

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！  
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

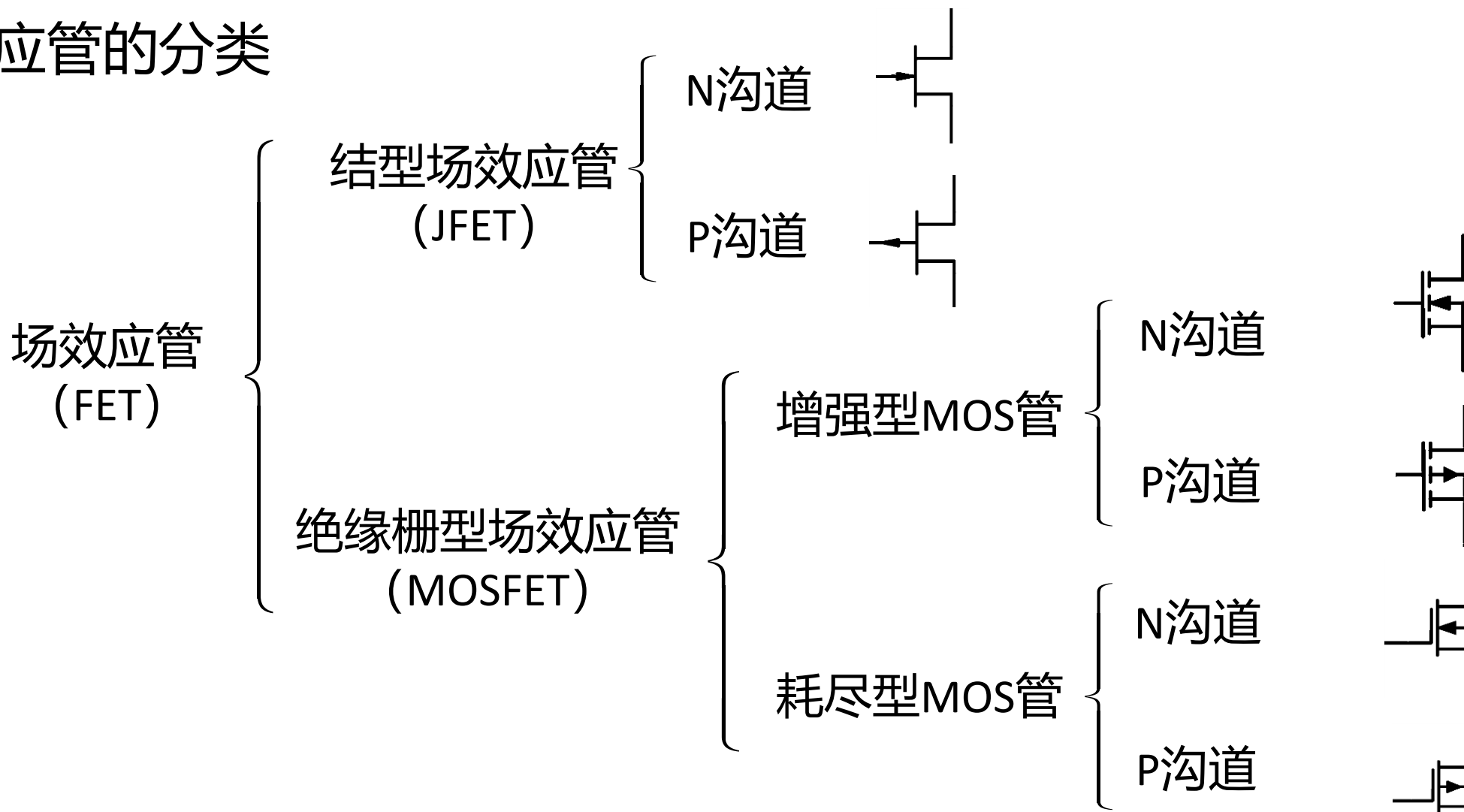


## Part 12 场效应管

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

# 场效应管

## 场效应管的分类



# 场效应管

## ○ 场效应管的结构原理

三个电极 —— 源极s，栅极g，漏极d；

依靠漏极与源极之间的导电沟道（非耗尽层）实现场效应管的导通；

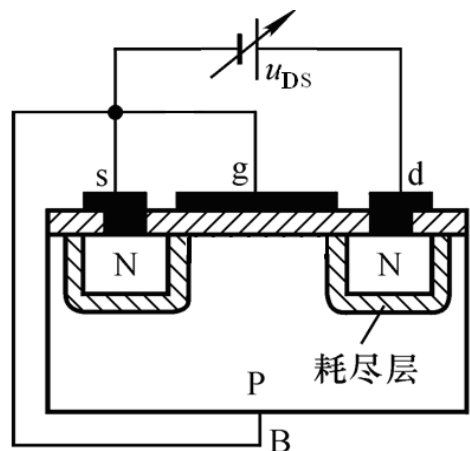
由于场效应管仅依靠一种载流子（多子）导电，因此称为**单极型晶体管**；

栅-源电压（ $u_{GS}$ ）决定场效应管导通 / 截止（夹断）；

栅-漏电压（ $u_{GD}$ ）决定场效应管导通时工作在可变电阻区/恒流区；

## 场效应管的工作原理

以N沟道增强型MOSFET为例简要分析其工作原理：



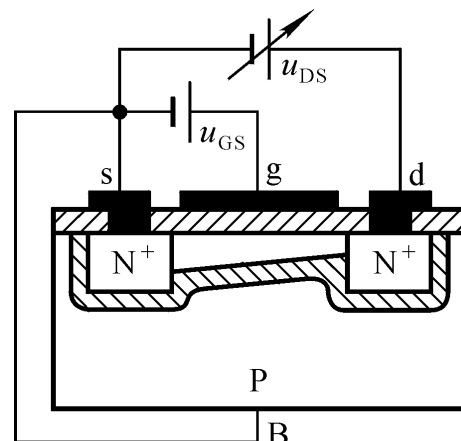
$$u_{GS} < U_{GS(th)}$$

不存在导电沟道

夹断区  
(截止状态)

