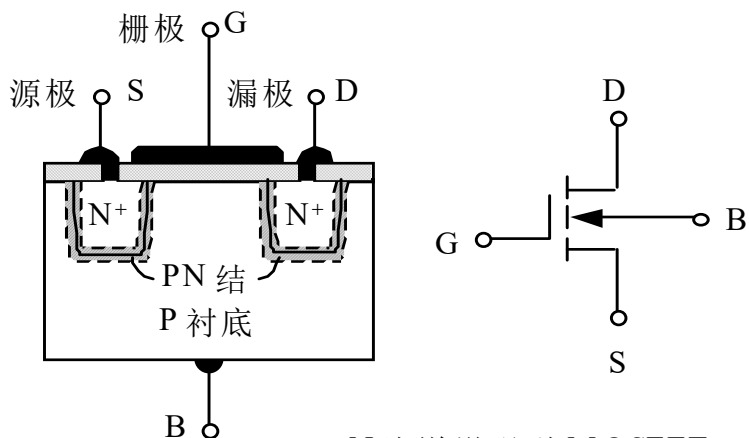




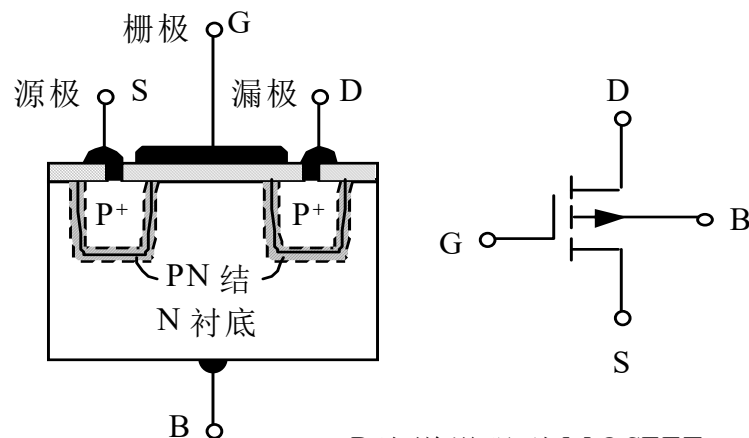
# 3. 场效应管的工作原理

## 3.1 场效应管工作原理（先讲N沟道，再扩展到P沟道）

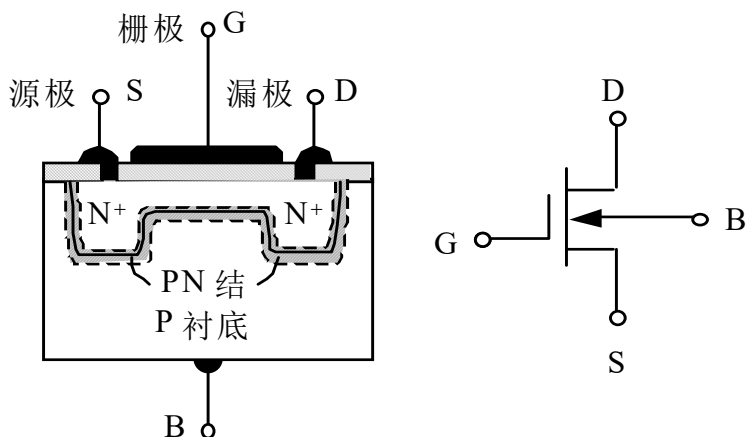
### 2 绝缘栅场效应管-结构及符号



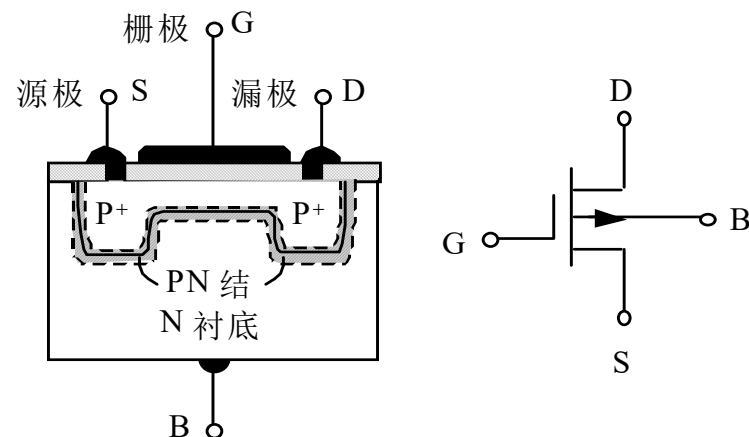
N沟道增强型 MOSFET



P沟道增强型 MOSFET



N沟道耗尽型 MOSFET



