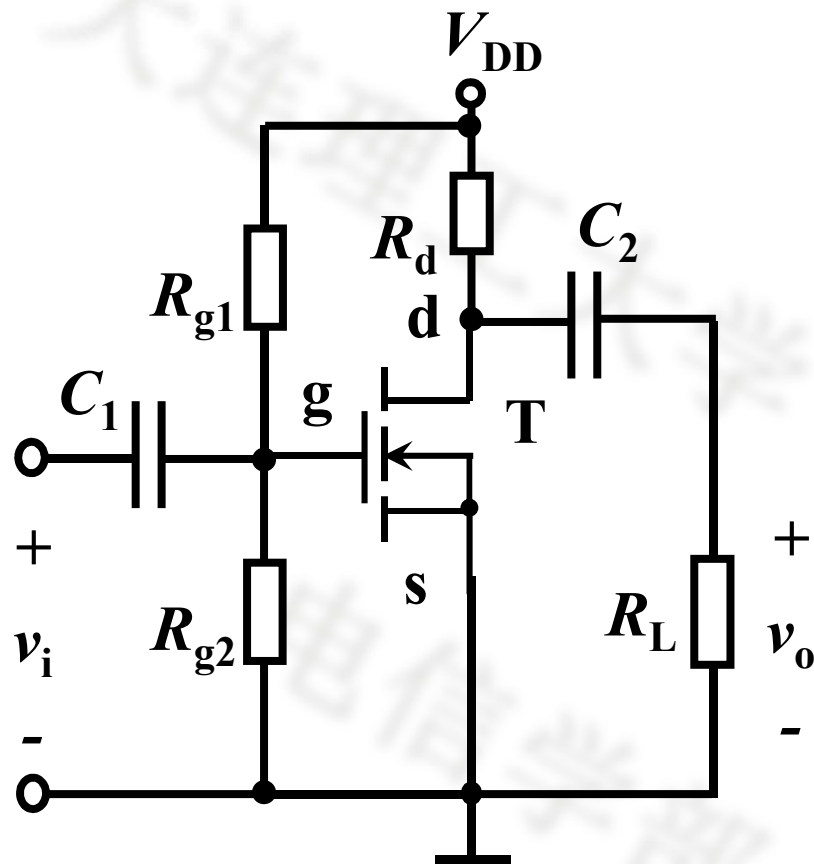
$$V_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} R_D$$