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

形成导电沟道  
且  $u_{GS}$  越大  
导电沟道越宽

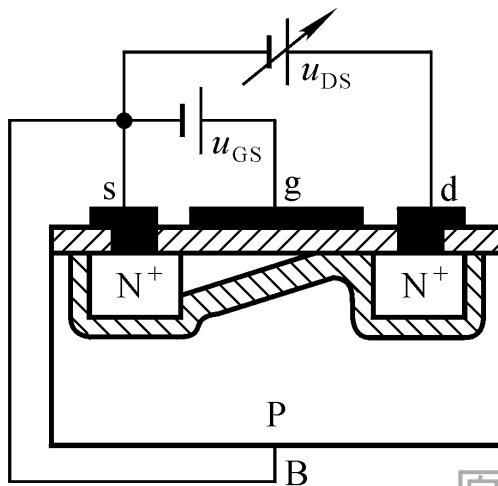


$$u_{GD} > U_{GS(th)} \quad \text{即} \quad u_{DS} < u_{GS} - U_{GS(th)}$$

导电沟道沿源-漏方向逐渐变窄  
(但没有出现夹断区域)

漏极电流随  $u_{DS}$  近似线性变化

可变电阻区



$$u_{GD} < U_{GS(th)} \quad \text{即} \quad u_{DS} > u_{GS} - U_{GS(th)}$$

导电沟道存在夹断区

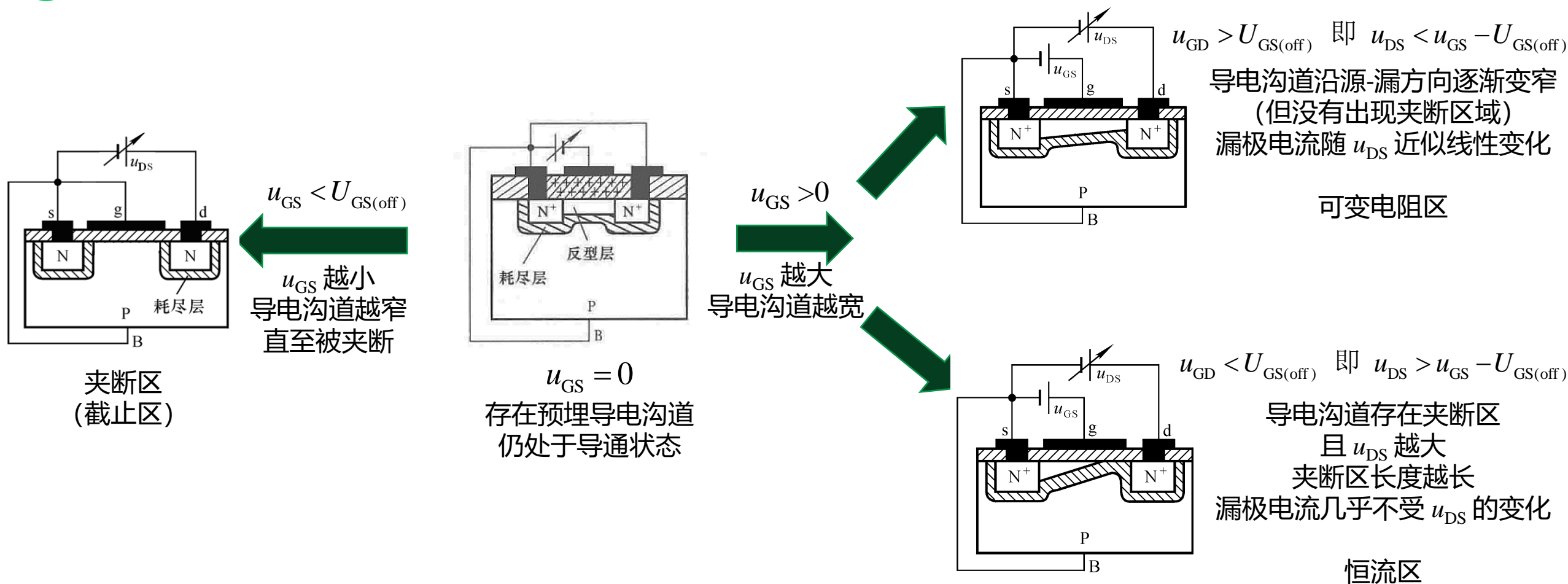
且  $u_{DS}$  越大

夹断区长度越长

漏极电流几乎不受  $u_{DS}$  的变化

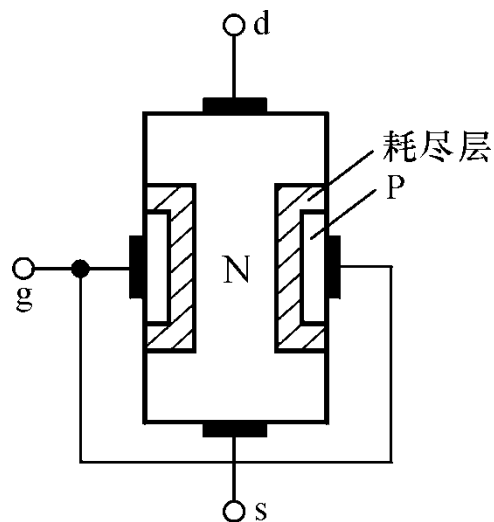
## 场效应管的工作原理

以N沟道耗尽型MOSFET为例简要分析其工作原理：



# 场效应管的工作原理

以N沟道JFET为例简要分析其工作原理：



$$u_{GS} = 0$$

准静态

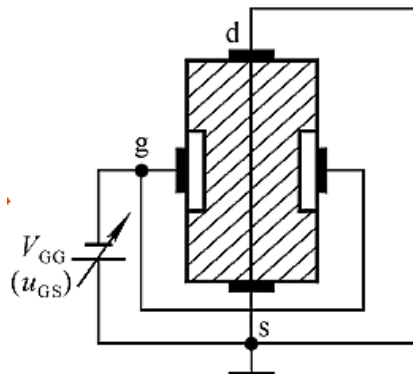
N沟道中自由电子流通

随着反向电压增大  
耗尽层变厚  
导电沟道宽度变窄  
直至被夹断

$$u_{GS} < 0$$

g与s间耗尽层承受  
反向电压

思考：  