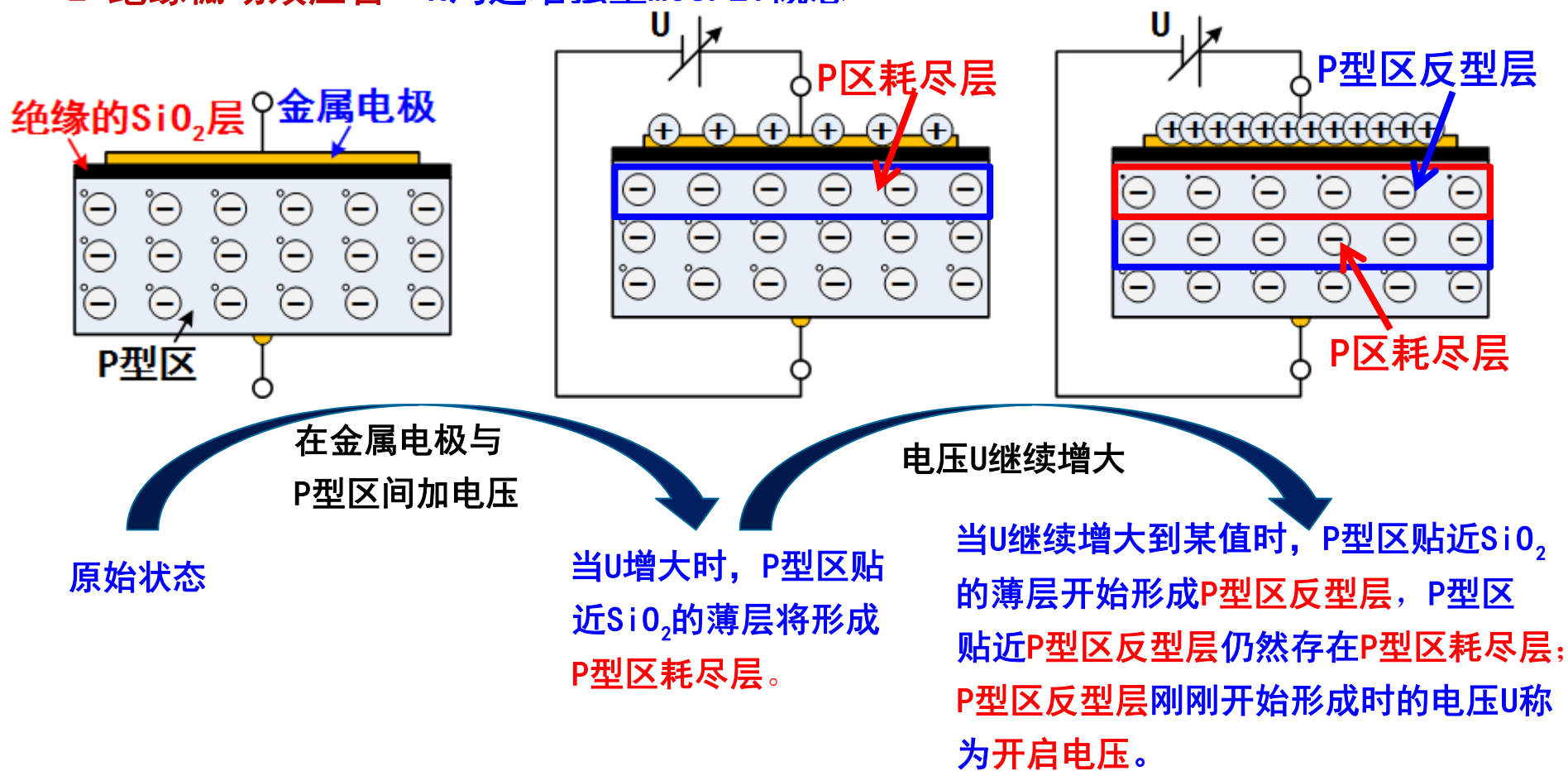
P沟道耗尽型 MOSFET



### 3. 场效应管的工作原理

#### 3.1 场效应管工作原理（先讲N沟道，再扩展到P沟道）

##### 2 绝缘栅场效应管- N沟道增强型MOSFET概念

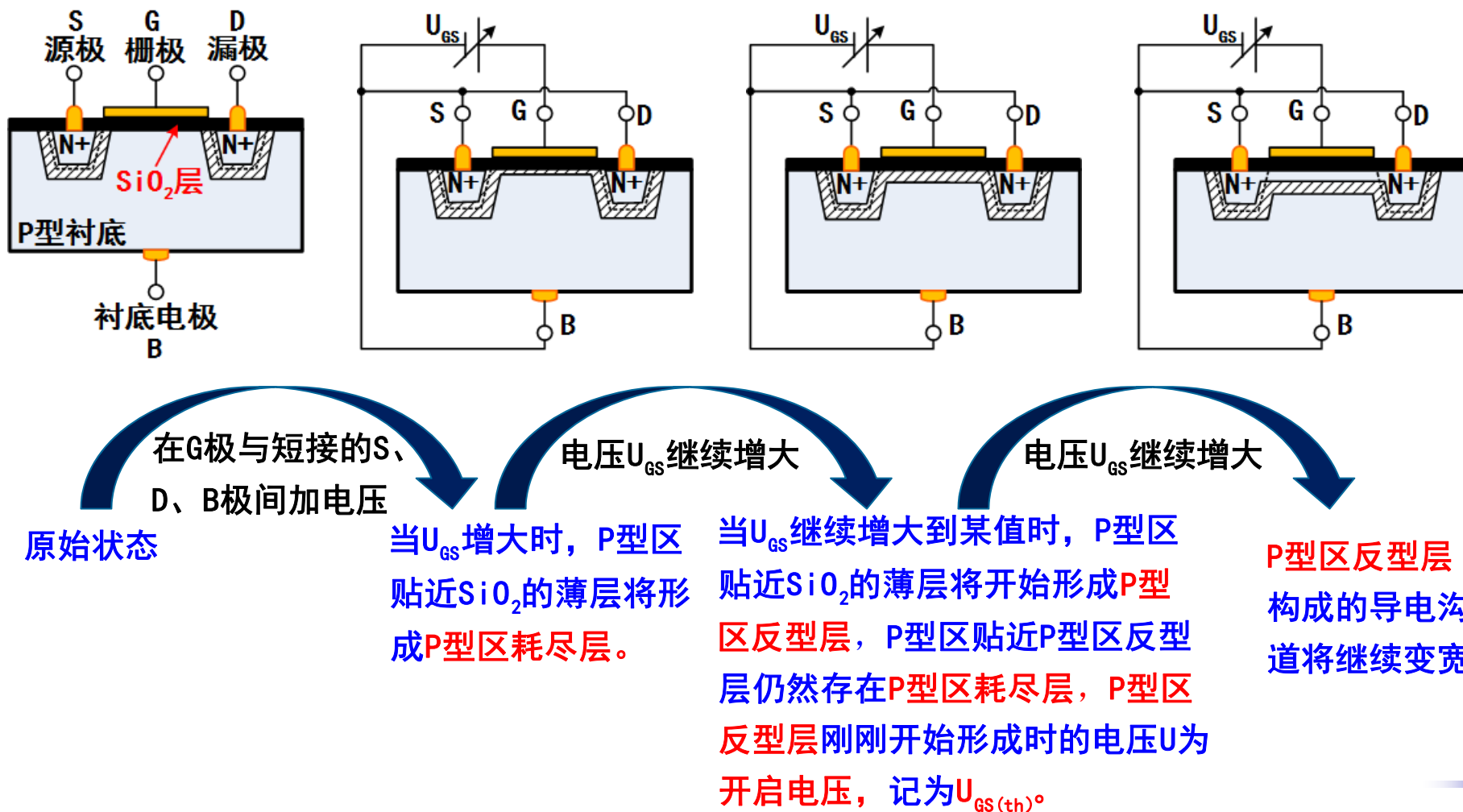




### 3. 场效应管的工作原理

#### 3.1 场效应管工作原理（先讲N沟道，再扩展到P沟道）

##### 2 绝缘栅场效应管-N沟道增强型MOSFET概念

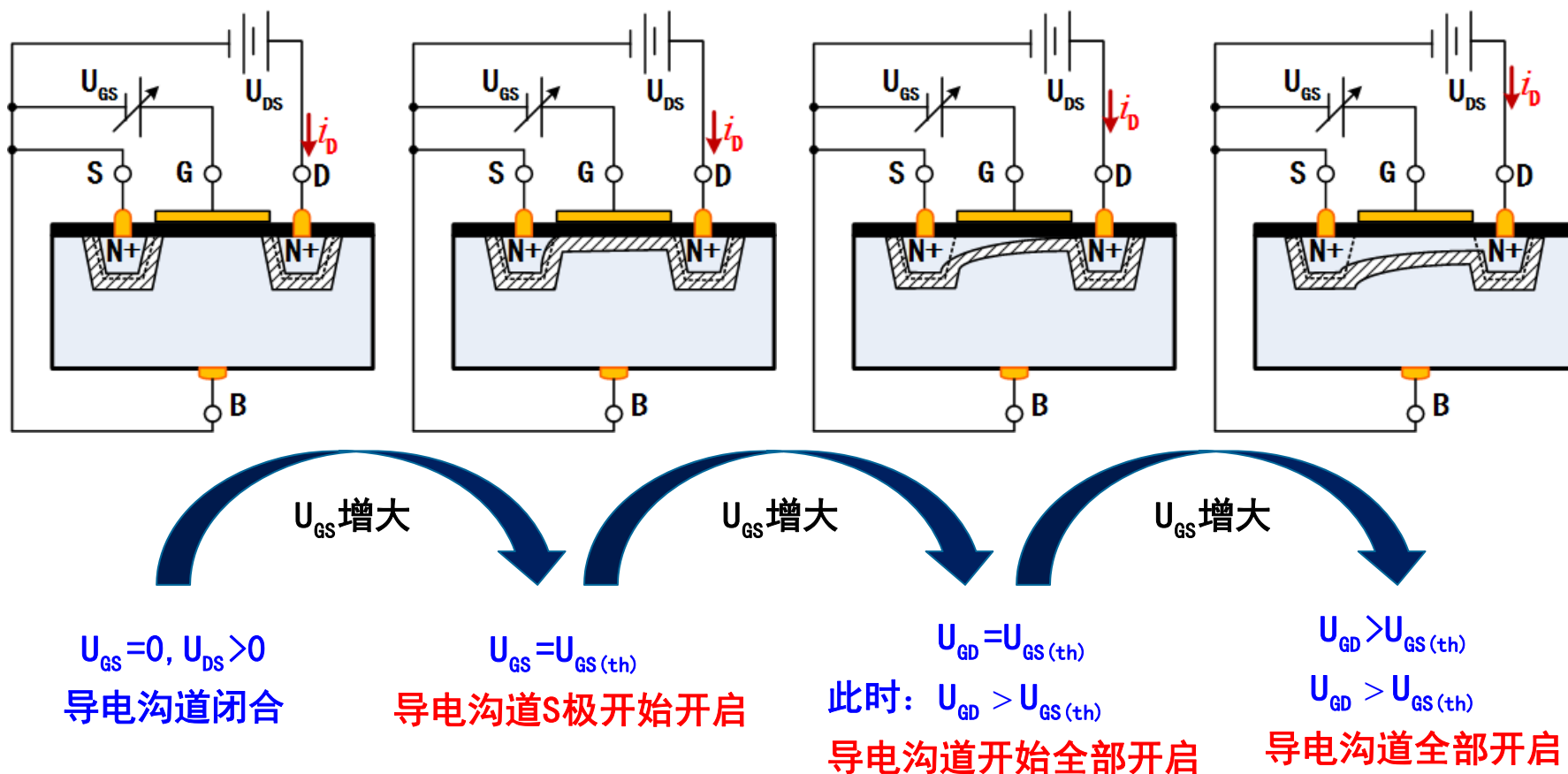