$$g_m = 2\sqrt{K_n I_{DQ}}$$

5.4 FET放大电路

2. 共源放大电路分析（CS）

例1. 某增强型NMOS共源极放大电路



$$R_i = R_{g1} // R_{g2}$$

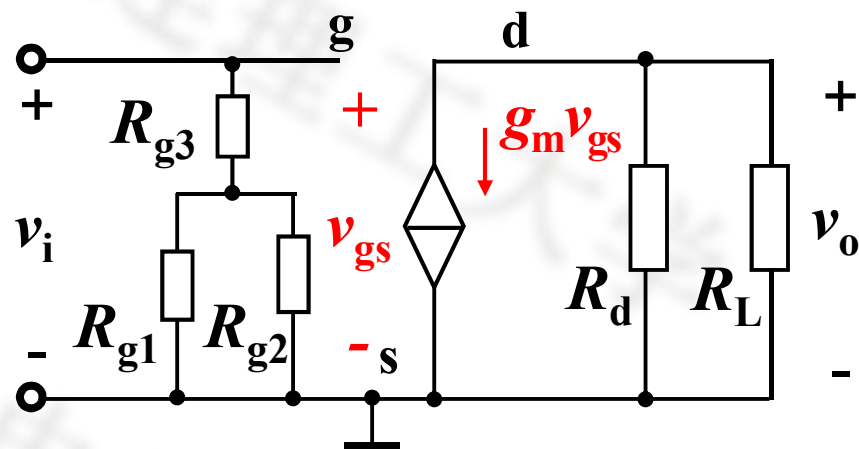
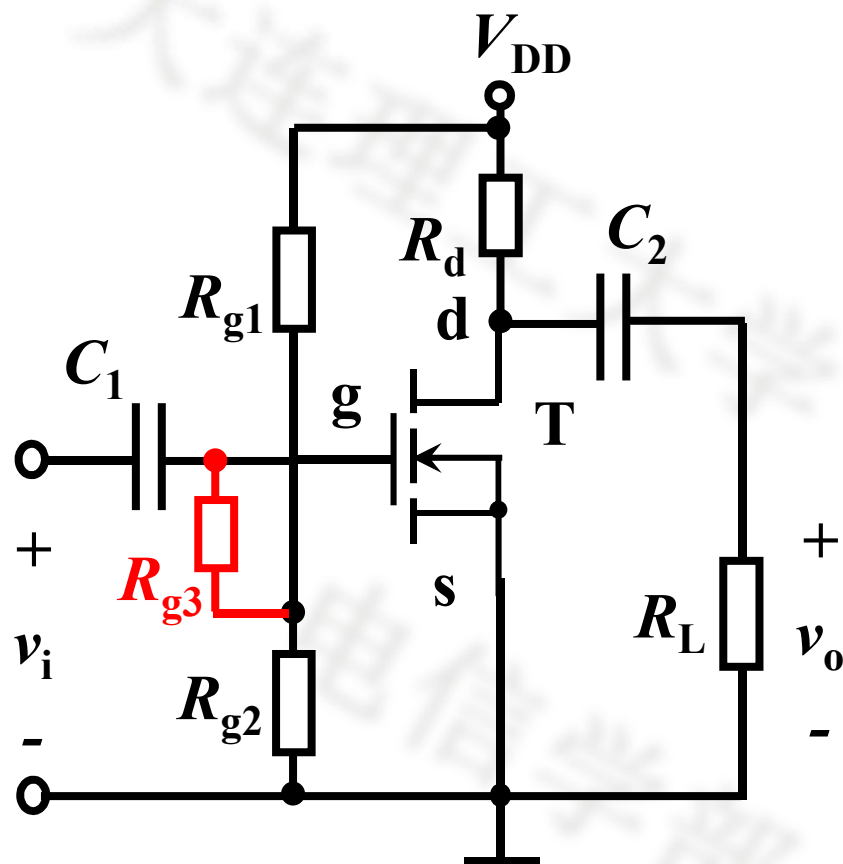
$$R_o = R_d$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -g_m (R_L // R_d)$$

5.4 FET放大电路

2. 共源放大电路分析（CS）

例1. 某增强型NMOS共源极放大电路



$$R_i = R_{g1} // R_{g2} + R_{g3}$$

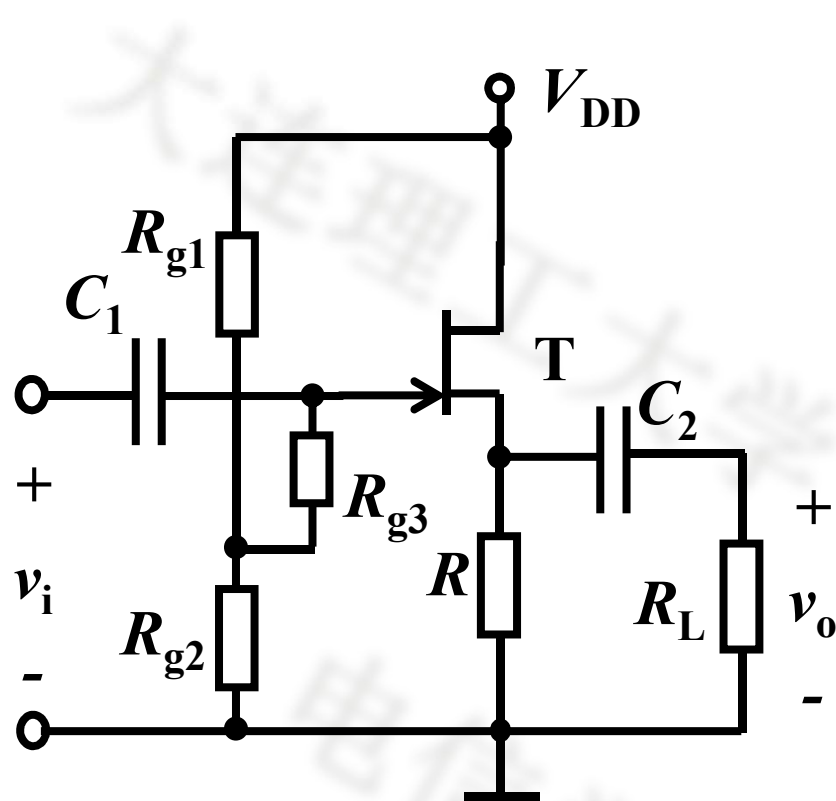
$$R_o = R_d$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -g_m (R_L // R_d)$$