为什么N沟道JFET不能工作  
在  $u_{GS}$  正偏压？



$$u_{GS} < U_{GS(off)}$$

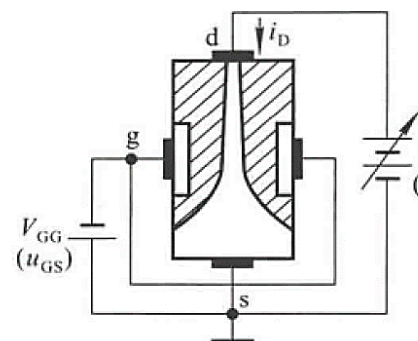
导电沟道被完全夹断  
场效应管截止

$$U_{GS(off)} < u_{GS} < 0$$

$$u_{GD} > U_{GS(off)} \quad \text{即} \quad u_{DS} < u_{GS} - U_{GS(off)}$$

导电沟道沿源-漏方向逐渐变窄  
(但没有出现夹断区域)

漏极电流随  $u_{DS}$  近似线性变化



可变电阻区

$$U_{GS(off)} < u_{GS} < 0$$

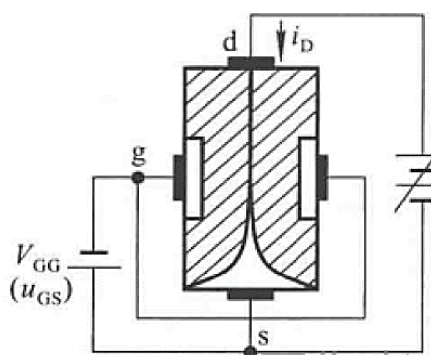
$$u_{GD} < U_{GS(off)} \quad \text{即} \quad u_{DS} > u_{GS} - U_{GS(off)}$$

导电沟道存在夹断区

且  $u_{DS}$  越大

夹断区长度越长

漏极电流几乎不受  $u_{DS}$  的变化



原作者：b站up主——这个no不太冷

## 场效应管

### ○ 场效应管的工作特性曲线

场效应管的工作特性通常用两个特性来描述——转移特性与输出伏安特性；

转移特性——漏极电流  $i_D$  和 栅-源电压  $u_{GS}$  的关系；

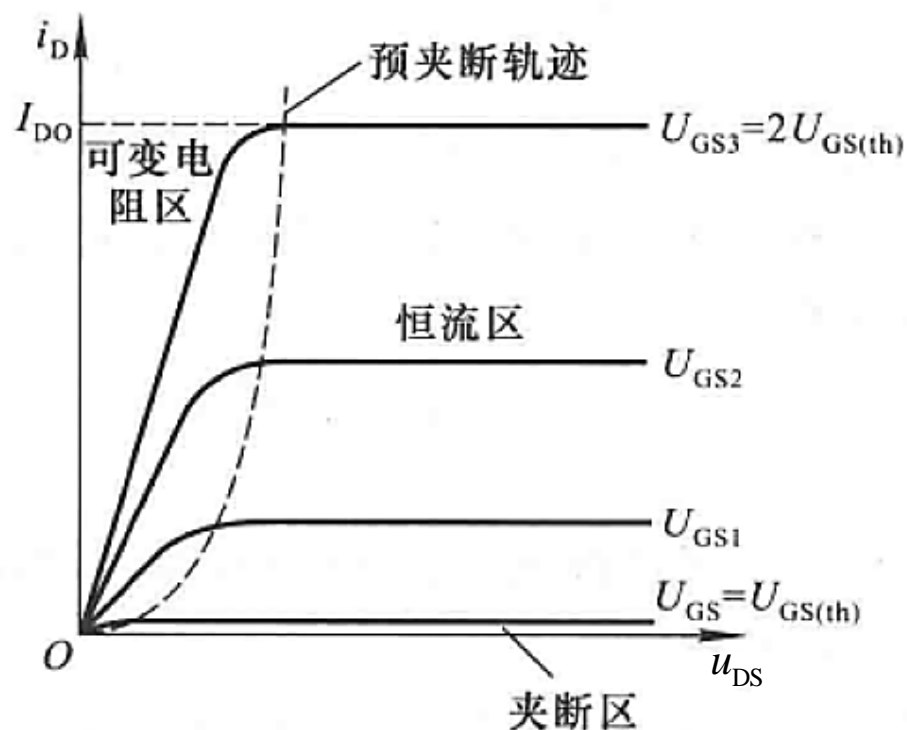
输出伏安特性——漏极电流  $i_D$  和 漏-源电压  $u_{DS}$  的关系；