### 3. 场效应管的工作原理

#### 3.1 场效应管工作原理（先讲N沟道，再扩展到P沟道）

##### 2 绝缘栅场效应管- N沟道增强型MOSFET工作原理

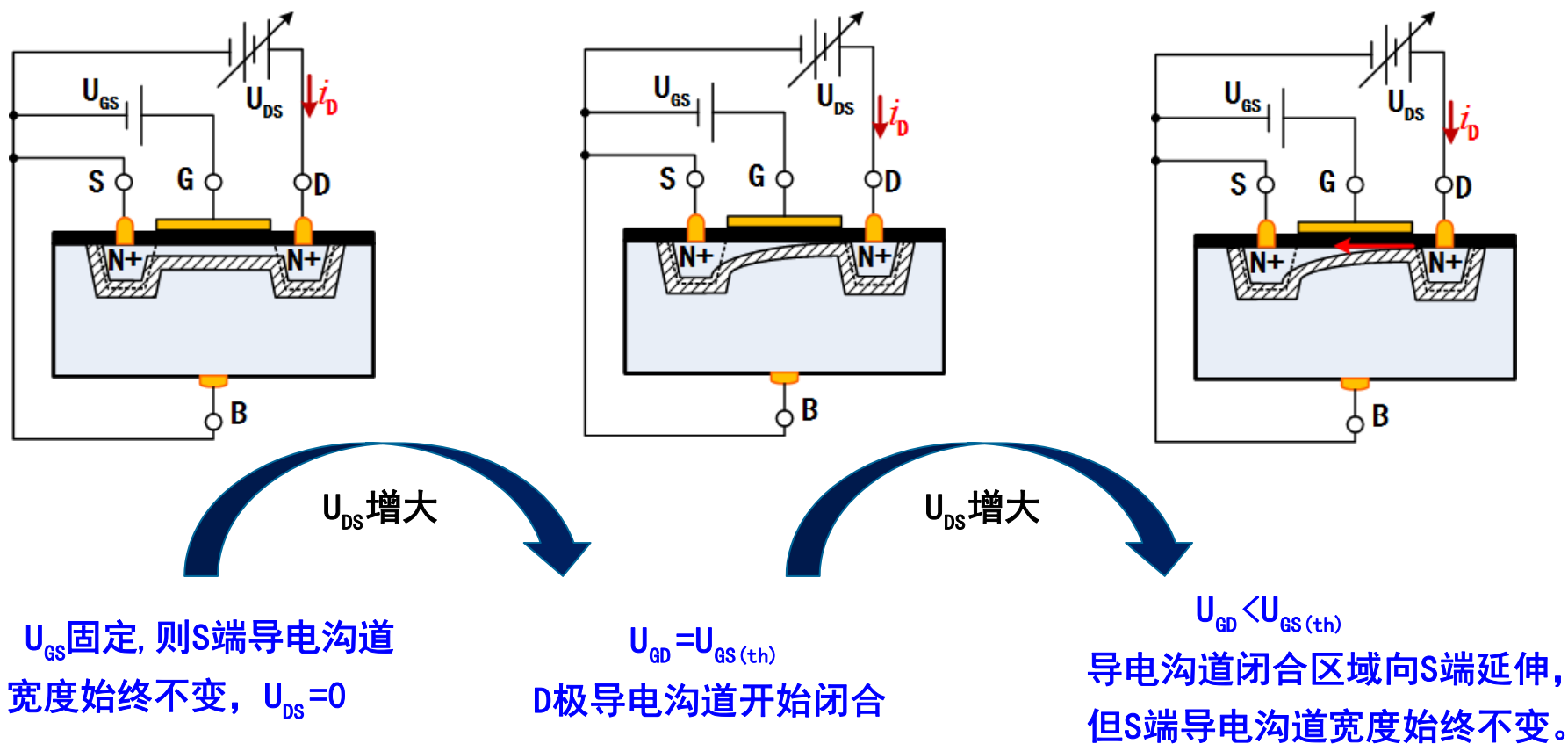




## 3. 场效应管的工作原理

### 3.1 场效应管工作原理（先讲N沟道，再扩展到P沟道）

#### 2 绝缘栅场效应管- N沟道增强型MOSFET工作原理



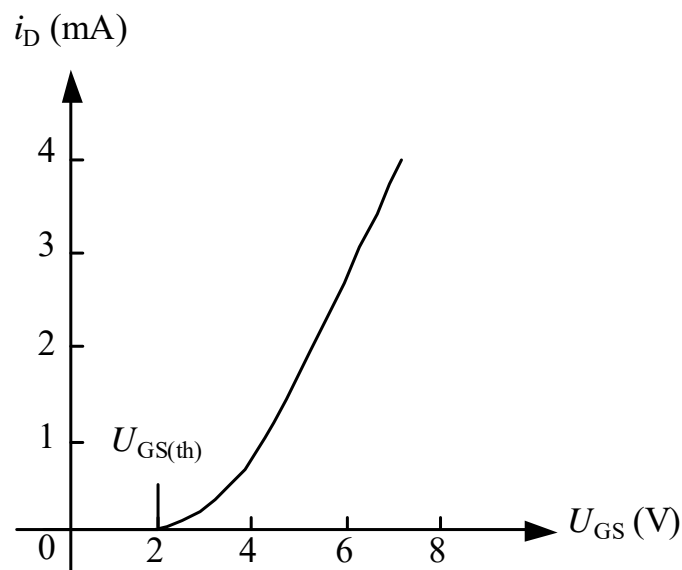


