

第三章常用半导体器件

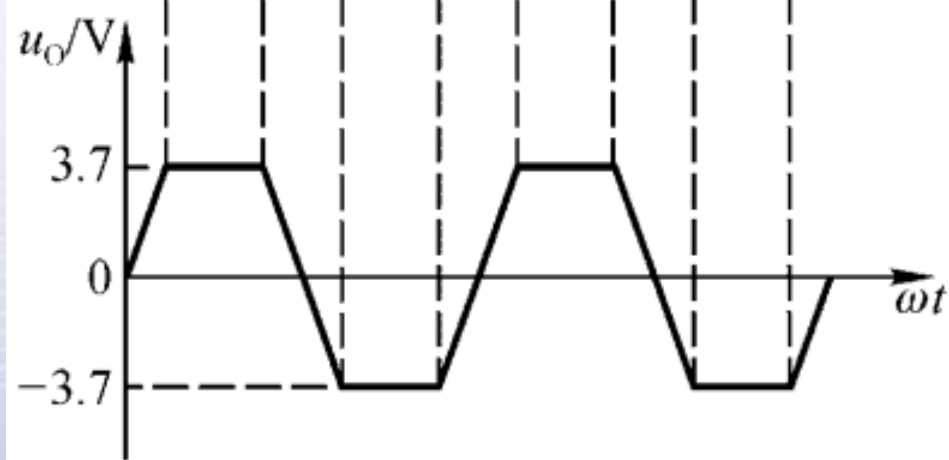
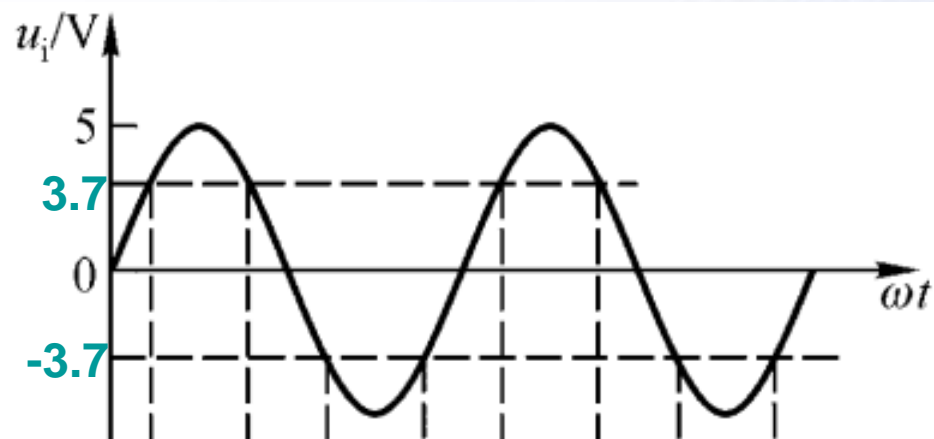
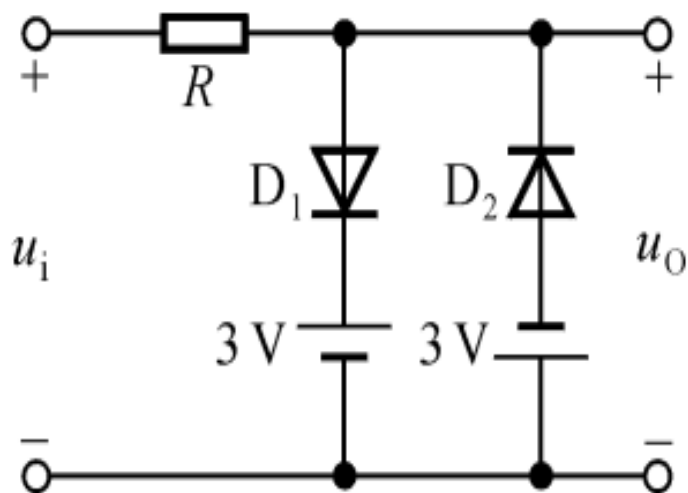
半导体基础知识

作业(P164-166):

**1.3、 1.4、 1.6、 1.7、 1.9、 1.12、 1.13、
1.15、 1.16**



1.3 电路如图 P1.3 所示, 已知 $u_i = 5\sin \omega t$ (V), 二极管导通电压 $U_D = 0.7\text{V}$ 。试画出 u_i 与 u_o 的波形, 并标出幅值。



