

#### 场效应管放大电路

○ 场效应管放大电路的结构与工作原理

场效应管属于压控型器件,工作在恒流区时栅-源端电压的大小决定了漏极电流的大小,因此类比晶体管,场效应管对输入信号放大的原理为:

$$\Delta u_{\rm GS} \rightarrow \Delta i_{\rm D} \rightarrow \Delta u_{\rm DS}$$

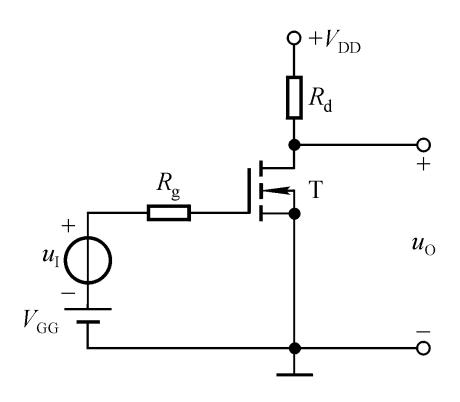
与晶体管放大电路类似,根据输入信号与输出信号端口的选择有不同的结构, 主要研究共源放大电路与共漏放大电路;

场效应管放大电路的分析方法仍然遵照"先静态、后动态"的思路;

#### 场效应管放大电路

O

#### 基本共源放大电路



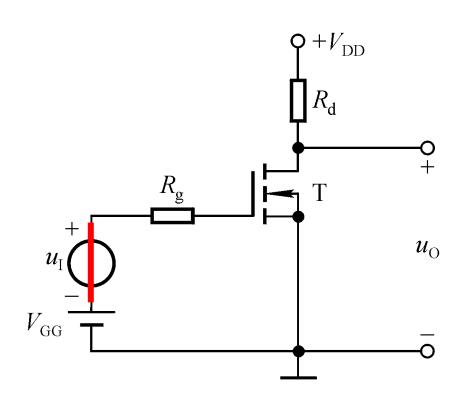
以N沟道增强型MOS管为例

输入为栅极,输出为漏极,"共源"

对应晶体管放大电路的"共射"

#### 场效应管放大电路

○ 基本共源放大电路的静态分析



#### 静态分析:

输入回路栅-源电压→漏极电流→输出回路电压

$$U_{\rm GQ} = V_{\rm GG} (I_{\rm G} \approx 0)$$
  $U_{\rm SQ} = 0$   $U_{\rm GSQ} = U_{\rm GQ} - U_{\rm SQ}$ 

$$I_{\mathrm{DQ}} = I_{\mathrm{DO}} (\frac{U_{\mathrm{GSQ}}}{U_{\mathrm{GS(th)}}} - 1)^2$$
(或根据已给的转移特性曲线)

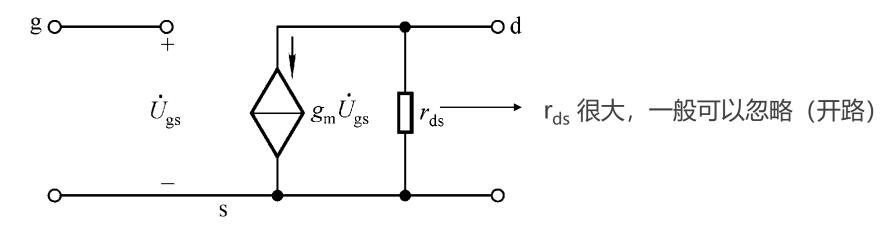
$$U_{\mathrm{DQ}} = V_{\mathrm{DD}} - I_{\mathrm{DQ}} R_{\mathrm{d}} \qquad U_{\mathrm{DSQ}} = U_{\mathrm{DQ}} - U_{\mathrm{SQ}}$$

前提:工作在恒流区!