## 3. 场效应管的工作原理

### 3.1 场效应管工作原理（先讲N沟道，再扩展到P沟道）

#### 2 绝缘栅场效应管- N沟道增强型MOSFET特性曲线

I 转移特性曲线：  $i_D = f(u_{GS})|_{u_{DS}=\text{定值}}$  (恒流区)    II 输出特性曲线：  $i_D = f(u_{DS})|_{u_{GS}=\text{定值}}$

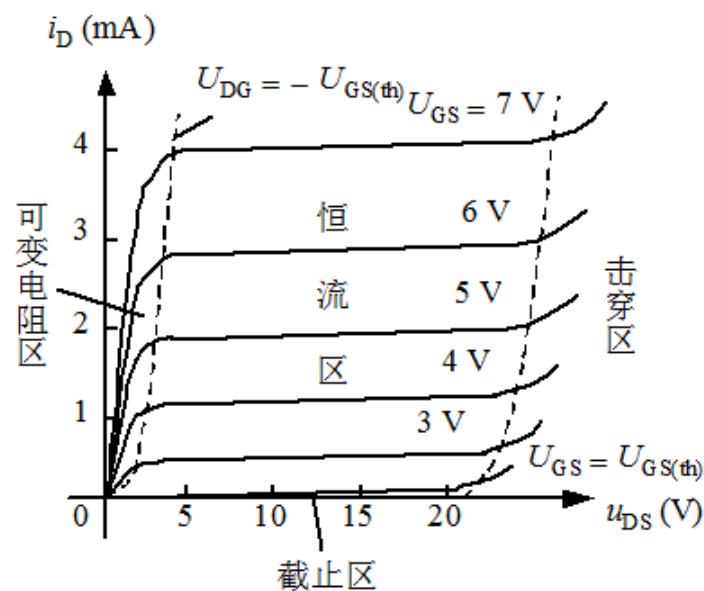


$$i_D = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \frac{W}{L} (u_{GS} - U_{GS(th)})^2$$