解: 当 $u_i \geq 3.7\text{V}$ 时, D_1 导通,

将 u_o 钳位在 3.7V ;

当 $u_i \leq -3.7\text{V}$ 时, D_2 导通,

将 u_o 钳位在 -3.7V ;

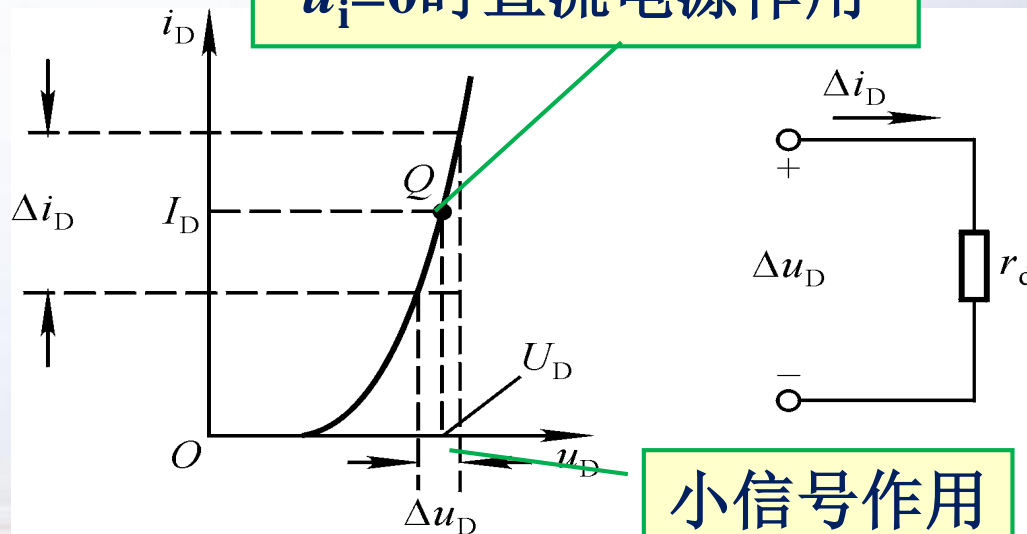
当 $-3.7\text{V} < u_i < 3.7\text{V}$ 时, D_1 、 D_2 均截止, $u_o = u_i$

1.4 电路如图 1.4 所示, 二极管导通电压 $U_D = 0.7V$, 常温下 $U_T \approx 26mV$, 电容 C 对交流信号可视为短路; u_i 为正弦波, 有效值为 $10mV$ 。

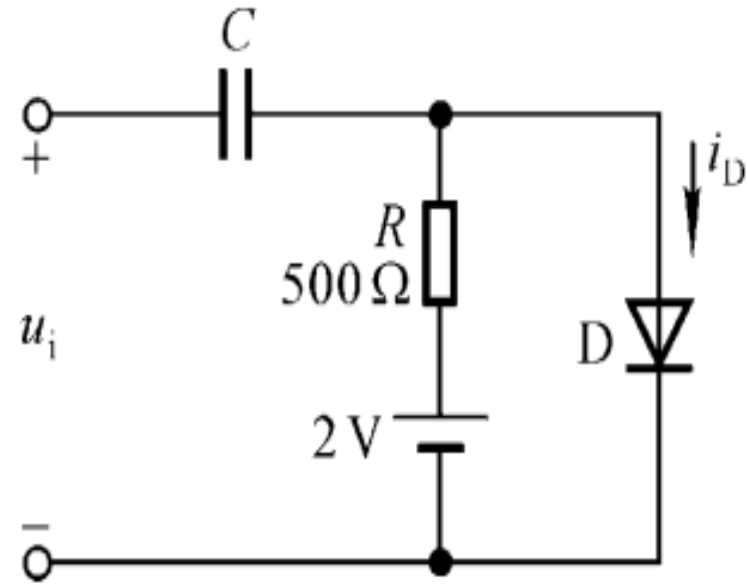
试问二极管中流过的交流电流有效值为多少?