#### 场效应管放大电路

○ 基本共源放大电路的动态分析——场效应管的动态等效电路模型

"压控电流源"——栅-源电压变化导致漏极电流的变化



"静态决定动态"

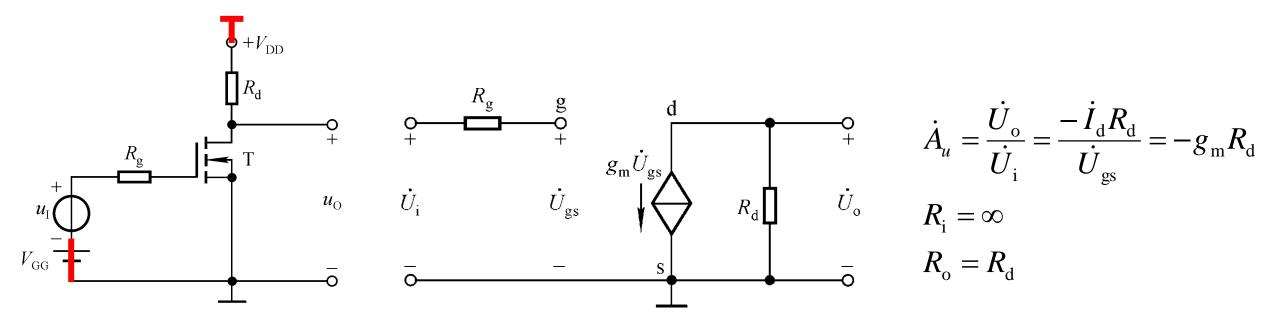
$$g_{\rm m} = \frac{\partial i_{\rm D}}{\partial u_{\rm GS}} \Big|_{U_{\rm DS}}$$
 根据转移特性曲线的切线斜率可求得  $g_{\rm m}$ 

$$g_{\rm m} = \frac{2}{U_{\rm GS(th)}} \sqrt{I_{\rm DO}I_{\rm DQ}} \quad \text{Th} \quad g_{\rm m} = \frac{2}{U_{\rm GS(off)}} \sqrt{I_{\rm DSS}I_{\rm DQ}}$$

不需要背结果,重点是分析过程!

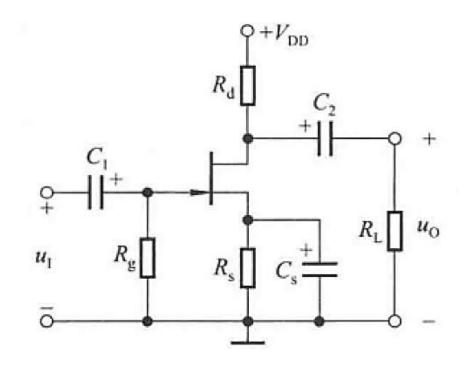
## 场效应管放大电路

○ 基本共源放大电路的动态分析

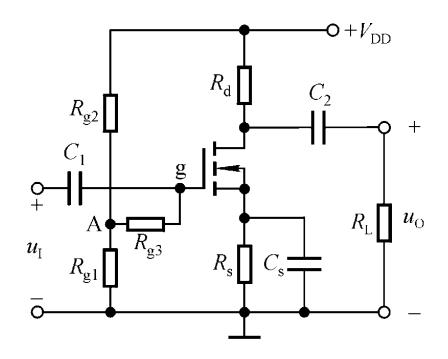


# 场效应管放大电路

其他典型共源放大电路



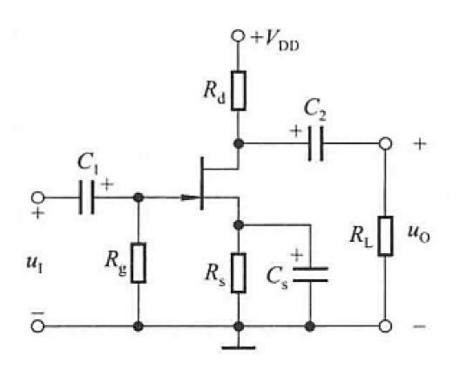
自给偏压电路



静态工作点稳定的共源放大电路

#### 场效应管放大电路

自给偏压电路



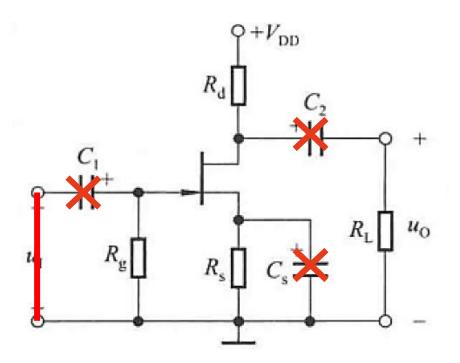
"自给偏压": 栅极不需要直流电源或偏置电位

原理——静态时 Rs 上的电压使得 U<sub>GS</sub> 为负, 因此管子导通,可以工作在恒流区;