$\mu_n$ 为沟道自由电子运动的迁移率；

$C_{ox}$ 为单位面积的栅极电容；

$W$ 和 $L$ 分别是导电沟道的宽度和长度。



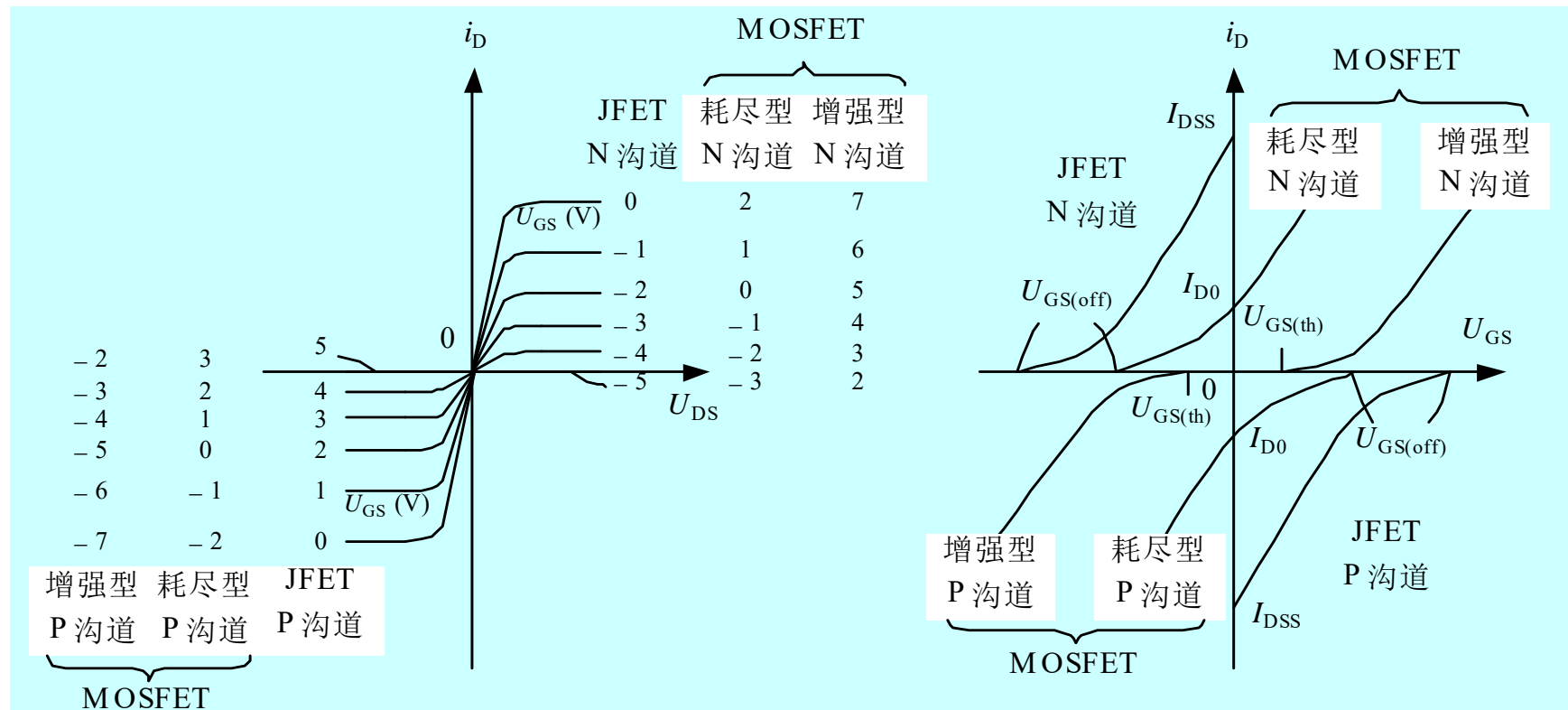
注意：厄尔利电压，记为 $U_A$

$$\text{沟道调制系数 } \lambda = \frac{1}{|U_A|}$$



#### 4 P沟道场效应管- 特性曲线

## II 转移特性曲线: $i_D = f(u_{GS})|_{u_{DS}=\text{定值}}$

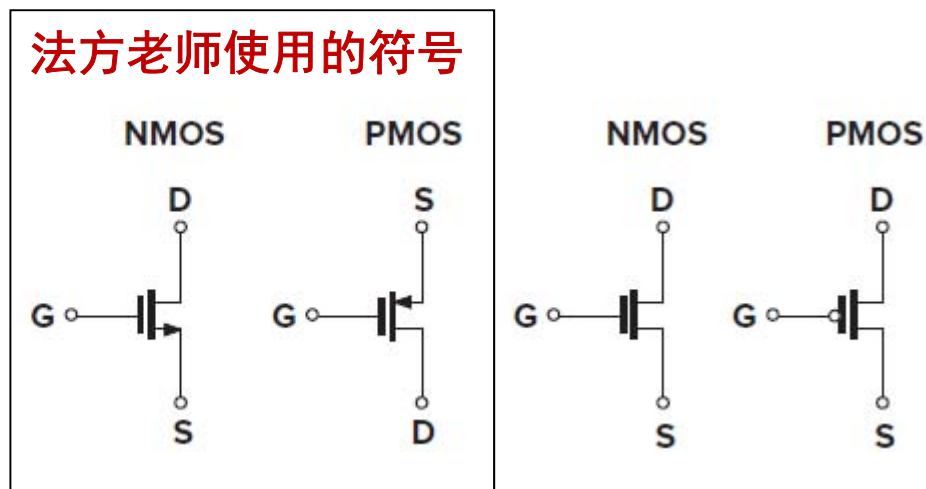
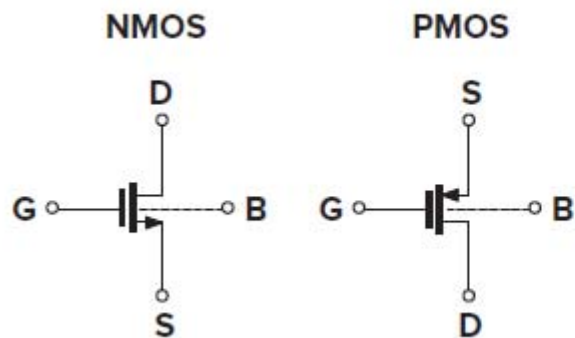




