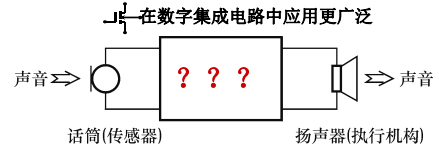
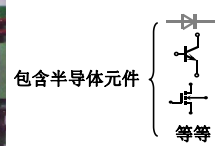


### 第3章 场效应管及其基本放大电路

- 3.1 结型场效应管
  - 3.2 绝缘栅场效应管
  - 3.3 场效应管的主要参数及交流小信号模型
  - 3.4 场效应管放大电路
  - 3.5 辅修内容
- 小结



你知道吗?  
你想知道吗?

- 场效应管的结构与特性?
- 场效应管有放大作用?
- 怎样用场效应管构成放大电路?

### 引言

场效应管 **FET** (Field Effect Transistor)

- 类型:
- 结型 **JFET** (Junction Field Effect Transistor)
  - 绝缘栅型 **IGFET** (Insulated Gate FET)
- 特点:
- 1. 单极性器件 (每个FET中只有一种载流子导电)
  - 2. 输入电阻高 ( $10^7 \sim 10^{15} \Omega$ , IGFET 可高达  $10^{15} \Omega$ )
  - 3. 工艺简单、易集成、功耗小、低噪声、成本低

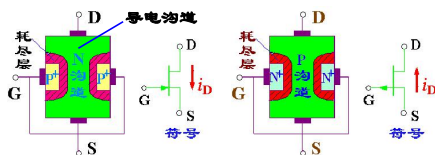
### 3.1 结型场效应管

#### 3.1.1 JFET的结构与工作原理

#### 3.1.2 JFET的特性曲线

#### 3.1.1 JFET的结构与工作原理

##### 1. 结构与符号



N 沟道 JFET

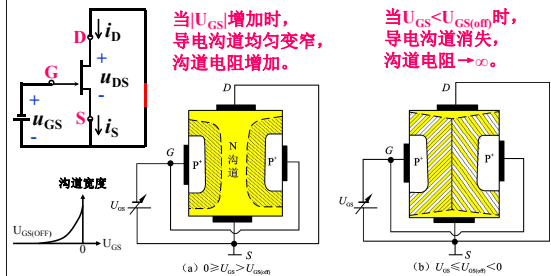
P 沟道 JFET

栅极G(g)— 漏极D(d)— 源极S(s)—

【问题引导】什么是增强型? 什么是耗尽型?  
结型场效应管是增强型还是耗尽型?

#### 2. N沟道JFET的工作原理

1)  $U_{GS}$  对沟道的控制作用 (设  $U_{DS}=0$ ) 当  $U_{GS}<0$ , PN结反偏



$U_{GS(off)}$ —夹断电压。对于N沟道,  $U_{GS(off)}<0$

2)  $u_{DS}$  对沟道的控制作用

【问题引导】沟道被夹断后，漏极电流就变成零了吗？

设  $u_{GS} \leq 0$ ,  $u_{DS} > 0$ ,  $u_{GD} = u_{GS} - u_{DS}$

沟道为楔型（因为从S到D端存在电位梯度）

沟道只有被完全夹断，漏极电流才变成零！

(a)  $u_{GD} > U_{GS(off)}$  时，未夹断状态。D—S呈电阻特性。

(b)  $u_{GD} = U_{GS(off)}$  时，预夹断状态。

(c)  $u_{GD} < U_{GS(off)}$  时，夹断状态。当  $u_{GS}$  恒定而  $u_{DS}$  增加时，一方面，导电沟道变窄使  $i_D$  减小；另一方面，D—S之间的电场（或电压）增加，使  $i_D$  增加，总的结果使  $i_D$  基本不变。即  $i_D$  基本不受  $u_{DS}$  的影响，而是受  $u_{GS}$  控制。