思考：为什么不研究场效应管的输入伏安特性？

## 场效应管的工作特性曲线

### 场效应管的输出特性曲线 ( $i_D - u_{DS}$ )

三个工作区



以N沟道增强型MOSFET为例

#### ①夹断区(截止区):

不存在导电沟道（导电沟道被完全夹断），  
对外表现为几乎没有任何电流流进流出；

#### ②可变电阻区(线性区):

栅-源电压一定时漏极电流  $i_D$  与  $u_{DS}$  成线性关系；  
(可变电阻的大小受  $u_{GS}$  控制)

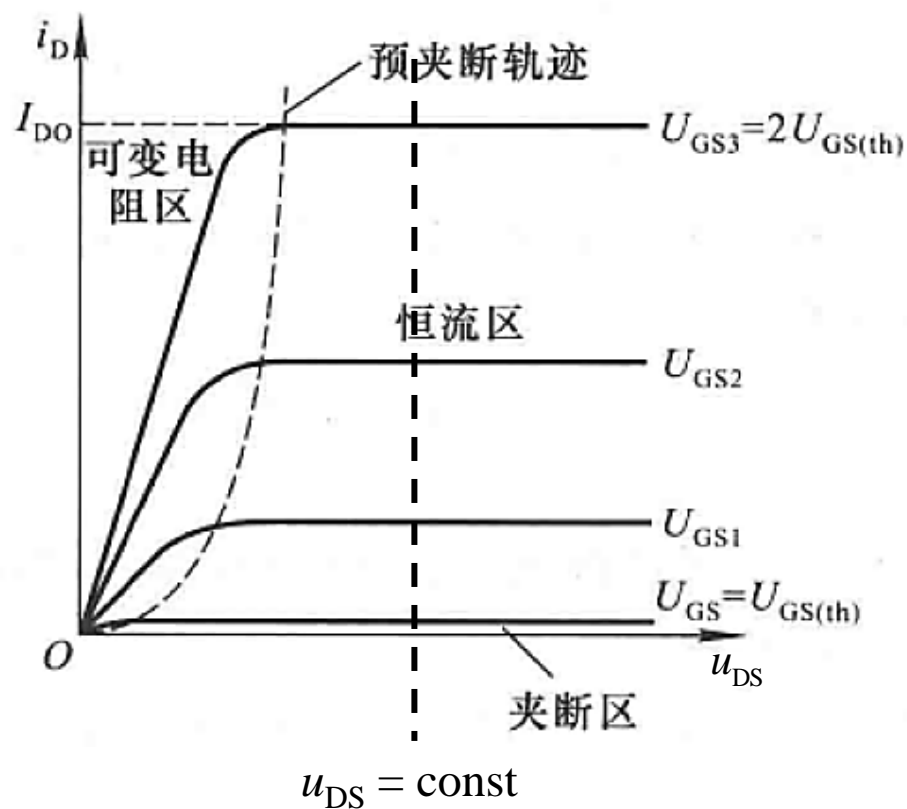
#### ③恒流区(饱和区):