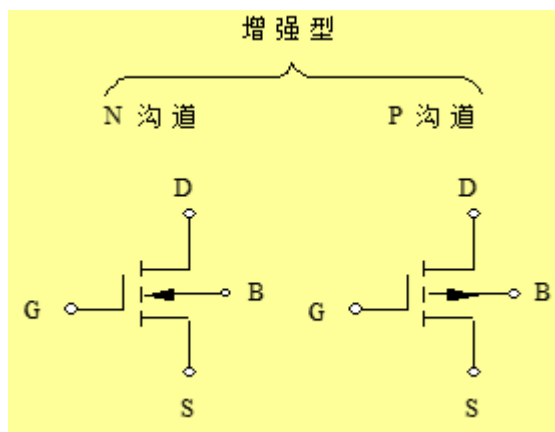
### 3. 场效应管的工作原理

#### 3.1 场效应管工作原理（先讲N沟道，再扩展到P沟道）

#### 4 增强型场效应管- 电路符号对比



国内教材使用的符号







## 3. 场效应管的工作原理

### 3.2 判断场效应管的工作状态

以N沟道为例

$$U_{GS} \text{ vs } U_{GS(off)} \text{ 或 } U_{GS(th)} \left\{ \begin{array}{l} < \text{截止} \\ > \text{恒流区或可变电阻区: } U_{GD} \text{ vs } U_{GS(off)} \text{ 或 } U_{GS(th)} \left\{ \begin{array}{l} < \text{恒流区} \\ > \text{可变电阻区} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

注意：P沟道时将不等号反向



## 5. 场效应管放大器分析

基本放大器构成 {

- 直流通路：提供合适的直流工作状态，使Q点位于放大区或恒流区的中心。
- 交流通路：实现对交流信号的放大。

基本放大器分析 {

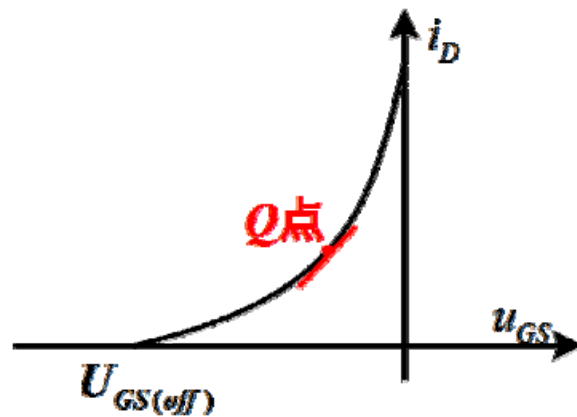
- 直流分析：
  1. 画直流通路（方法：交流信号置零、电容开路、电感短路）
  2. 分析 {
    - 解析分析
    - 图解分析 其目的：确定直流工作点，即Q点
- 交流分析：
  1. 画交流通路（方法：直流信号置零、电容短路、电感开路）
  2. 分析 {
    - 解析分析：计算性能指标
    - 图解分析：确定动态范围



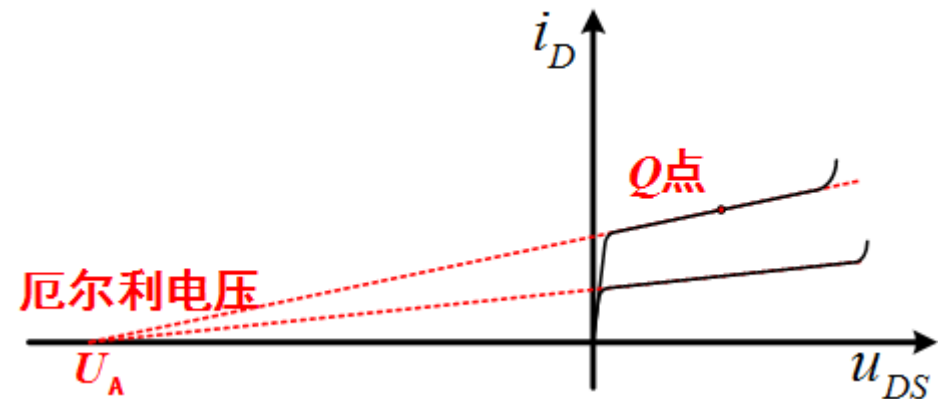
## 5. 场效应管放大器分析

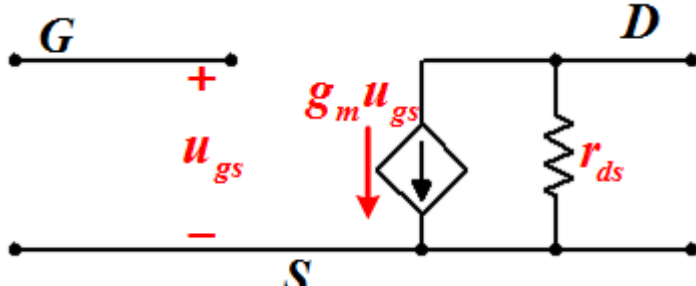
### 5.1 场效应管的低频小信号模型（六类场效应的模型都一样）

转移特性曲线



输出特性曲线



$$g_m = \frac{i_d}{u_{gs}} = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_Q$$


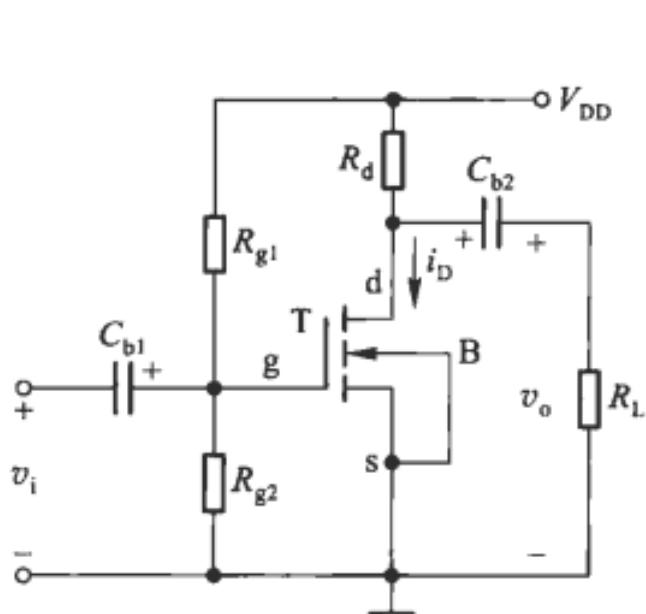
$$r_{ds} = \frac{u_{ds}}{i_d} = \left. \frac{\partial u_{DS}}{\partial i_D} \right|_Q$$