### 3.1.2 JFET的特性曲线

(1) 输出特性曲线： $i_D = f(u_{DS})|_{u_{GS}=\text{常数}}$

① 可变电阻区（非饱和区）： $u_{GS} > U_{GS(off)}$ ,  $u_{GD} > U_{GS(off)}$

② 放大区（恒流区或饱和区）： $u_{GS} > U_{GS(off)}$ ,  $u_{GD} < U_{GS(off)}$

③ 夹断区： $u_{GS} < U_{GS(off)}$

④ 击穿区：当  $U_{DS}$  大于击穿电压时，栅—漏耗尽层被破坏，价电子被大量激发， $i_D$  大增。

【问题引导】场效应管当开关管使用时是工作在什么区？

### 3.1.2 JFET的特性曲线

(2) 转移特性曲线：当  $U_{GS(off)} \leq u_{GS} \leq 0$  时（恒流区）：

$$i_D = f(u_{GS})|_{u_{DS}=\text{常数}} \quad i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}}\right)^2$$

【问题引导】与双极型三极管相比，为什么场效应管没有输入特性曲线？

场效应管的输入电阻=？栅极电流=？

## 3.2 绝缘栅场效应管

(Metal Oxide Semi—FET)

### 3.2.1 N沟道增强型MOSFET

### 3.2.2 N沟道耗尽型MOSFET

### 3.2.1 N沟道增强型MOSFET

#### 1. 结构与符号

S—源极 Source  
G—栅极 Gate  
D—漏极 Drain

在绝缘层上喷金  
金属引出栅极G

P型衬底（掺杂浓度低）  
耗尽层

#### 2. 工作原理

1)  $u_{GS}$  对导电沟道的影响 ( $u_{DS} = 0$ )

①  $u_{GS} = 0$  时，不存在导电沟道

②  $0 < u_{GS} < U_{GS(th)}$  (开启电压) 时，GB间的垂直电场赶走P区中的空穴形成离子区（耗尽层）

③  $u_{GS} > U_{GS(th)}$  时，衬底中电子被吸引到P区中G极下，形成导电沟道（反型层）， $u_{GS}$  越大沟道越厚。

2)  $u_{DS}$  对导电沟道和  $i_D$  的影响 ( $u_{GS} > U_{GS(th)}$ ,  $u_{GD} = u_{GS} - u_{DS}$ )

$u_{GS} > U_{GS(th)}$ ,  $u_{DS} > 0$  时, 沟道为楔型  
(越靠近D端, PN结反向电压越大)  
(PN结越厚)

(a)  $u_{GD} > U_{GS(th)}$  时,

未夹断状态。

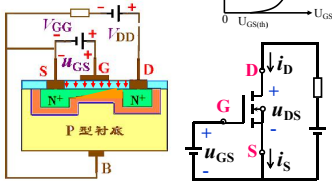
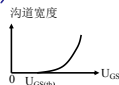
D—S 呈电阻特性。

(b)  $u_{GD} = U_{GS(th)}$  时,

预夹断状态。

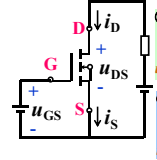
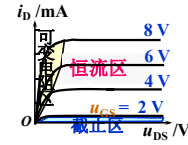
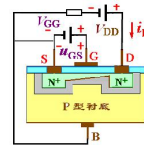
(c)  $u_{GD} < U_{GS(th)}$  时, 夹断状态。

当  $u_{GS}$  恒定而  $u_{DS}$  增加时, 一方面, 导电沟道变窄使  $i_D$  减小; 另一方面, D—S 之间的电场 (或电压) 增加, 使  $i_D$  增加, 总的结果使  $i_D$  基本不变。即  $i_D$  基本不受  $u_{DS}$  的影响, 而是受  $u_{GS}$  控制。



### 3. 特性曲线

(1) 输出特性曲线:  $i_D = f(u_{DS})|_{u_{GS}}$



① 可变电阻区 (非饱和区):  
沟道处于非夹断状态。

$u_{GS} > U_{GS(th)}$ ,  $u_{GD} > U_{GS(th)}$

② 恒流区 (饱和区):  
沟道夹断但未完全夹断。

$u_{GS} > U_{GS(th)}$ ,  $u_{GD} < U_{GS(th)}$

③ 夹断区 (截止区):  
导电沟道被完全夹断。

$u_{GS} \leq U_{GS(th)}$

④ 击穿区:  
当  $u_{DS}$  大于击穿电压时, 栅—漏耗尽层被破坏, 价电子被大量激发,  $i_D$  大增。

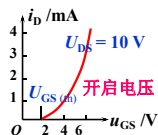
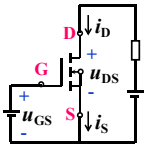
$u_{GS} > U_{GS(th)}$ ,  $u_{GD} < U_{GS(th)}$