当二极管在静态基础上有一动态信号作用时, 则可将二极管等效为一个电阻, 称为**动态电阻**, 也就是**微变等效电路**。

$u_i=0$ 时直流电源作用



小信号作用



$$r_d = \frac{\Delta u_D}{\Delta i_D} \approx \frac{U_T}{I_D}$$



1.4 电路如图 1.4 所示, 二极管导通电压 $U_D = 0.7V$, 常温下 $U_T \approx 26mV$, 电容 C 对交流信号可视为短路; u_i 为正弦波, 有效值为 $10mV$ 。

试问二极管中流过的交流电流有效值为多少?

解: 二极管的直流电流

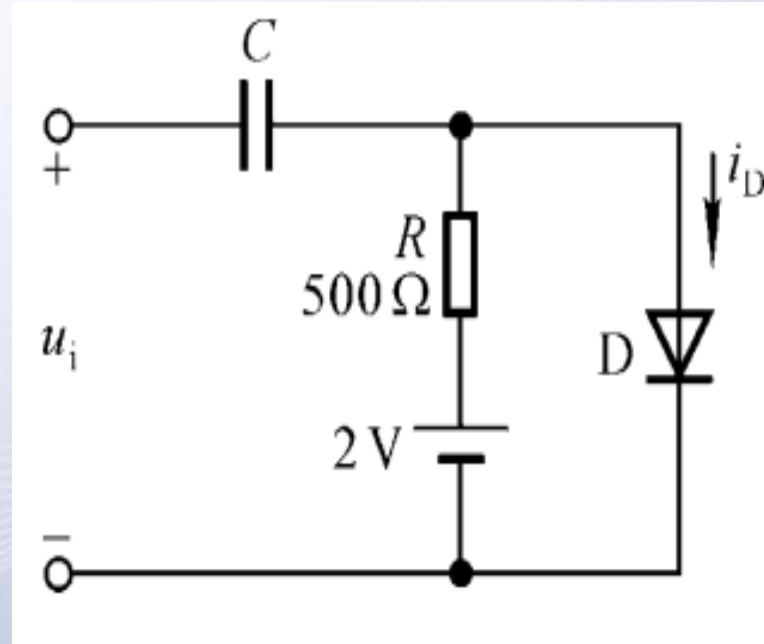
$$I_D = (V - U_D) / R = 2.6mA$$

其动态电阻

$$r_d \approx U_T / I_D = 10 \Omega$$

故动态电流有效值

$$I_d = U_i / r_d \approx 1mA$$



1.6 已知图 P1.6 所示电路中稳压管的稳定电压 $U_Z = 6V$ ，最小稳定电流 $I_{Zmin} = 5mA$ ，最大稳定电流 $I_{Zmax} = 25mA$ 。

(1) 分别计算 U_1 为 10V、15V、35V 三种情况下输出电压 U_O 的值；

(2) 若 $U_1 = 35V$ 时负载开路，则会

出现什么现象？为什么？

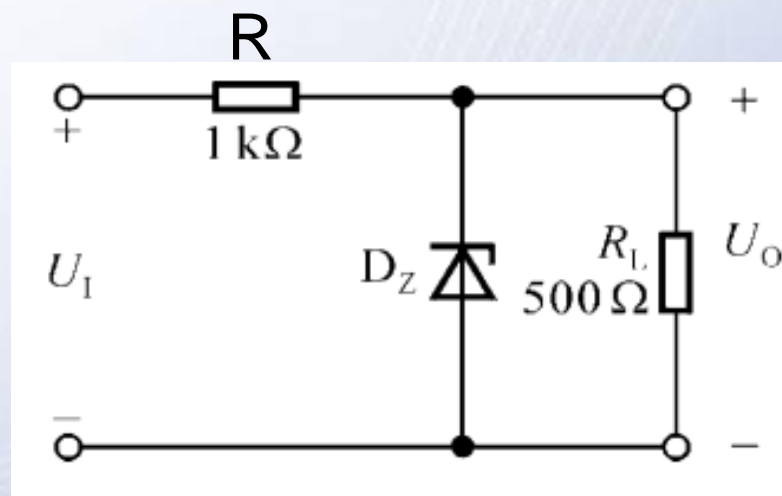
解：(1) 当 $u_i = 10V$ 时，

断开稳压管，并以它的两个极作为端口，利用戴维南定理求解端口开路电压。

$$\begin{aligned} u_{oc}(t) &= \frac{R_L}{R_L + R} \cdot U_I \\ &= \frac{0.5}{0.5 + 1} \cdot 10 = \frac{10}{3} V < U_Z = 6V \end{aligned}$$