适用于 JFET 或 耗尽型MOSFET

#### 场效应管放大电路

○ 自给偏压电路的静态分析



$$U_{\rm GQ} = 0 (I_{\rm G} \approx 0)$$
  $U_{\rm SQ} = I_{\rm DQ} R_{\rm s}$   $U_{\rm GSQ} = U_{\rm GQ} - U_{\rm SQ}$ 

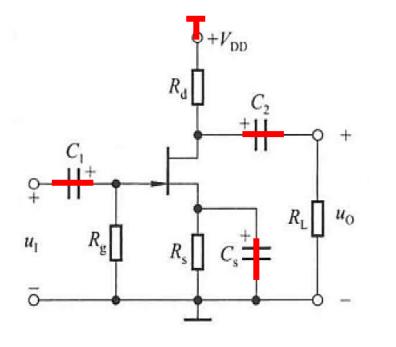
$$I_{DQ} = I_{DSS} (\frac{U_{GSQ}}{U_{GS(off)}} - 1)^2$$
(或根据已给的转移特性曲线)

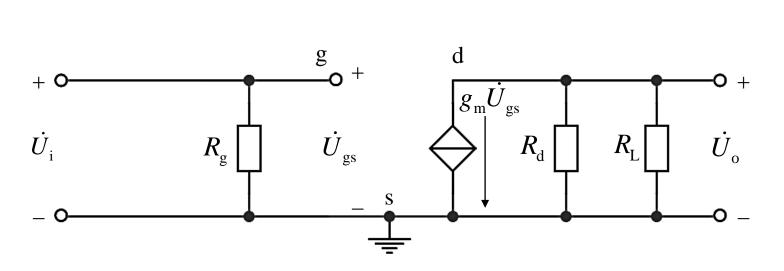
$$U_{\mathrm{DQ}} = V_{\mathrm{DD}} - I_{\mathrm{DQ}} R_{\mathrm{d}}$$
  $U_{\mathrm{DSQ}} = U_{\mathrm{DQ}} - U_{\mathrm{SQ}}$ 

不需要背结果,重点是分析过程!

# 场效应管放大电路







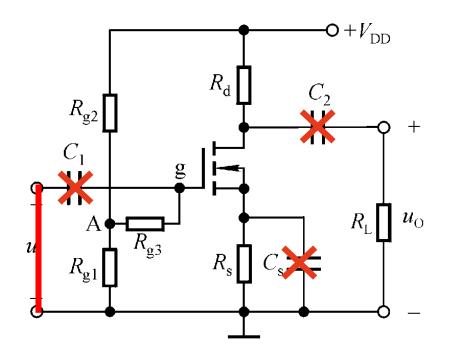
$$A_{\rm u} = \frac{\dot{U}_{\rm o}}{\dot{U}_{\rm i}} = -g_{\rm m}(R_{\rm d}//R_{\rm L})$$

$$R_{_{\mathrm{i}}}=rac{\dot{U}_{_{\mathrm{i}}}}{\dot{I}_{_{\mathrm{i}}}}=R_{_{\mathrm{g}}}$$

$$R_{
m o} = rac{\dot{U}_{
m o}}{\dot{I}_{
m o}}igg|_{{
m and} {
m on}} = R_{
m d}$$

#### 场效应管放大电路

○ 静态工作点稳定的共源放大电路——静态分析



$$U_{\rm GQ} = U_{\rm A} = kV_{\rm DD} = \frac{R_{\rm g1}}{R_{\rm g1} + R_{\rm g2}} V_{\rm DD} \quad U_{\rm SQ} = I_{\rm DQ} R_{\rm s} \quad U_{\rm GSQ} = U_{\rm GQ} - U_{\rm SQ}$$

$$I_{DQ} = I_{DO} \left( \frac{U_{GSQ}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2$$
(或根据已给的转移特性曲线)