常见的增加输入阻抗的方式（ R_{g3} 在兆欧量级）

5.4 FET放大电路

3. 共漏放大电路 (CD)

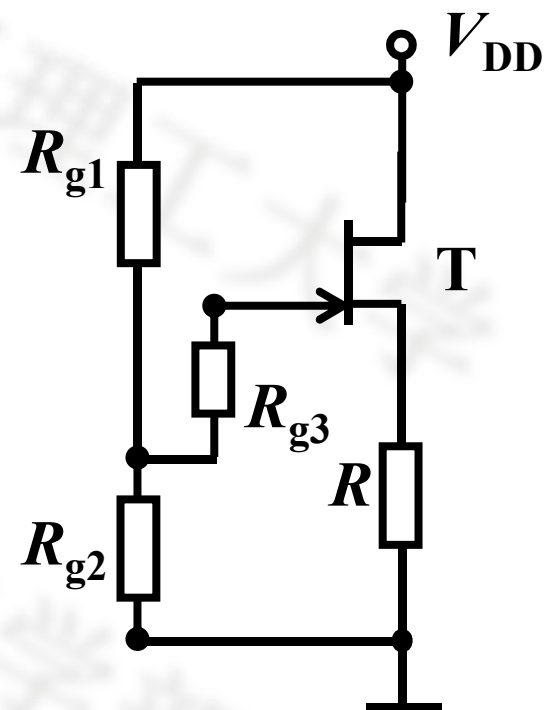


(1) 静态分析

$$\begin{cases} V_{GSQ} = V_G - V_S = V_G - I_{DQ}R \\ I_{DQ} = I_{DSS}[1 - (V_{GSQ}/V_P)]^2 \end{cases}$$

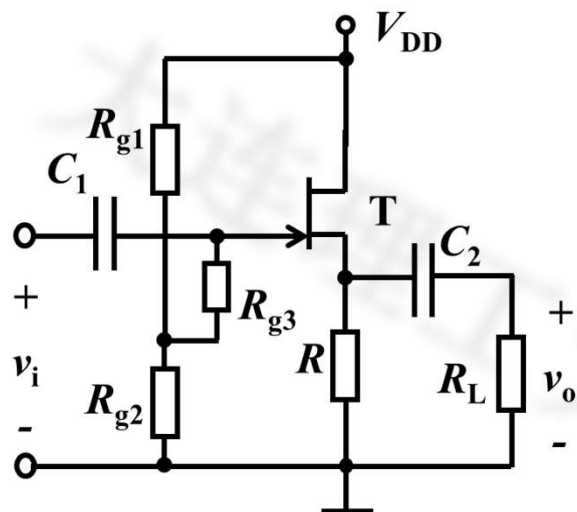
$$V_G = V_{DD}R_{g2}/(R_{g1} + R_{g2})$$