稳压管没有击穿，

$$u_o = \frac{10}{3} V$$



1.6 已知图 P1.6 所示电路中稳压管的稳定电压 $U_Z = 6V$ ，最小稳定电流 $I_{Zmin} = 5mA$ ，最大稳定电流 $I_{Zmax} = 25mA$ 。

(1) 分别计算 U_1 为 10V、15V、35V 三种情况下输出电压 U_O 的值；

(2) 若 $U_1 = 35V$ 时负载开路，则会

出现什么现象？为什么？

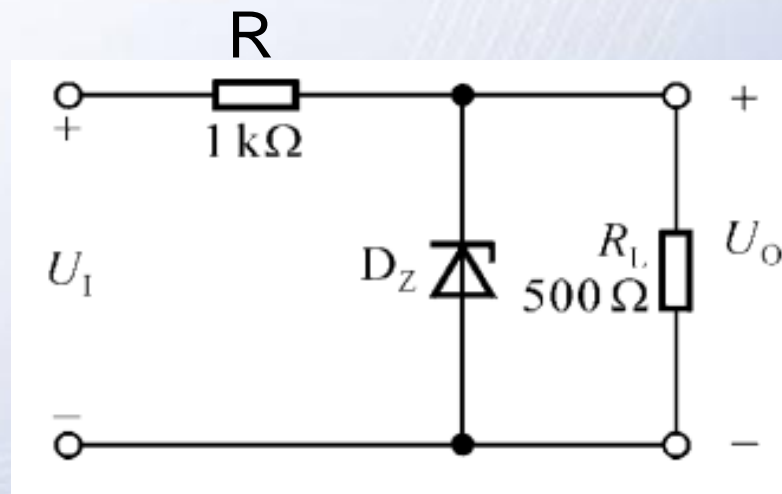
当 $u_i = 15V$ 时，

断开稳压管，并以它的两个极作为端口，利用戴维南定理求解端口开路电压。

$$\begin{aligned} u_{oc}(t) &= \frac{R_L}{R_L + R} \cdot U_I \\ &= \frac{0.5}{0.5 + 1} \cdot 15 = 5V < U_Z = 6V \end{aligned}$$

稳压管没有击穿，

$$u_o = 5V$$



1.6 已知图 P1.6 所示电路中稳压管的稳定电压 $U_Z = 6V$ ，最小稳定电流 $I_{Zmin} = 5mA$ ，最大稳定电流 $I_{Zmax} = 25mA$ 。

(1) 分别计算 U_I 为 10V、15V、35V 三种情况下输出电压 U_O 的值；

(2) 若 $U_I = 35V$ 时负载开路，则会

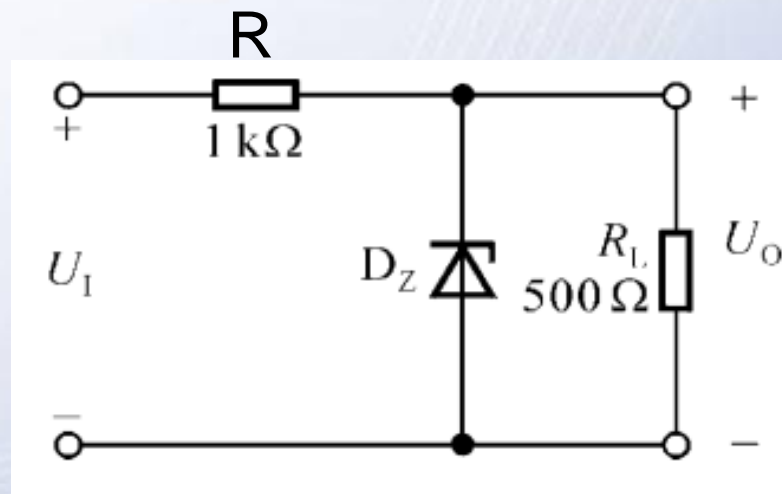
出现什么现象？为什么？

当 $u_i = 35V$ 时，求解端口开路电压：

$$\begin{aligned} u_{oc}(t) &= \frac{R_L}{R_L + R} \cdot U_I \\ &= \frac{0.5}{0.5 + 1} \cdot 35 = \frac{35}{3} V > U_Z = 6V \end{aligned}$$