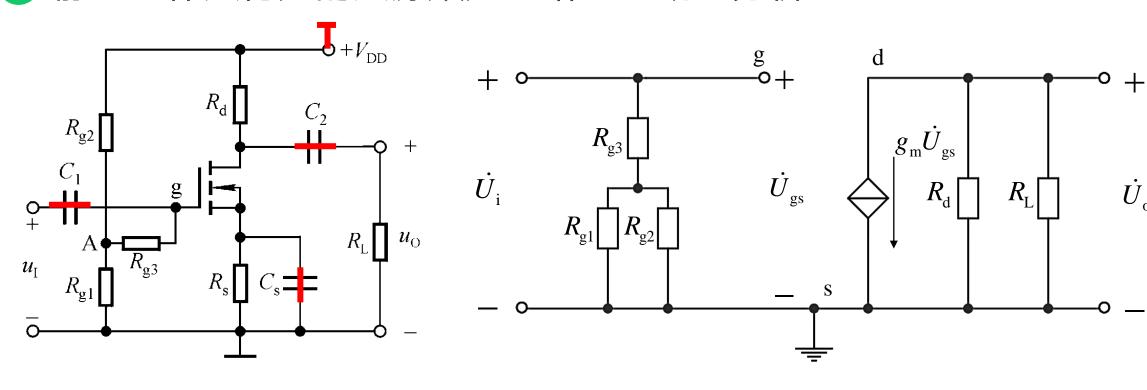
$$U_{\mathrm{DQ}} = V_{\mathrm{DD}} - I_{\mathrm{DQ}} R_{\mathrm{d}}$$
  $U_{\mathrm{DSQ}} = U_{\mathrm{DQ}} - U_{\mathrm{SQ}}$ 

稳定静态工作点的原理: R。直流负反馈

不需要背结果,重点是分析过程!

## 场效应管放大电路

静态工作点稳定的共源放大电路-



$$A_{\rm u} = \frac{\dot{U}_{\rm o}}{\dot{U}_{\rm i}} = -g_{\rm m}(R_{\rm d}/\!/R_{\rm L})$$
  $R_{\rm i} = \frac{\dot{U}_{\rm i}}{\dot{I}_{\rm i}} = R_{\rm g3} + (R_{\rm g1}/\!/R_{\rm g2})$   $R_{\rm o} = \frac{\dot{U}_{\rm o}}{\dot{I}_{\rm o}} \bigg|_{\chi_{\rm b} = \chi_{\rm g}}$ 

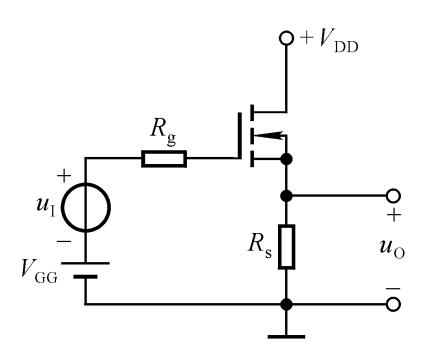
$$R_{\rm i} = \frac{\dot{U}_{\rm i}}{\dot{I}_{\rm i}} = R_{\rm g3} + (R_{\rm g1}//R_{\rm g2})$$

$$\left. R_{
m o} = rac{\dot{U}_{
m o}}{\dot{I}_{
m o}} 
ight|_{
m Ad} = R_{
m d}$$

#### 场效应管放大电路

○ 基

#### 基本共漏放大电路



以N沟道增强型MOS管为例

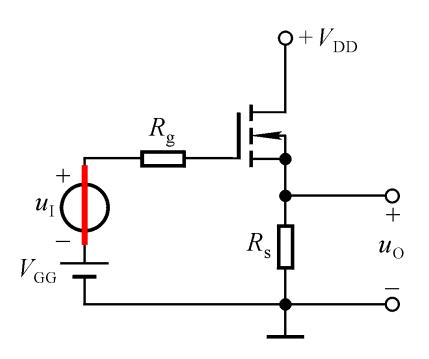
输入为栅极,输出为源极,"共漏"

对应晶体管放大电路的"共集"

#### 场效应管放大电路

O

#### 基本共漏放大电路的静态分析



$$U_{\text{GO}} = V_{\text{GG}} (I_{\text{G}} \approx 0)$$
  $U_{\text{SQ}} = I_{\text{DQ}} R_{\text{s}}$   $U_{\text{GSQ}} = U_{\text{GQ}} - U_{\text{SQ}}$ 