漏极电流  $i_D$  仅受栅-源电压  $u_{GS}$  控制，  
不再与  $u_{DS}$  保持线性关系；

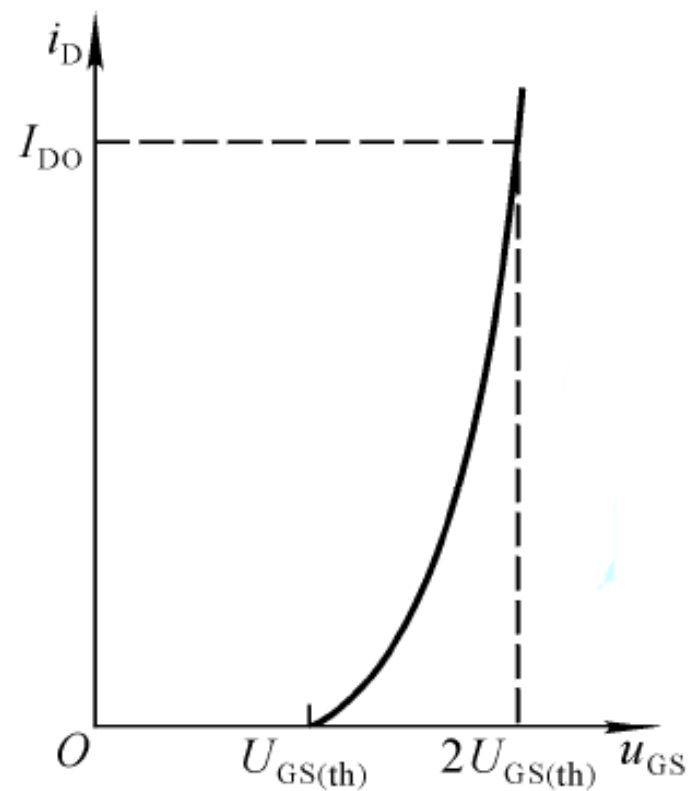


## 场效应管的工作特性曲线

从输出特性曲线（ $i_D - u_{DS}$ ）得到转移特性曲线（ $i_D - u_{GS}$ ）



$$i_D = f(u_{GS})|_{u_{DS}=\text{const}}$$

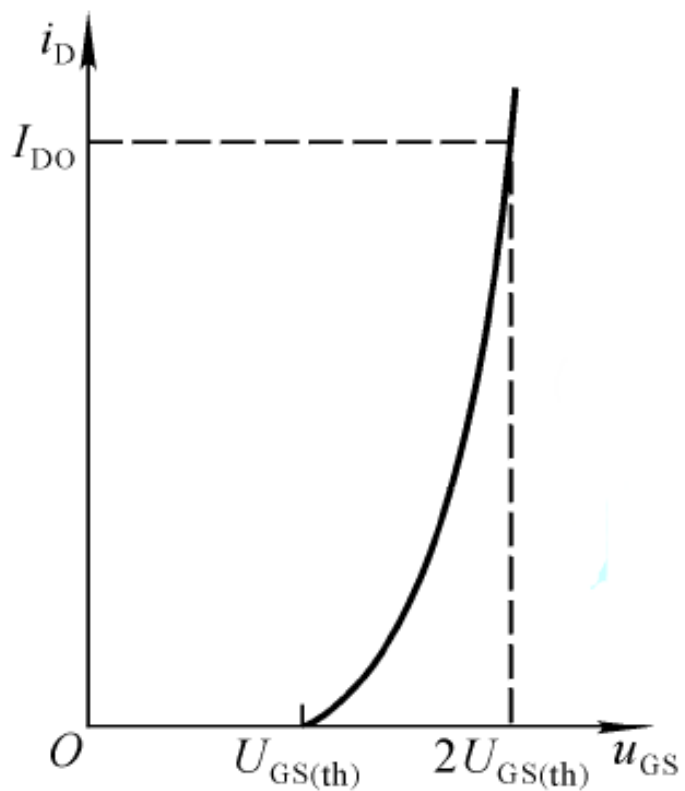


以N沟道增强型MOSFET为例

以N沟道增强型MOSFET为例

## 场效应管的工作特性曲线

### 场效应管的转移特性曲线（ $i_D - u_{GS}$ ）



以N沟道增强型MOSFET为例

特点：

①存在开启电压  $U_{GS(th)}$ （或夹断电压  $U_{GS(off)}$ ）；

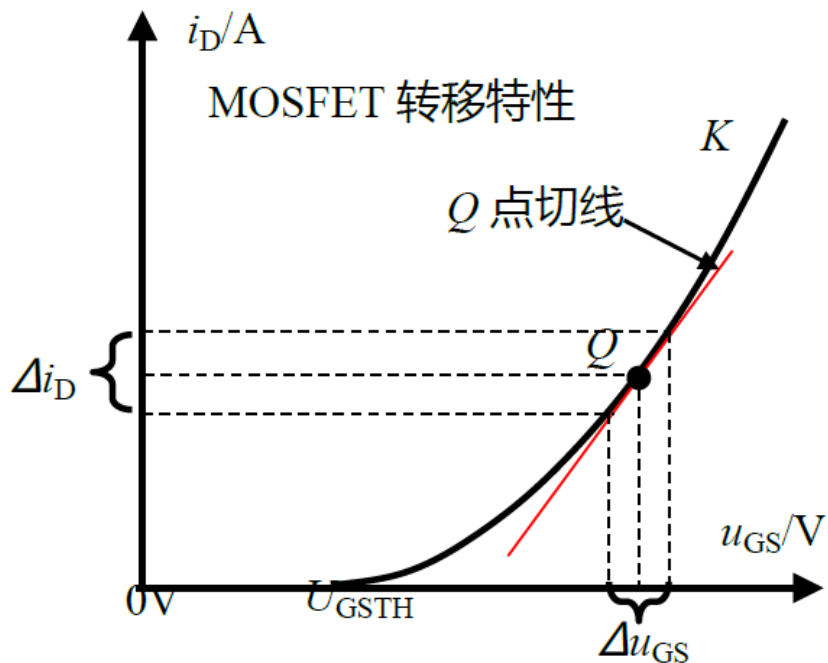
②当场效应管工作在恒流区时：

电压控制电流——漏极电流  $i_D$  与栅-源电压  $u_{GS}$  有对应关系，近似为二次型函数：

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

## 场效应管的转移特性曲线

### 场效应管的重要参数——跨导 $g_m$



以N沟道增强型MOSFET为例

动态分析：

考虑在静态工作点附近的低频小信号扰动

$$g_m = \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{GS}}$$

低频跨导体现输入侧电压变化对输出侧漏极电流变化的控制

$g_m$ 与静态工作点 $Q$ 有关，是 $Q$ 点处转移特性曲线切线的斜率；

$$i_D = I_{DO} \left( \frac{u_{GS}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2 \quad \longrightarrow \quad g_m = \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{GS}} = \frac{2}{U_{GS(th)}} \sqrt{I_{DO} I_{DQ}}$$