稳压管被击穿， $u_o = U_Z = 6V$

(2) 稳压管的电流 $I_{D_Z} = \frac{U_I - U_Z}{R} = \frac{35 - 6}{1000} = 29mA > I_{ZM} = 25mA$



稳压管将因功耗过大而损坏。

1.7 在图 P1.7 所示电路中，发光二极管导通电压 $U_D = 1.5\text{V}$ ，正向电流在 $5\sim 15\text{mA}$ 时才能正常工作。试问：

- (1) 开关 S 在什么位置时发光二极管才能发光？
- (2) R 的取值范围是多少？

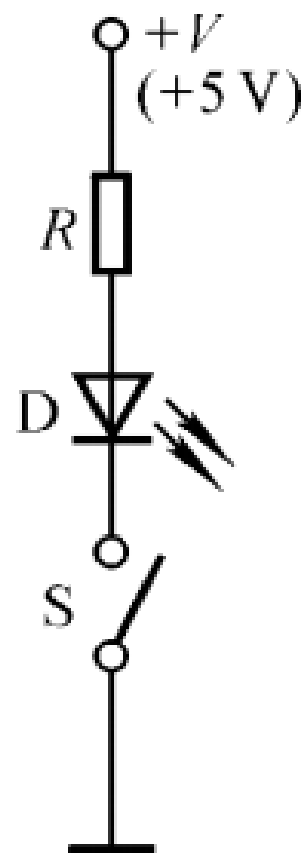
解：(1) S 闭合。

发光二极管才有正向电流，也才有可能发光。

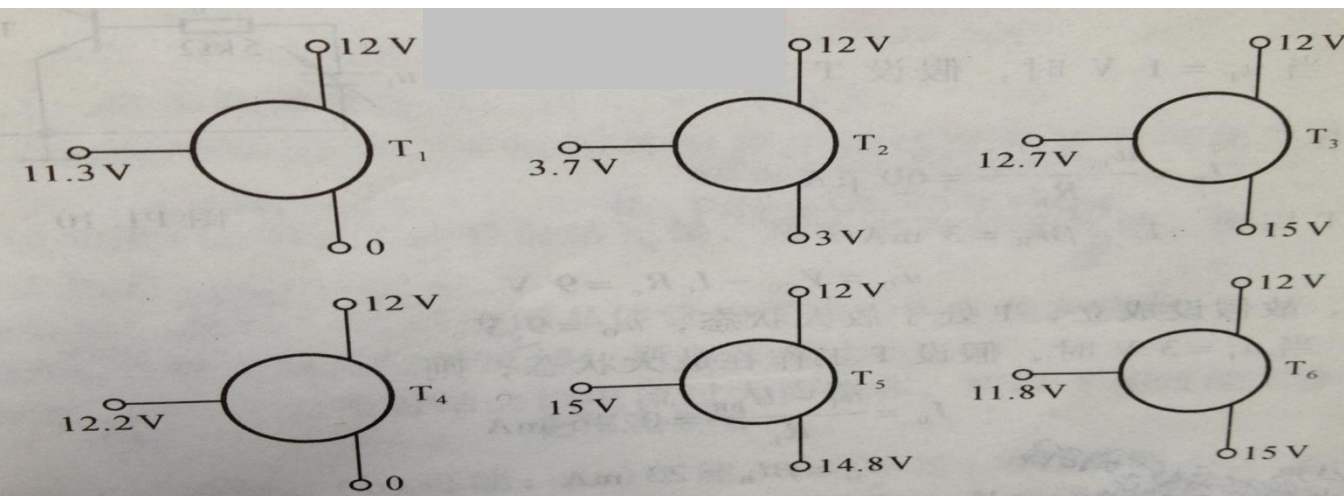
(2) R 的范围为

$$R_{\min} = (V - U_D) / I_{D\max} \approx 233\Omega$$