$u_{GS} > U_{GS(th)}$ ,  $u_{GD} < U_{GS(th)}$

$u_{GS} > U_{GS(th)}$ ,  $u_{GD} < U_{GS(th)}$

$u_{GS} > U_{GS(th)}$ ,  $u_{GD} < U_{GS(th)}$

(2) 转移特性曲线:  $i_D = f(u_{GS})|_{u_{DS}}$



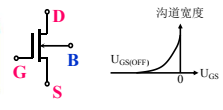
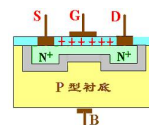
当  $u_{GS} > U_{GS(th)}$  时 (恒流区):  $i_D = I_{D0} \left( \frac{u_{GS}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2$

$I_{D0}$  —  $u_{GS} = 2U_{GS(th)}$  时的  $i_D$  值

【问题引导】MOSFET 的输入电阻=? 栅极电流=?

与双极型三极管相比, 为什么场效应管没有输入特性曲线?

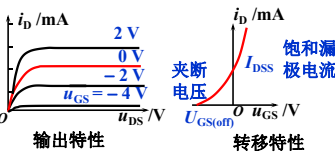
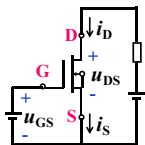
### 3.2.2 N 沟道耗尽型 MOSFET



$\text{SiO}_2$  绝缘层中掺入正离子在  $u_{GS} = 0$  时已形成沟道; 在 DS 间加正电压时形成  $i_D$ ,

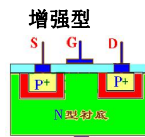
$u_{GS} \leq U_{GS(off)}$  时, 全夹断。

### N 沟道耗尽型 MOSFET (续)

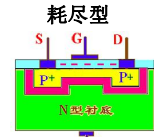


当  $u_{GS} \geq U_{GS(off)}$  时,  $i_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}} \right)^2$