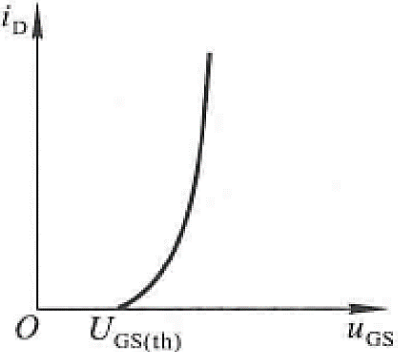
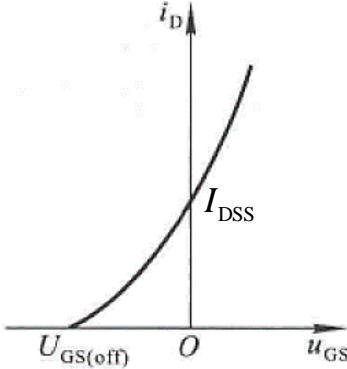
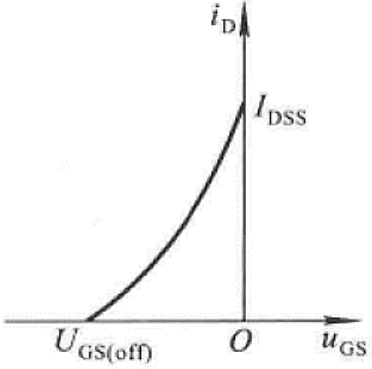
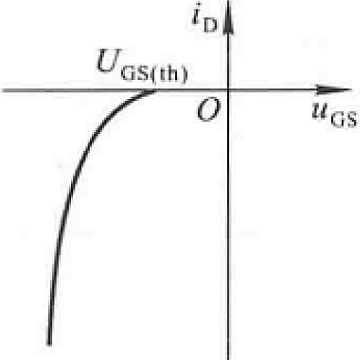
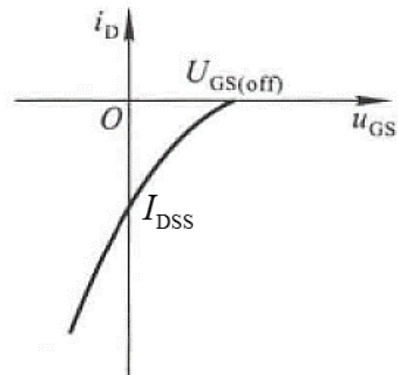
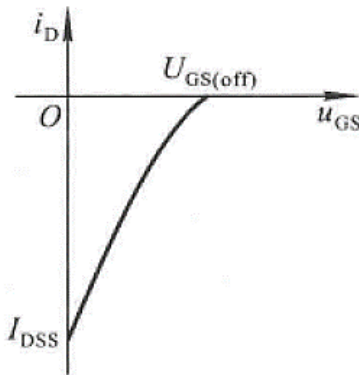
原作者：b站up主——这个ximo不太冷

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！  
 课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

不要死记硬背！

记住N沟道增强型MOSFET的再去记其他的与它的区别！

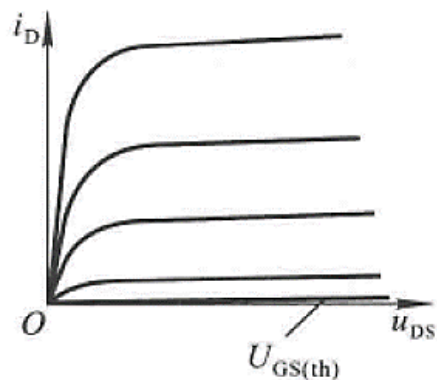
# 场效应管的转移特性曲线

		
N沟道增强型MOSFET	N沟道耗尽型MOSFET	N沟道JFET
		
P沟道增强型MOSFET	P沟道耗尽型MOSFET	P沟道JFET
$i_D = I_{DO} \left( \frac{u_{GS}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2 \quad g_m = \frac{2}{U_{GS(th)}} \sqrt{I_{DO} I_{DQ}}$	$i_D = I_{DSS} \left( \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}} - 1 \right)^2 \quad g_m = \frac{2}{U_{GS(off)}} \sqrt{I_{DSS} I_{DQ}}$	$i_D = I_{DSS} \left( \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}} - 1 \right)^2 \quad g_m = \frac{2}{U_{GS(off)}} \sqrt{I_{DSS} I_{DQ}}$

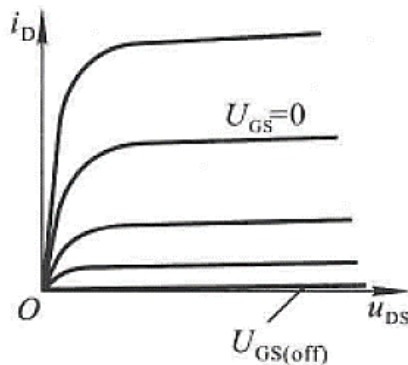
请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！

课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，重点关注如何从输出特性曲线中得到转移特性曲线的参数！