$$R_{\max} = (V - U_D) / I_{D\min} = 700\Omega。$$



1.9 测得放大电路中六只晶体管的直流电位如图 P1.9 所示。在圆圈中画出管子，并分别说明它们是硅管还是锗管。



NPN型: $u_C > u_B > u_E$

PNP型: $u_C < u_B < u_E$

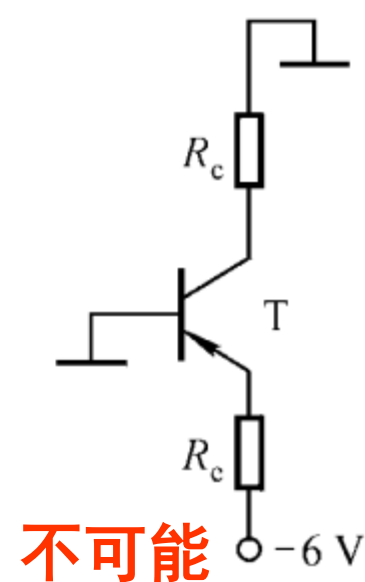
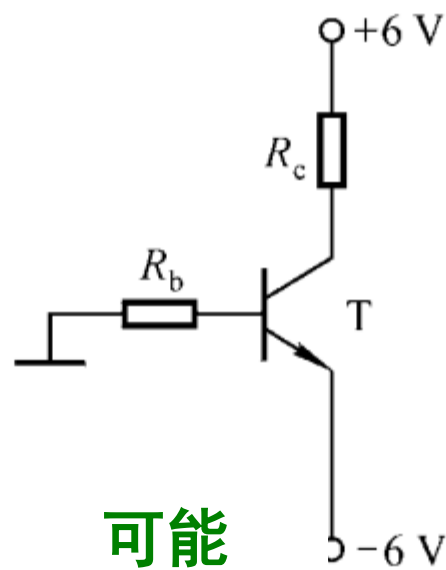
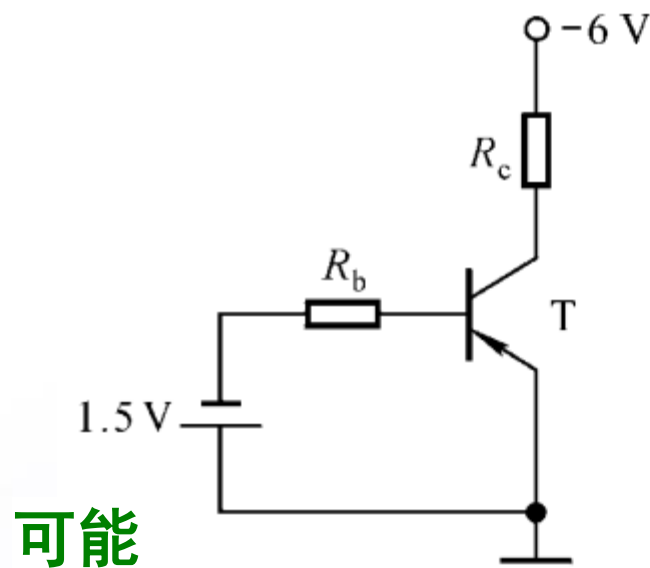
硅管: b-e间电压**0.7V**

锗管: b-e间电压**0.2V**

解: 晶体管三个极分别为上、中、下管脚

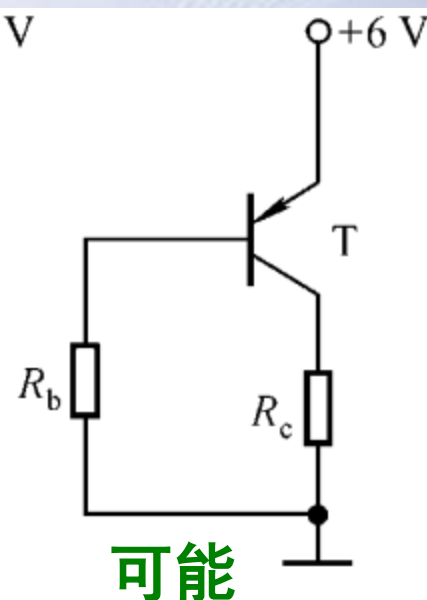
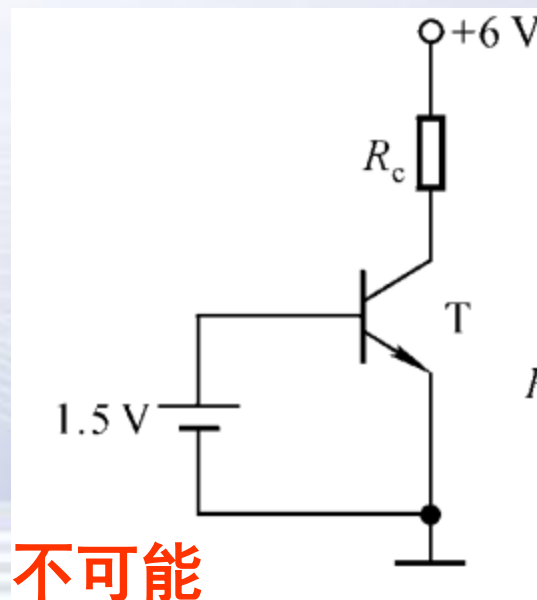
管号	T ₁
上	e
中	b
下	c
管型	PNP
材料	Si