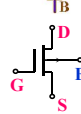
### 三、P 沟道 MOSFET



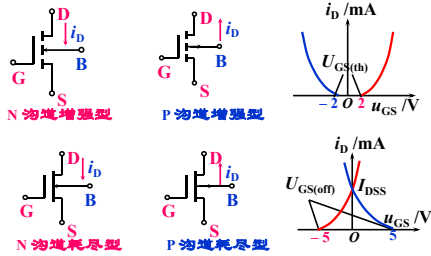
增强型



耗尽型



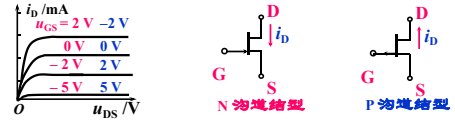
FET 符号、特性的比较



【问题引导】MOSFET的转移特性曲线是怎么变化的？

N沟道增强型转移特性曲线左移至与纵轴相交，变成N沟道耗尽型！

P沟道增强型转移特性曲线右移至与纵轴相交，变成P沟道耗尽型！

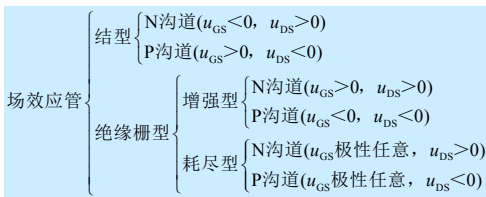


【问题引导】结型场效管的转移特性曲线是怎么变化的？

N沟道结型FET与N沟道耗尽型MOSFET相似！

P沟道结型FET与P沟道耗尽型MOSFET相似！

工作在恒流区时g-s、d-s间的电压极性



【问题思考】 $u_{GS}=0$ 可工作在恒流区的场效应管有哪一种？

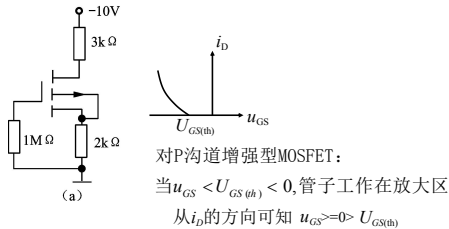
$u_{GS}>0$ 才可能工作在恒流区的场效应管有哪一种？

$u_{GS}<0$ 才可能工作在恒流区的场效应管有哪一种？

N沟道MOSFET工作区判断

表 3-1 N 沟道 MOS 管 3 个工作区的条件				
类型	截止区	可变电阻区	预夹断区	放大区
N 沟道增强型 MOSFET	$U_{GS} < U_{GS(th)}$ $U_{DS} > 0$	$U_{GS} > U_{GS(th)}$ $U_{DS} > 0$ (充分条件)	$U_{GS} > U_{GS(th)}$ $U_{DS} > 0$ (充分条件)	$U_{GS} > U_{GS(th)}$ $U_{DS} > 0$ (充分条件)
N 沟道耗尽型 MOSFET	$U_{GS} < U_{GS(th)}$ $U_{DS} > 0$	$U_{GS} > U_{GS(th)}$ $U_{DS} > 0$ (充分条件)	$U_{GS} > U_{GS(th)}$ $U_{DS} > 0$ (充分条件)	$U_{GS} > U_{GS(th)}$ $U_{DS} > 0$ (充分条件)

例A 判断下图各场效应管的工作状态。已知  $U_{GS(th)} = -2V$



对P沟道增强型MOSFET:

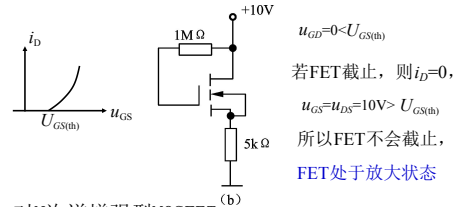
当  $u_{GS} < U_{GS(th)} < 0$ , 管子工作在放大区

从  $i_D$  的方向可知  $u_{GS} > 0 > U_{GS(th)}$

FET截止

为什么要画出转移特性曲线？ 为了便于分析！

例B 判断下图各场效应管的工作状态。已知  $U_{GS(th)} = 2V$



$u_{GD} = 0 < U_{GS(th)}$

若FET截止，则  $i_D = 0$ ,

$u_{GS} = u_{DS} = 10V > U_{GS(th)}$

所以FET不会截止，

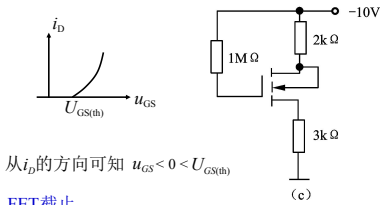
FET处于放大状态

对N沟道增强型MOSFET:

当  $u_{GS} > U_{GS(th)} > 0$ ;  $U_{GD} < U_{GS(th)}$ ,  $U_{DS} > 0$

管子工作在放大区

例C 判断下图各场效应管的工作状态。已知  $U_{GS(th)} = 2V$



从  $i_D$  的方向可知  $u_{GS} < 0 < U_{GS(th)}$

FET截止

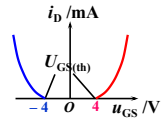
对N沟道增强型MOSFET:

当  $u_{GS} > U_{GS(th)} > 0$ ;  $U_{GD} < U_{GS(th)}$ ,  $U_{DS} > 0$

管子工作在放大区

例D 3个MOS管的各极电位和开启电压如表所示, 分析各管的工作状态。

管号	$U_{GS(th)}$ (V)	$V_S$ (V)	$V_G$ (V)	$V_D$ (V)
T1	4	-5	1	3
T2	-4	0	-3	-10
T3	-4	6	0	5



解:

因为给定  
为  $U_{GS(th)}$ ,  
故都为增  
强型

管号	$U_{GS(th)}$ (V)	$U_{GS}$ (V)	$U_{GD}$ (V)	工作状态
T1	4, N, 增强	$= 6 > 4$ $U_{GS} > U_{GS(th)}$	$= -2 < 4$ $U_{GD} < U_{GS(th)}$	恒流
T2	-4, P, 增强	$= -3 > -4$ $U_{GS} > U_{GS(th)}$		夹断
T3	-4, P, 增强	$= -6 < -4$ S 开启	$= -5 < -4$ D 开启	可变电阻