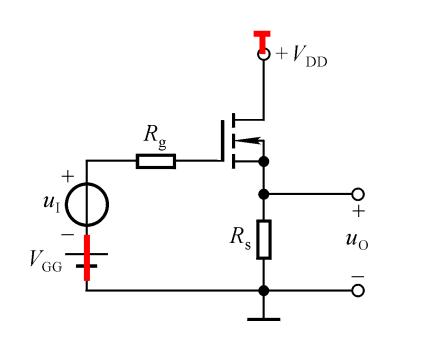
$$I_{DQ} = I_{DO} \left( \frac{U_{GSQ}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2$$
(或根据已给的转移特性曲线)

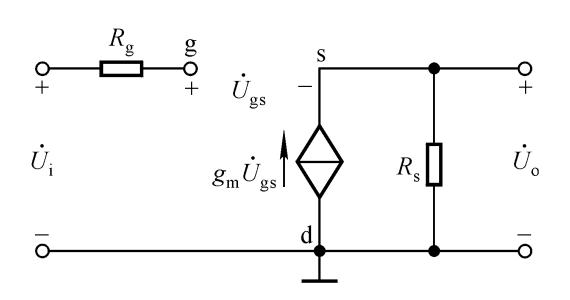
$$U_{\rm DQ} = V_{\rm DD} \qquad U_{\rm DSQ} = U_{\rm DQ} - U_{\rm SQ}$$

不需要背结果,重点是分析过程!

## 场效应管放大电路





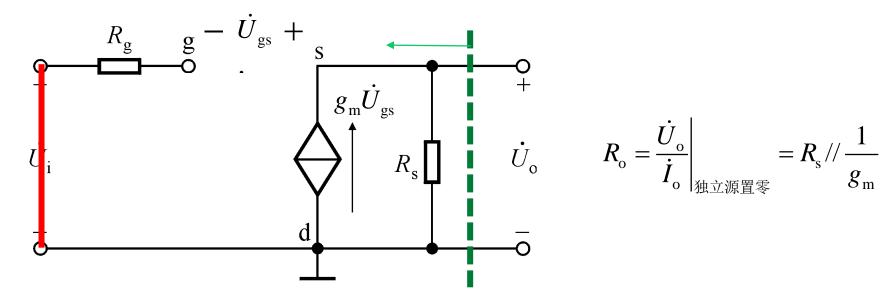


$$A_{\rm u} = \frac{\dot{U}_{\rm o}}{\dot{U}_{\rm i}} = \frac{g_{\rm m}\dot{U}_{\rm gs}R_{\rm s}}{\dot{U}_{\rm gs} + g_{\rm m}\dot{U}_{\rm gs}R_{\rm s}} = \frac{g_{\rm m}R_{\rm s}}{1 + g_{\rm m}R_{\rm s}}$$

$$A_{\rm u} = \frac{\dot{U}_{\rm o}}{\dot{U}_{\rm i}} = \frac{g_{\rm m}\dot{U}_{\rm gs}R_{\rm s}}{\dot{U}_{\rm gs} + g_{\rm m}\dot{U}_{\rm gs}R_{\rm s}} = \frac{g_{\rm m}R_{\rm s}}{1 + g_{\rm m}R_{\rm s}} \qquad R_{\rm i} = \infty \qquad R_{\rm o} = \frac{\dot{U}_{\rm o}}{\dot{I}_{\rm o}}\bigg|_{\text{$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$$$

#### 场效应管放大电路

○ 基本共漏放大电路的动态分析——求解输出电阻



将独立电压源短路后,受控源仍然保留,从输出端口外施电源往里看,假设受控电流源存在电流,且定义电压电流方向如图所示;  $R_g$  上无压降,此时g点电位与d点电位相同; 对于压控电流源,其端电压为  $U_{ds}$  即  $U_{qs}$  ,其电流为  $g_m U_{qs}$  ,因此压控电流源此时相当于一个大小为  $g_m$  的电导;