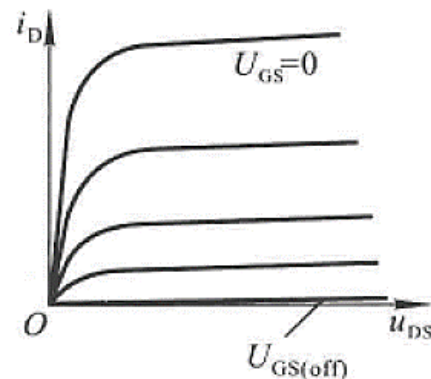
## 场效应管的输出伏安特性曲线



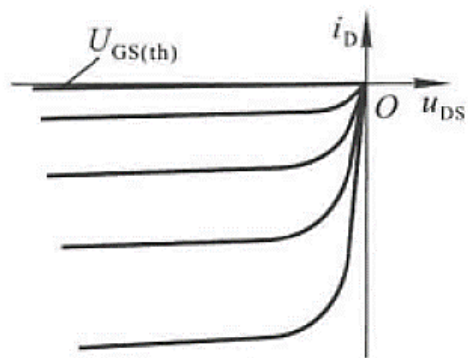
N沟道增强型MOSFET



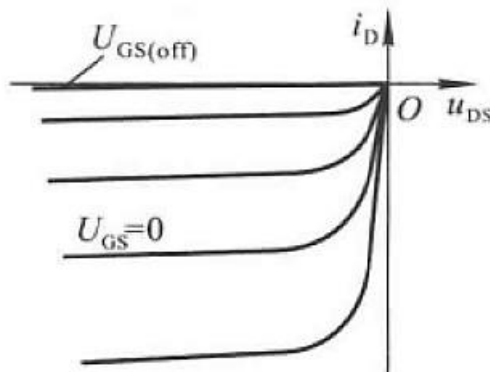
N沟道耗尽型MOSFET



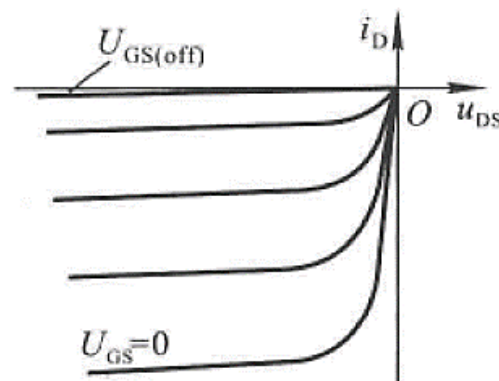
N沟道JFET



P沟道增强型MOSFET



P沟道耗尽型MOSFET



P沟道JFET

不需要去背这几张图！！！！

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

## 场效应管的工作状态

### ○ 场效应管工作区的判断与划分

Step1：确定场效应管类型，并绘制出该场效应管的转移特性曲线；

Step2：通过判断  $u_{GS}$  和  $U_{GS(th)} / U_{GS(off)}$  的大小来判断是否截止，即是否工作在夹断区（截止区）；

Step3：通过判断  $u_{DS}$  和  $u_{GS} - U_{GS(th)} / u_{GS} - U_{GS(off)}$  的大小来判断导通后的情况，即工作在恒流区or可变电阻区；即比较  $u_{GD}$  和  $U_{GS(th)} / U_{GS(off)}$  的大小；

Step3可以利用转移特性曲线，表现为  $u_{GS}$  和  $u_{GD}$  在  $U_{GS(th)} / U_{GS(off)}$  的同侧/异侧：  
同侧——可变电阻区；异侧——恒流区；

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！  
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

注意：  
不要死记硬背此表格！  
按照上一页给出的技巧去判断工作状态！

## 场效应管的工作状态

### 不同场效应管不同工作区的电位关系

场效应管类型 工作区	N沟道			P沟道		
	JFET	耗尽型 MOSFET	增强型 MOSFET	JFET	耗尽型 MOSFET	增强型 MOSFET
截止区	$u_{GS} < U_{GS(off)}$		$u_{GS} < U_{GS(th)}$	$u_{GS} > U_{GS(off)}$		$u_{GS} > U_{GS(th)}$
可变电阻区	$u_{GS} > U_{GS(off)}$ $u_{GD} > U_{GS(off)}$		$u_{GS} > U_{GS(th)}$ $u_{GD} > U_{GS(th)}$	$u_{GS} < U_{GS(off)}$ $u_{GD} < U_{GS(off)}$		$u_{GS} < U_{GS(th)}$ $u_{GD} < U_{GS(th)}$
恒流区	$u_{GS} > U_{GS(off)}$ $u_{GD} < U_{GS(off)}$		$u_{GS} > U_{GS(th)}$ $u_{GD} < U_{GS(th)}$	$u_{GS} < U_{GS(off)}$ $u_{GD} > U_{GS(off)}$		$u_{GS} < U_{GS(th)}$ $u_{GD} > U_{GS(th)}$

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

# 场效应管的工作状态

## 例 1

根据下列表格中的已知条件判断场效应管的管型以及工作状态，补充表格。

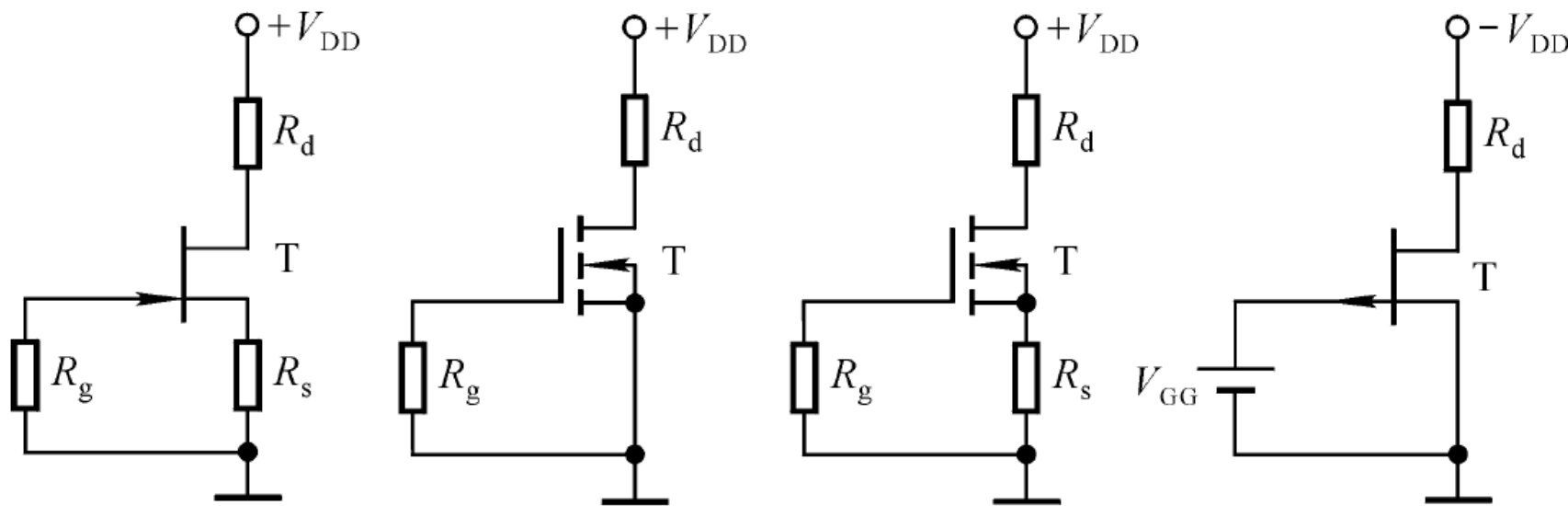
管号		$U_{GS(th)}/V$ 或 $U_{GS(off)}/V$	$U_S/V$	$U_G/V$	$U_D/V$	管型	工作状态
JFET	T <sub>1</sub>	3	1	3	-10		
	T <sub>2</sub>	-3	3	-1	10		
MOSFET	T <sub>3</sub>	-4	5	0	-5		
	T <sub>4</sub>	4	-2	3	-1.2		
	T <sub>5</sub>	-3	0	0	10		