### 3.3 场效应管的主要参数 及交流小信号模型

#### 3.3.1 场效应管的主要参数

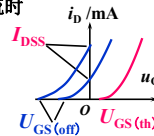
#### 3.3.2 场效应管的交流小信号模型

#### 3.3.1 场效应管的主要参数

(适用于所有场效应管)

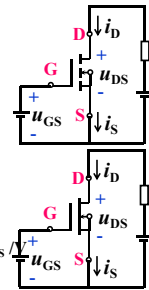
1. 开启电压  $U_{GS(th)}$  (增强型)  
夹断电压  $U_{GS(off)}$  (耗尽型)

指  $u_{DS} =$  某值, 使漏极  
电流  $i_D$  为某一小电流时  
的  $u_{GS}$  值。



2. 饱和漏极电流  $I_{DSS}$

耗尽型场效应管,  
当  $u_{GS} = 0$  时所对应的漏极电流。



#### 3. 直流输入电阻 $R_{GS}$

指漏源间短路时, 栅、源间加 反向  
电压呈现的直流电阻。

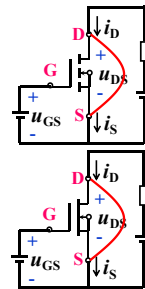
JFET:  $R_{GS} > 10^7 \Omega$

MOSFET:  $R_{GS} = 10^9 \sim 10^{15} \Omega$

#### 4. 低频跨导 $g_m$

$$g_m = \left. \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{GS}} \right|_{U_{DS}=\text{常数}}$$

反映了  $u_{GS}$  对  $i_D$  的控制能力,  
单位 S (西门子)。一般为几毫西 (mS)



#### 5. 漏源动态电阻 $r_{ds}$

$$r_{ds} = \left. \frac{\Delta u_{DS}}{\Delta i_D} \right|_{u_{GS}=\text{常数}}$$

#### 6. 极间电容 $C_{gs}$ , $C_{gd}$ , $C_{ds}$

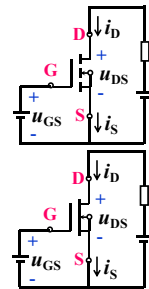
#### 7. 最大漏极功耗 $P_{DM}$

$P_{DM} = u_{DS} i_D$ , 受温度限制。

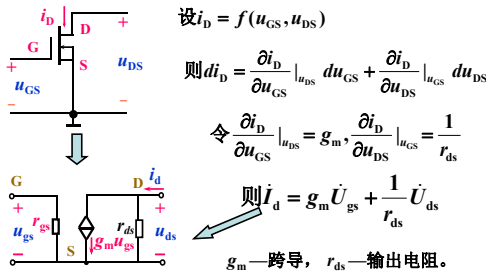
#### 8. 最大漏极电流 $I_{DM}$

#### 9. 栅源击穿电压 $U_{BR(GS)}$

#### 10. 漏源击穿电压 $U_{BR(DS)}$

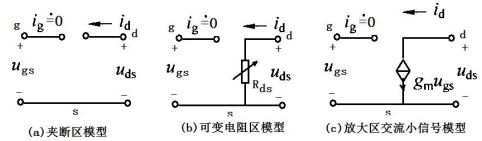


### FET的低频小信号模型



通常  $r_{gs} \rightarrow \infty, r_{ds} \gg R_L$ , 故可以忽略(认为断开)。  
为什么要建立小信号模型? 为了便于动态分析!