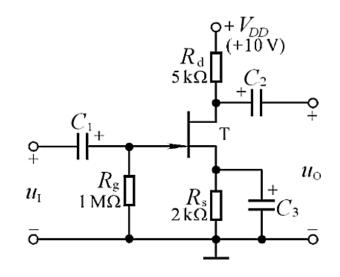
# 场效应管放大电路

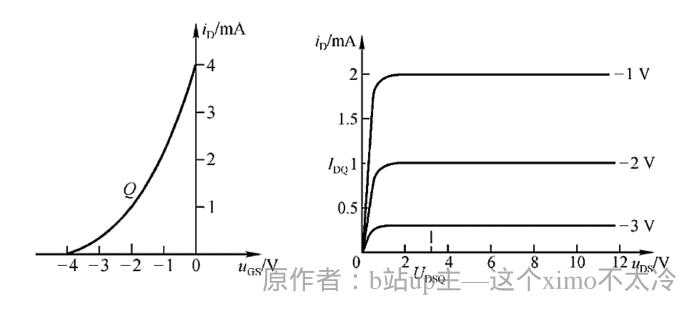
○ 例 1

已知如图所示场效应管放大电路,场效应管的转移特性和输出伏安特性曲线分别如图所示。

(1)利用图解法求解 Q 点;

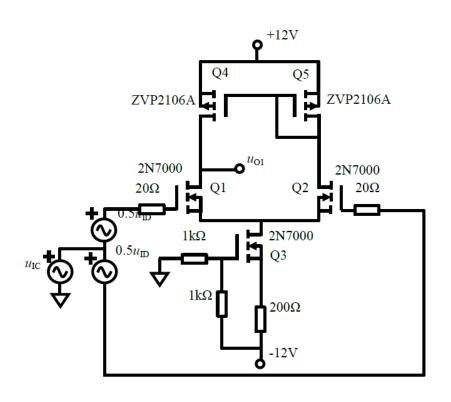
(2)求解电压放大倍数、输入电阻、输出电阻;





#### 场效应管放大电路

○ 由场效应管构成的差分放大电路和电流源电路示例



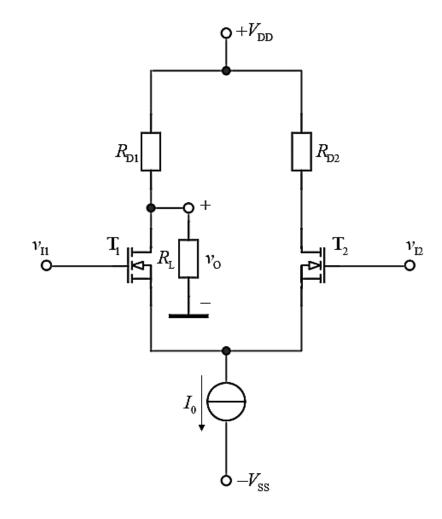
思考: 此电路图中场效应管  $Q_1 \sim Q_5$  的作用?

典型的 5-MOSFET 差分放大电路

#### 场效应管放大电路

○ 例 2

由场效应管组成的差分放大电路如图所示, $V_{\rm DD}=5$ V, $V_{\rm SS}=5$ V, $R_{\rm L}=R_{\rm D1}=R_{\rm D2}=10$ k $\Omega$ ,MOSFET  $T_1$ 和  $T_2$ 的参数一致, $g_{\rm m}=2$ mS;电流源电流  $I_0$ 为 0.2mA,**假设电流源的动态**输出电阻  $r_{\rm O}=100$ k $\Omega$ ;求解此电路的差模电压放大倍数 $A_{\rm d}$ ,共模电压放大倍数 $A_{\rm c}$ 和共模抑制比  $K_{\rm CMR}$ 。

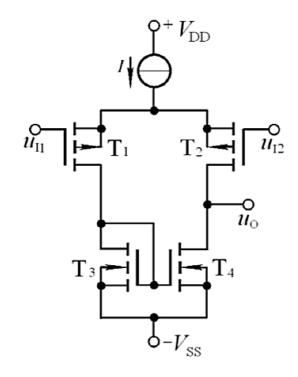


#### 场效应管放大电路



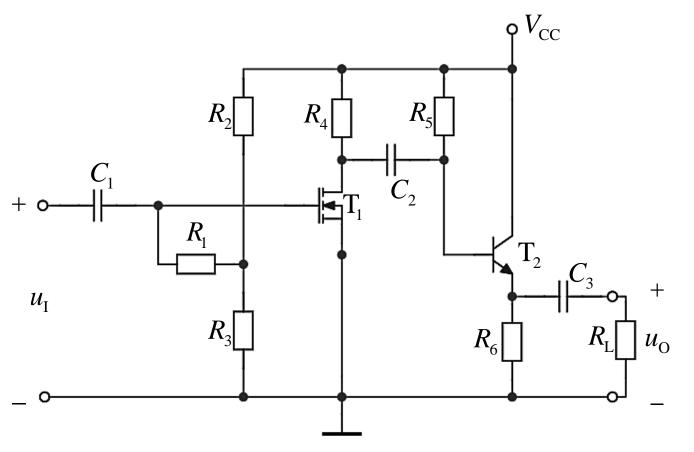
场效应管差分电路如图所示,  $T_1$  与  $T_2$  管特性相同, 它们的低频跨导均为  $g_m$ ;  $T_3$  与  $T_4$  管特性对称;  $T_2$  与  $T_4$  管 d-s 间的动态电阻分别为  $r_{ds2}$  和  $r_{ds4}$ ;