$$V_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ}R$$

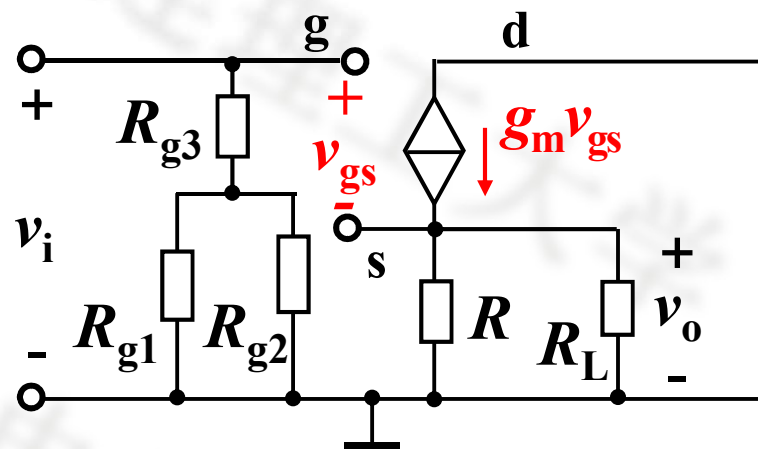


5.4 FET放大电路

3. 共漏放大电路 (CD)



(2) 微变等效电路



(3) 小信号参数计算

$$R_i = R_g + (R_{g1} // R_{g2})$$

$$R_o = \left. \frac{v_o}{i_o} \right|_{R_L = \infty, v_i = 0} = R // \frac{1}{g_m}$$

$$v_o = v_s \quad v_{gs} = 0 - v_s = -v_o \quad i_o = v_o / R - g_m v_{gs} = v_o (1/R + g_m)$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{g_m v_{gs} (R // R_L)}{v_{gs} + g_m v_{gs} (R // R_L)} = \frac{g_m R'_L}{1 + g_m R'_L} \quad R'_L = R // R_L$$

5.4 FET放大电路

4. 三种组态放大电路比较

BJT vs. FET

The small-signal characteristics

(交流指标)

$$\frac{\beta}{r_{be}} \Leftrightarrow g_m$$

	CE / CC / CB	CS / CD / CG
A_v	<p>CE : $A_v = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$</p> <p>CC : $A_v = \frac{(1 + \beta)R'_L}{r_{be} + (1 + \beta)R'_L}$</p> <p>CB : $A_v = +\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$</p>	<p>CS : $A_v = -g_m R'_L$</p> <p>CD : $A_v = \frac{g_m R'_L}{1 + g_m R'_L}$</p> <p>CG : $A_v = +g_m R'_L$</p>
R_i	<p>CE : $R_b // r_{be}$</p> <p>CC : $R_b // [r_{be} + (1 + \beta)R'_L]$</p> <p>CB : $R_e // [r_{be} / (1 + \beta)]$</p>	<p>CS : $R_{g1} // R_{g2}$</p> <p>CD : $R_g + (R_{g1} // R_{g2})$</p> <p>CG : $R // (1/g_m)$</p>
R_o	<p>CE : R_c</p> <p>CC : $R_e // \frac{r_{be} + R_b // R_s}{1 + \beta}$</p> <p>CB : R_c</p>	<p>CS : R_d</p> <p>CD : $R // (1/g_m)$</p> <p>CG : R_d</p>

5 场效应晶体管

小结

理解：MOSFET、JFET工作原理

掌握：各类场效应管的异同（符号、转移特性、输出特性）

掌握：FET的三种组态放大电路分析方法

预习：功率放大电路

作业

P249: 5.1.1, 5.1.2, 5.1.4;