## 5. 场效应管放大器分析

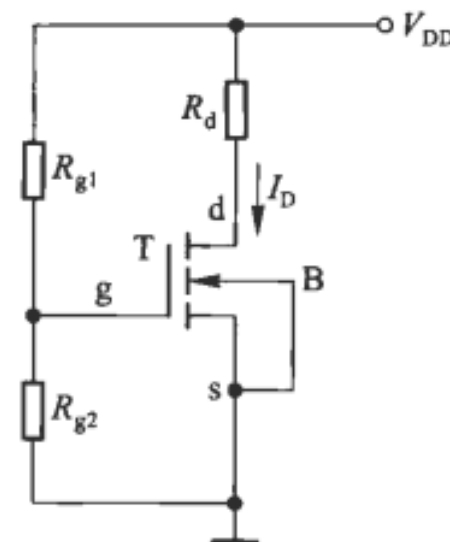
5.2 直流解析分析 (已知: 电流方程, 目的: 计算  $I_{DQ}$ 、 $U_{GSQ}$ 、 $U_{DSQ}$ )

例5.1 电路如图所示, 对其作直流解析分析。



直流通路

$$\begin{cases} i_D = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \frac{W}{L} (u_{GS} - U_{GS(th)})^2 \\ u_{DS} = U_{DD} - i_D R_D \\ u_{GS} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} U_{DD} \end{cases}$$



分压式偏置电路

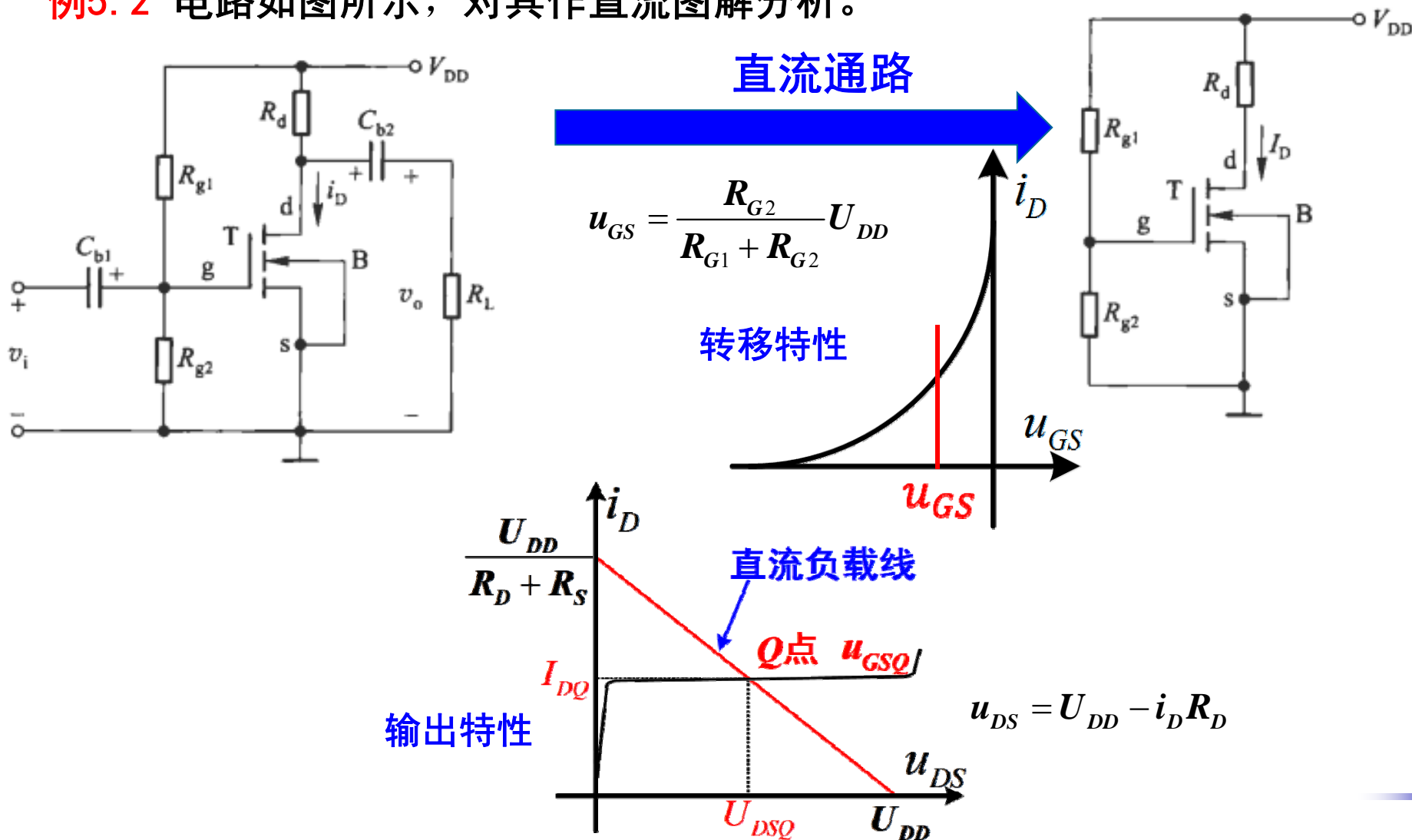
$\Rightarrow \begin{cases} \text{获得两组解 } (I_{DQ}, U_{GSQ}, U_{DSQ}) , \\ \text{舍弃 } U_{GSQ} < U_{GS(off)} \text{ 的解} \end{cases}$



## 5. 场效应管放大器分析

5.3 直流图解分析 (已知: 转移特性和输出特性, 目的: 确定Q点)