- (1)分析场效应管  $T_3$ 、 $T_4$  的作用;
- (2)求解空载时差模电压放大倍数的表达式;
- (3)若输出接单端负载  $R_L$  ,且负载  $R_L$  的阻值远小于场效应管漏-源之间的动态等效电阻,求差模电压放大倍数近似表达式;



#### 场效应管放大电路

○ 多级放大电路的动态分析实例 —— 共源+共集



T1: 栅极输入,漏极输出

T2: 基极输入, 发射极输出

因此两级电路, 类型为"共源+共集";

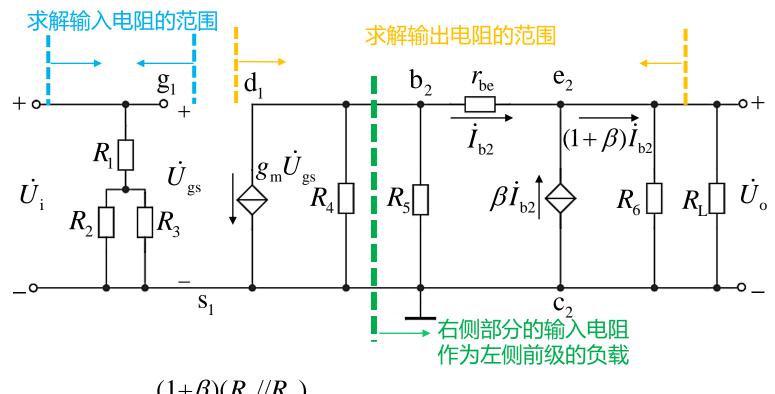
因此初步判断,后面求解输入电阻与输出电阻时,求解输入电阻与 T1 g 侧往右的项无关;即与第二级的电阻无关;且注意绝缘栅(g开路);求解输出电阻与 T2 e 侧往左的项有关,即与第一级的电阻有关;

#### 寻找共地点:

V<sub>CC</sub> 接地, T1 源极接地, T2 集电极接地;

#### 场效应管放大电路

○ 多级放大电路的动态分析实例 —— 共源+共集



 $A_{\rm u} = A_{\rm u1} \cdot A_{\rm u2} = -g_{\rm m} (R_4 / / R_{\rm L1}) \cdot \frac{(1 + \beta)(R_6 / / R_{\rm L})}{r_{\rm be} + (1 + \beta)(R_6 / / R_{\rm L})}$ 

其中, $R_{L1} = R_{i2} = [r_{be} + (1+\beta)(R_6//R_L)]//R_5$ 

$$R_{\rm i} = (R_2 / / R_3) + R_1$$

$$R_{\rm o} = \frac{(R_4//R_5) + r_{\rm be}}{1 + \beta} //R_6$$

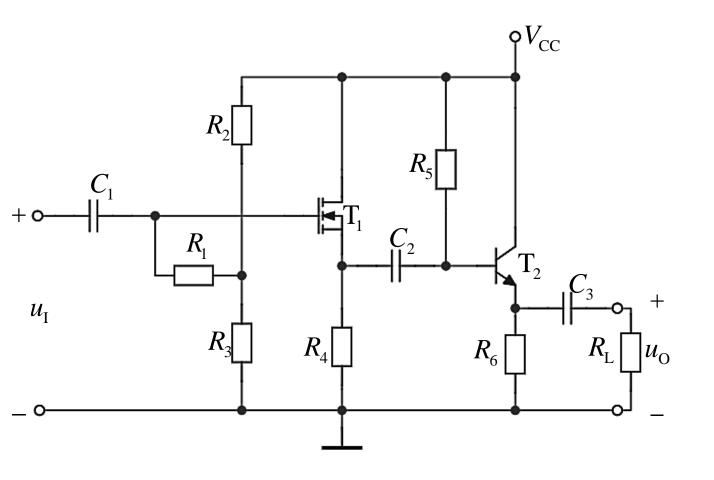
原作者:b站up主—这个ximo不太冷

b侧归算到e侧

除以 (1+β)