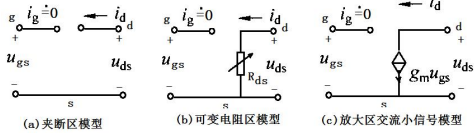
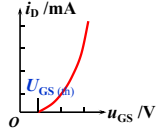
### 3.3.2 场效应管的交流小信号模型



对于N沟增强型, 根据

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

$$g_m = \frac{di_D}{du_{GS}} = 2I_{D0} \left( \frac{u_{GS}}{U_{GS(th)}} - 1 \right) \frac{1}{U_{GS(th)}} = \frac{2}{U_{GS(th)}} \sqrt{I_{D0} I_{DQ}}$$



对于N沟道耗尽型, 根据

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

$$g_m = \frac{di_D}{du_{GS}} = 2I_{DSS} \left( 1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}} \right) \frac{-1}{U_{GS(off)}} = \frac{-2}{U_{GS(off)}} \sqrt{I_{DSS} I_{DQ}}$$

【问题引导】对于P沟道增强型、耗尽型, 如何求  $g_m$ ?

## 3.4 场效应管放大电路

### 3.4.1 场效应管放大电路的静态偏置及静态分析

### 3.4.2 场效应管放大电路的动态分析

### 3.4.1 场效应管放大电路的静态偏置及静态分析

#### 1. 自给偏压电路

$$U_{GSQ} = V_{GQ} - V_{SQ} = -I_{DQ} R_S < 0$$

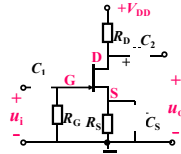
$$(I_D = I_S)$$

偏置电压  $U_{GS}$  由谁提供?

栅极电阻  $R_G$  的作用: (1) 为栅偏压提供通路  
(2) 泻放栅极积累电荷

源极电阻  $R_S$  的作用: 提供负栅偏压

漏极电阻  $R_D$  的作用: 把  $i_D$  的变化变为  $u_{DS}$  的变化



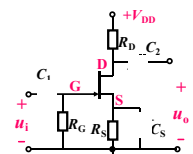
#### 估算法静态分析

$$\begin{cases} U_{GSQ} = -I_{DQ} R_S \\ I_{DQ} = I_{DSS} \left( 1 - \frac{U_{GSQ}}{U_{GS(off)}} \right)^2 \end{cases}$$

$I_{DSS}$ —饱和漏极电流  
 $U_{GS(off)}$ —夹断电压

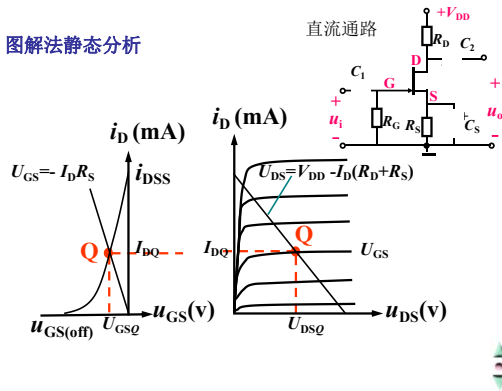
解方程组得

$$\begin{cases} U_{GSQ} = \dots \\ I_{DQ} = \dots \\ U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} (R_D + R_S) \end{cases}$$



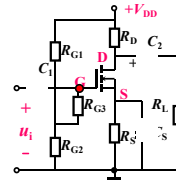
直流通路

图解法静态分析



## 2. 分压式自偏压电路

估算法静态分析



调整电阻的大小, 可获得:

$$\begin{aligned} U_{GSQ} &> 0 \\ U_{GSQ} &= 0 \\ U_{GSQ} &< 0 \end{aligned}$$

$$U_{GSQ} = V_{GQ} - V_{SQ} = \frac{V_{DD} \cdot R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} - I_{DQ} R_S$$

$$I_{DQ} = I_{D0} \left( \frac{U_{GSQ}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2$$

解方程组得

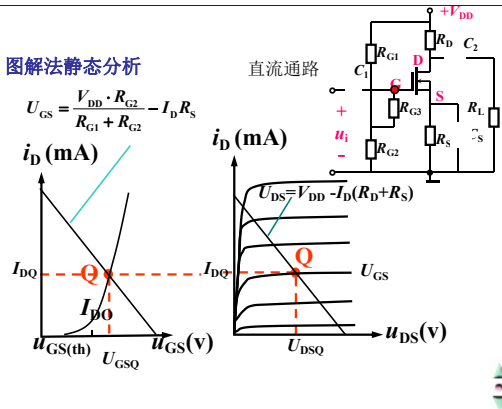
$$U_{GSQ} = \dots$$

$$I_{DQ} = \dots$$

$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} (R_D + R_S)$$

偏置电压  $U_{GS}$  由谁提供?