P251: 5.2.9, 5.3.4, 5.5.4



FET的Q计算方法（避免解方程）

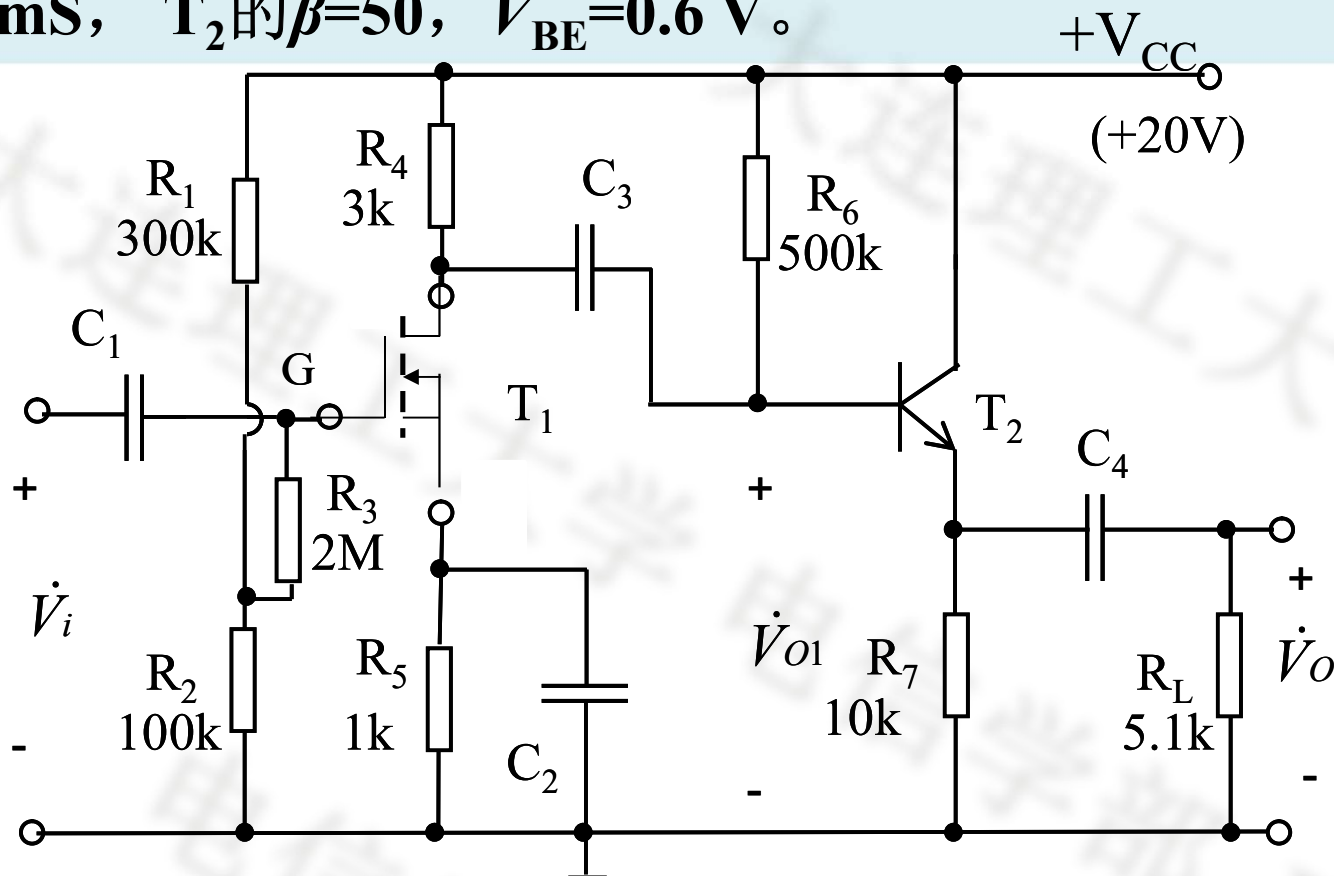
p212 例5.2.1、 P213例5.2.2& P214例5.2.3 : 已知 V_T , K_n

$$i_D = K_n (v_{GS} - V_T)^2 \rightarrow \text{P203 (5.1.6)} \quad \text{静态: } I_{DQ} = K_n (V_{GSQ} - V_T)^2$$