#### 场效应管放大电路

○ 多级放大电路的动态分析实例 —— 共漏+共集



T1: 栅极输入,源极输出

T2: 基极输入, 发射极输出

因此两级电路,类型为"共漏+共集";

求解输入电阻和输出电阻时注意g-s间开路对求解的影响;

寻找共地点:

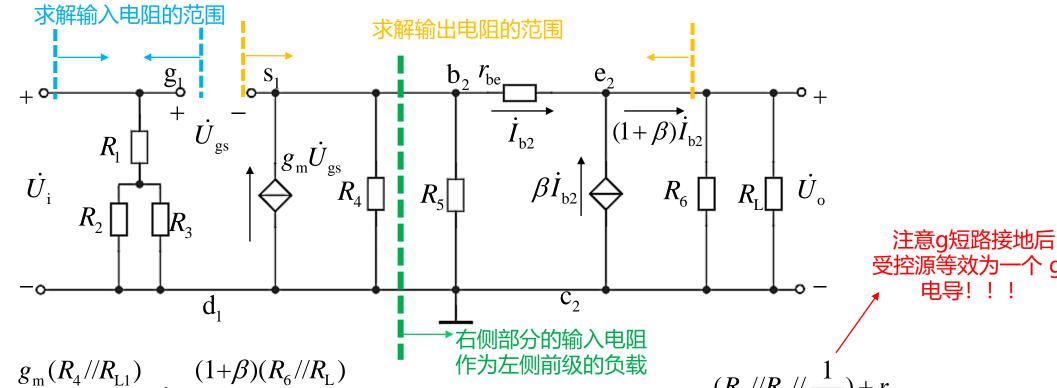
V<sub>CC</sub> 接地, T1 漏极接地, T2 集电极接地;

## 场效应管放大电路

注意:

共漏和共源的等效电路图表面上看起来很像, 但要注意求解时的区别, 注意共漏电路输出电阻的求解!

○ 多级放大电路的动态分析实例 —— 共漏+共集



 $R_{\rm i} = (R_2 / / R_3) + R_1$ 

$$A_{\rm u} = A_{\rm u1} \cdot A_{\rm u2} = \frac{g_{\rm m}(R_4//R_{\rm L1})}{1 + g_{\rm m}(R_4//R_{\rm L1})} \cdot \frac{(1+\beta)(R_6//R_{\rm L})}{r_{\rm be} + (1+\beta)(R_6//R_{\rm L})}$$

其中,
$$R_{L1} = R_{i2} = [r_{be} + (1+\beta)(R_6//R_L)]//R_5$$

$$R_{\rm o} = \frac{(R_4 //R_5 //\frac{1}{g_{\rm m}}) + r_{\rm be}}{1 + \beta} //R_6$$

#### 场效应管放大电路

已知两级放大电路如图所示,其中场效应管的转移特 性如右图所示,晶体管的放大倍数  $\beta$ =80,  $U_{\rm BE}$ =0.7V,  $r_{\rm bb}$ =200 $\Omega$ ; 其他参数如下:  $V_{\rm CC}$  =15 $\rm V$ ,  $R_1$ =10 $\rm M\Omega$ ,  $R_2=12k\Omega$ ,  $R_3=3k\Omega$ ,  $R_4=10k\Omega$ ,  $R_5=200k\Omega$ ,  $R_6=3k\Omega$ , 负载 $R_L$ =3k $\Omega$ ; 求解:

- (1)场效应管和晶体管的静态工作点  $Q_1$ 、  $Q_2$ ;
- (2)该两级放大电路的放大倍数、输入电阻、输出电阻;
- (3)如果把第一级场效应管放大电路改为共漏接法,即 将 $T_1$ 的输出端改为源极输出,同时电阻  $R_4$  移至 s 和地 之间,请求解此时的两级放大电路的放大倍数、输入 电阻、输出电阻的表达式 (无需计算出最终结果)。