图解法静态分析

例G: 耗尽型 N 沟道 MOS 管,  $R_G = 1 \text{ M}\Omega$ , $R_S = 2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_D = 12 \text{ k}\Omega$ ,  $V_{DD} = 20 \text{ V}$ 。 $I_{DSS} = 4 \text{ mA}$ ,  $U_{GS(off)} = -4 \text{ V}$ , 求  $i_D$  和  $u_O$ 。

$$\because I_G = 0 \quad \therefore U_{GS} = -I_D R_S$$

$$\therefore I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS(off)}} \right)^2$$

为什么舍去?

$$\therefore I_D = 4 \left( 1 - \frac{-I_D \times 2}{-4} \right)^2$$

因为沟道夹断, 无法放大!

$$I_D^2 - 5I_D + 4 = 0$$

$$I_{D1} = 4 \text{ mA} \Rightarrow U_{GS} = -8 \text{ V} < U_{GS(off)} \quad \text{增根(舍去)}$$

$$I_{D2} = 1 \text{ mA} \Rightarrow U_{GS} = -2 \text{ V} \quad \text{在放大区}$$

$$U_{DS} = V_{DD} - I_D (R_S + R_D) = 20 - 14 = 6 \text{ (V)}$$

$$u_O = V_{DD} - I_D R_D = 20 - 14 = 8 \text{ (V)}$$

例H: 已知  $U_{GS(off)} = -0.8 \text{ V}$ ,  $I_{DSS} = 0.18 \text{ mA}$ , 求“Q”。

$$V_{GQ} = \frac{24 \times 64}{200 + 64} = 5.8 \text{ (V)}$$

$$U_{GSQ} = 5.8 - (10 + 2) I_{DQ} = 5.8 - 12 I_{DQ}$$

$$I_{DQ} = I_{DSS} \left( 1 - \frac{U_{GSQ}}{U_{GS(off)}} \right)^2 = 0.18 \left( 1 - \frac{5.8 - 12 I_{DQ}}{-0.8} \right)^2$$

解方程得:  $I_{DQ1} = 0.69 \text{ mA}$ ,  $U_{GSQ} = -2.5 \text{ V}$  (增根, 舍去)

$$I_{DQ2} = 0.45 \text{ mA}, \quad U_{GSQ} = 0.4 \text{ V}$$

$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} (R_D + R_S) = 14.1 \text{ V}$$

## 3.4.2 场效应管放大电路的动态分析

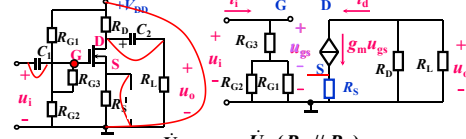
场效应管等效电路分析法

从输入端口看入, 相当于电阻  $r_{gs}(\infty)$ 。从输出端口看入为受  $u_{gs}$  控制的电流源。

$$i_d = g_m u_{gs}$$

## 1. 共源放大电路

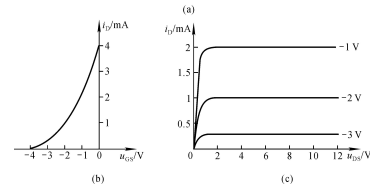
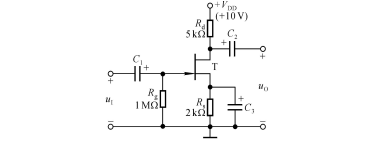
作交流通路