## 场效应管的工作状态

### 例 2

分别判断如图所示的各电路中的场效应管是否有可能工作在恒流区，简述理由。



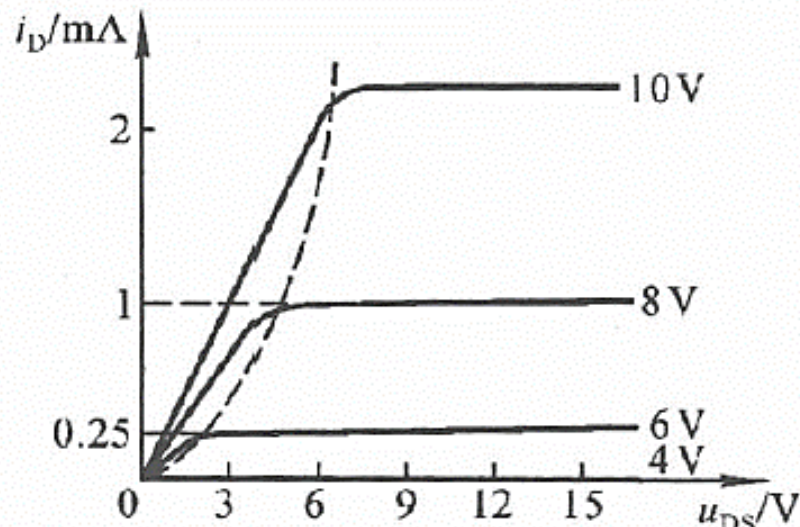
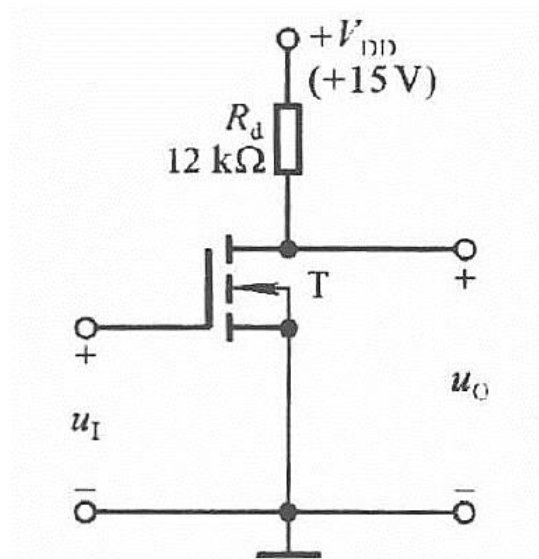
## 场效应管的工作状态

### 例 3

已知电路如左图所示，场效应管的输出伏安特性曲线如右图所示；

(1)请绘制出该场效应管的转移特性曲线；

(2)求解  $u_I$  为 0 V, 6 V, 8 V 情况下的输出电压  $u_O$ 。



原作者：b站up主—这个ximo不太冷

## 场效应管

### ○ 场效应管的主要参数

开启电压 / 夹断电压  $U_{GS(th)} / U_{GS(off)}$  —— 增强型MOSFET / 耗尽型MOSFET 和 JFET;

饱和漏电流  $I_{DSS}$  —— JFET 和 耗尽型MOSFET 在  $u_{GS} = 0$  时的漏极电流；对于增强型MOSFET，等效的参数为在  $u_{GS} = 2U_{GS(th)}$  时的漏极电流  $I_{DO}$ ；

直流输入电阻  $R_{GS(DC)}$  —— 可以视为无穷大；

低频跨导  $g_m$  —— 转移特性曲线上静态工作点处切线的斜率；

最高工作频率  $f_M$  —— 考虑场效应管的极间电容效应，工作频率存在上限值；

其他极限参数如最大漏极电流  $I_{DM}$ 、击穿电压  $U_{(BR)DS}$ 、最大耗散功率  $P_{DM}$  类似晶体管；

# 场效应管与晶体管的对比

晶体管 (BJT)	场效应管 (FET)
双极型晶体管 (两种载流子导电)	单极型晶体管 (仅有一种载流子导电)
发射极e、基极b、集电极c	源极s、栅极g、漏极d
截止区、放大区、饱和区	夹断区、恒流区、可变电阻区
电流控制型器件 ( $i_B \rightarrow i_C$ )	电压控制型器件 ( $u_{GS} \rightarrow i_D$ )
放大区特点： $i_B : i_C : i_E = 1 : \beta : 1 + \beta$	恒流区特点： 输入电阻无穷大, $i_G=0$ ; $i_D \approx i_S$ ;