例5.2 电路如图所示, 对其作直流图解分析。

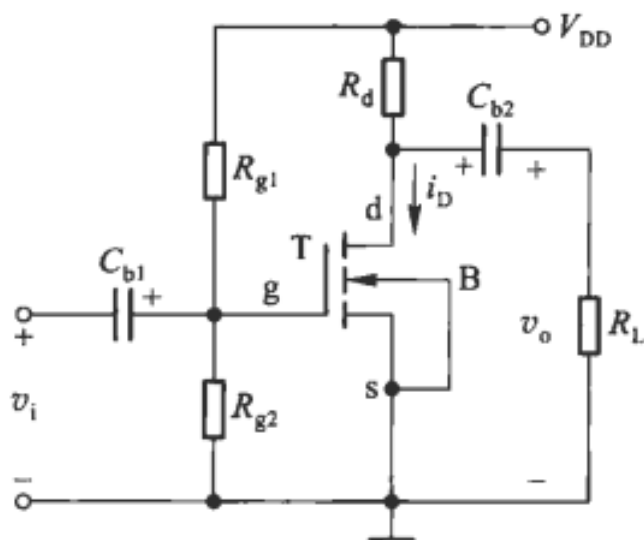




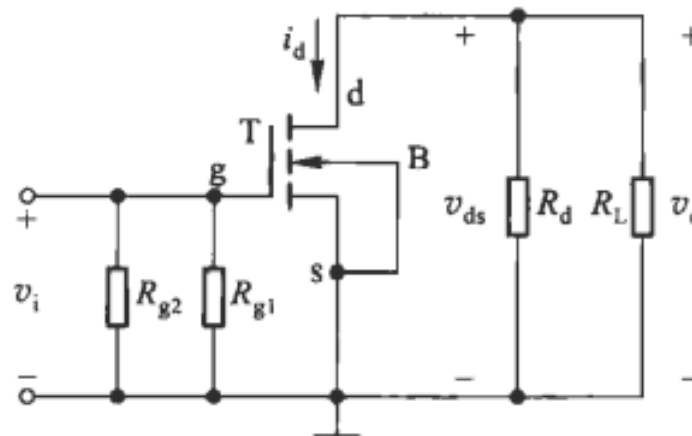
## 5. 场效应管放大器分析

5.3 交流解析分析 (已知:  $g_m$ , 目的: 计算  $A_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ )

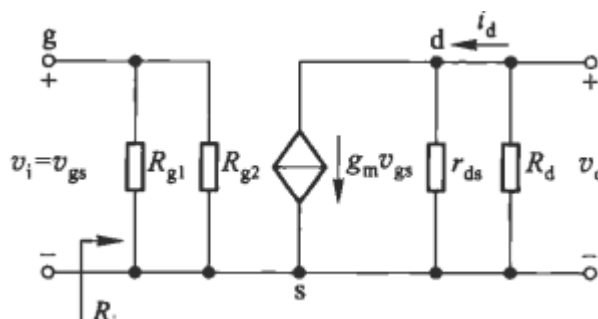
例5.3 电路如图所示, 对其作交流解析分析。



交流通路



共源级电路



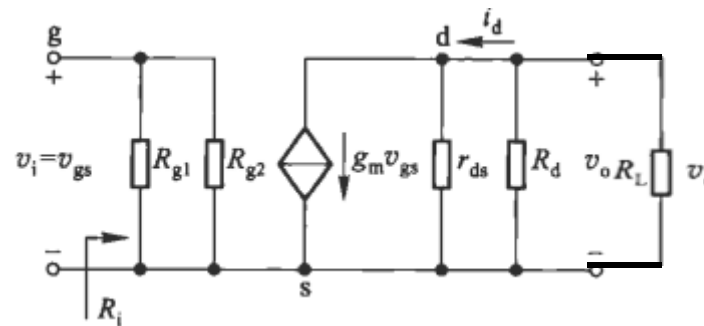
交流等效模型



## 5. 场效应管放大器分析

5.3 交流解析分析 (已知:  $g_m$ , 目的: 计算  $A_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ )

例5.3 电路如图所示, 对其作交流解析分析。



$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-g_m u_{gs} (r_{ds} // R_d // R_L)}{u_{gs}} = -g_m (r_{ds} // R_d // R_L)$$

$$R_i = \frac{u_i}{i_i} = R_{g1} // R_{g2}$$

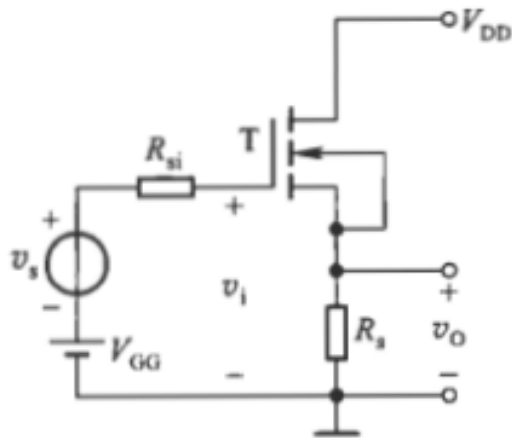
$$R_o = \left. \frac{u_o}{i_o} \right|_{u_s=0, R_L \rightarrow \infty} = r_{ds} // R_d$$



## 5. 场效应管放大器分析

5.3 交流解析分析 (已知:  $g_m$ , 目的: 计算  $A_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ )

例5.4 电路如图所示, 对其作交流解析分析。



共漏级电路

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{g_m (r_{ds} // R_s // R_L)}{1 + g_m (r_{ds} // R_s // R_L)}$$

$$R_i = \frac{u_i}{i_i} = \infty$$

$$R_o = \left. \frac{u_o}{i_o} \right|_{u_s=0, R_L \rightarrow \infty} = 1/g_m // r_{ds} // R_s$$

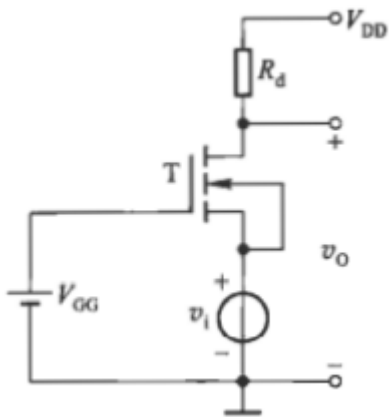




## 5. 场效应管放大器分析

5.3 交流解析分析 (已知:  $g_m$ , 目的: 计算  $A_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ )

例5.5 电路如图所示, 对其作交流解析分析。



$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{(g_m u_{gs} r_{ds} + u_{gs}) \frac{R_d // R_L}{r_{ds} + R_d // R_L}}{u_{gs}} = \frac{(g_m r_{ds} + 1) R_d // R_L}{r_{ds} + R_d // R_L}$$

$$R_i = \frac{u_i}{i_i} = \frac{r_{ds} + R_d // R_L}{g_m r_{ds} + 1}$$

共栅级电路  $R_o = \left. \frac{u_o}{i_o} \right|_{u_s=0, R_L \rightarrow \infty} = r_{ds} // R_d$