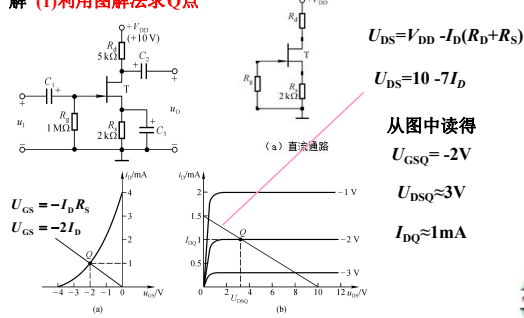
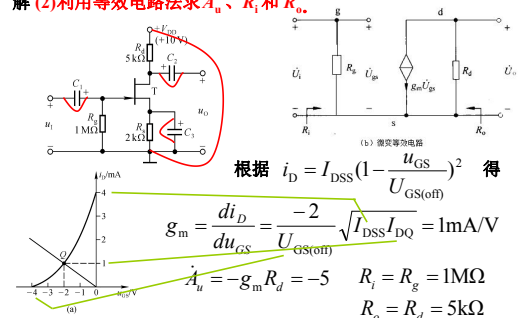
有  $C_S$  时:  $\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-g_m \dot{U}_{gs} (R_D // R_L)}{\dot{U}_{gs}} = -g_m R'_L$

$R_i = R_{G1} + R_{G2} // R_{G3}$      $R_o = R_D$      $R_i, R_o$  不变

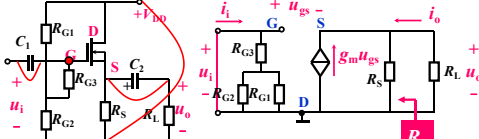
无  $C_S$  时:  $\dot{A}_u = \frac{-g_m \dot{U}_{gs} (R_D // R_L)}{\dot{U}_{gs} + g_m \dot{U}_{gs} R_S} = \frac{-g_m R'_L}{1 + g_m R_S}$

例: (1)利用图解法求Q点; (2)利用等效电路法求  $A_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$ 。例: (1)利用图解法求Q点; (2)利用等效电路法求  $A_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$ 。

解 (1)利用图解法求Q点

例: (1)利用图解法求Q点; (2)利用等效电路法求  $A_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$ 。解 (2)利用等效电路法求  $A_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$ 。

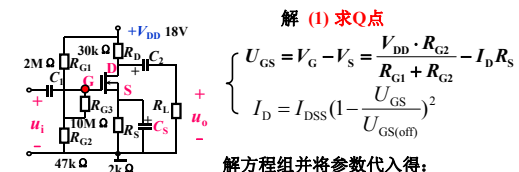
## 2. 共漏放大电路



$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{g_m \dot{U}_{gs} (R_S // R_L)}{\dot{U}_{gs} + g_m \dot{U}_{gs} (R_S // R_L)} = \frac{g_m R'_L}{1 + g_m R'_L} < 1$

$R_i = R_{G1} + R_{G2} // R_{G3}$

$R_o = \frac{u_o}{i_o} = \frac{u_o}{\frac{u_o}{R_S} - g_m u_{gs}} = \frac{u_o}{\frac{u_o}{R_S} - g_m \frac{u_o}{1 + g_m R'_L}} = \frac{u_o}{\frac{u_o}{R_S} + g_m u_o} = R_S // \frac{1}{g_m}$

例: 已知  $U_{GS(off)} = -1V$ ,  $I_{DSS} = 0.5mA$ 。(1) 求Q点; (2)利用等效电路法求  $A_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$  的表达式。

解方程组并将参数代入得:

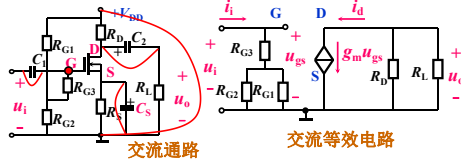
$I_{D1} = 1.59mA \Rightarrow U_{GS} = -2.78V < U_{GS(off)}$  增根(舍去)

$I_{D2} = 0.31mA \Rightarrow U_{GS} = -0.22V$  在放大区

$U_{DS} = V_{DD} - I_D(R_S + R_D) = 8.1V$



例: (1)利用图解法求Q点; (2)利用等效电路法求  $A_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$ 。



解 (2)利用等效电路法求  $A_u$ 、 $R_i$  和  $R_o$ 。

$$A_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-g_m \dot{U}_{gs} (R_D // R_L)}{\dot{U}_{gs}} = -g_m R'_L$$

$$R_i = R_{G1} + R_{G2} // R_{G3} \quad R_o = R_D$$

其中  $g_m = \frac{di_D}{du_{GS}} = \frac{-2}{U_{GS(off)}} \sqrt{I_{DSS} I_{DQ}}$