(1) 先求得 $V_{GSQ} \rightarrow$ 代入求 $I_{DQ} \rightarrow V_{DS}$ (例5.2.1)

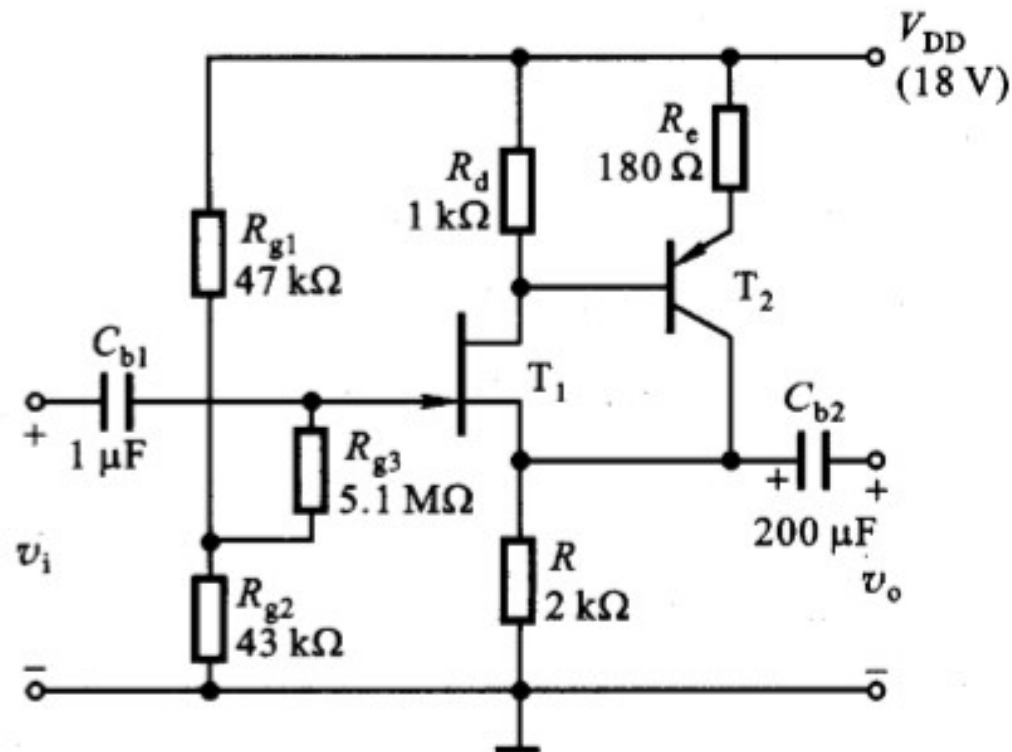
(2) 已知 $I_{DQ} \rightarrow$ 代入求 V_{GSQ} (例5.2.2; 例5.2.3)

两级电压放大电路中，两管均工作在放大状态。 T_1 的 $V_D=14V$ ， $g_m=3mS$ ， T_2 的 $\beta=50$ ， $V_{BE}=0.6V$ 。



- (1) 在 T_1 位置上画出合适的FET;
- (2) 求 T_1 的静态值 I_{DQ1} 、 V_{DSQ1} 、 V_{GSQ1} ?
- (3) 求 T_2 的静态值 I_{BQ2} 、 I_{CQ2} 、 V_{CEQ2} ?
- (4) 画出微变等效电路，并求 A_v 、 R_i 、 R_o ;
- (5) 求 C_3 引起的 f_L 。

5.5.1 电路参数如图题 5.5.1 所示。设 FET 的参数为 $g_m = 0.8 \text{ mS}$, $r_{ds} = 200 \text{ k}\Omega$; T_2 的 $\beta = 40$, $r_{be} = 1 \text{ k}\Omega$ 。试求放大器的电压增益 A_v 和输入电阻 R_i 。



- 静态工作点（需要已知 K_n , V_P , V_{BE} ）；
- 小信号模型；小信号电压增益；输入输出阻抗；
- 下限频率；