1.12 分别判断图 1.12 所示各电路中晶体管是否有可能工作在放大状态。



*NPN*型: $u_C > u_B > u_E$

*PNP*型: $u_C < u_B < u_E$



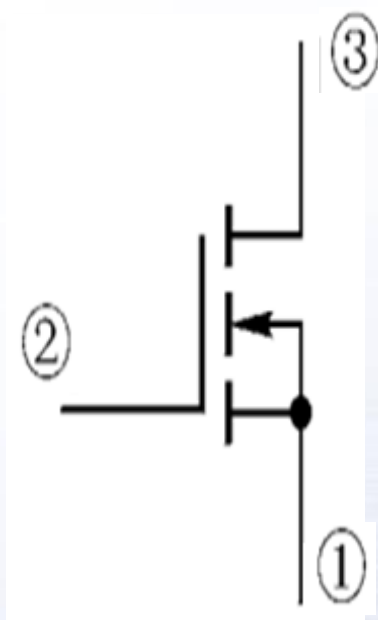
1.13 已知放大电路中一只 N 沟道场效应管三个极①、②、③的电位分别为 4V、8V、12V，管子工作在恒流区。试判断它可能是哪种管子（结型管、MOS 管、增强型、耗尽型），并说明 ①、②、③与 G、S、D 的对应关系。

$$\text{场效应管} \left\{ \begin{array}{l} \text{结型} \left\{ \begin{array}{l} \text{N沟道}(u_{GS} < 0, u_{DS} > 0) \\ \text{P沟道}(u_{GS} > 0, u_{DS} < 0) \end{array} \right. \\ \text{绝缘栅型} \left\{ \begin{array}{l} \text{增强型} \left\{ \begin{array}{l} \text{N沟道}(u_{GS} > 0, u_{DS} > 0) \\ \text{P沟道}(u_{GS} < 0, u_{DS} < 0) \end{array} \right. \\ \text{耗尽型} \left\{ \begin{array}{l} \text{N沟道}(u_{GS} \text{ 极性任意}, u_{DS} > 0) \\ \text{P沟道}(u_{GS} \text{ 极性任意}, u_{DS} < 0) \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right.$$



	结型 (N沟道)	结型 (P沟道)	增强MOS (N沟道)	增强MOS (P沟道)	耗尽MOS (N沟道)	耗尽MOS (P沟道)
夹断区	$u_{GS} \leq U_{GS(off)} < 0$	$u_{GS} \geq U_{GS(off)} > 0$	$u_{GS} \leq U_{GS(th)} > 0$	$u_{GS} \geq U_{GS(th)} < 0$	$u_{GS} \leq U_{GS(off)} < 0$	$u_{GS} \geq U_{GS(off)} > 0$
可变电阻区	$0 \leq u_{GS} < U_{GS(off)}$ $u_{GD} > U_{GS(off)}$	$0 < u_{GS} < U_{GS(off)}$ $u_{GD} < U_{GS(off)}$	$u_{GS} > U_{GS(th)}$ $u_{GD} > U_{GS(th)}$	$u_{GS} < U_{GS(th)}$ $u_{GD} < U_{GS(th)}$	$u_{GS} > U_{GS(off)}$ $u_{GD} > U_{GS(off)}$	$u_{GS} < U_{GS(off)}$ $u_{GD} < U_{GS(off)}$
恒流区	$0 \leq u_{GS} < U_{GS(off)}$ $u_{GD} < U_{GS(off)}$	$0 < u_{GS} < U_{GS(off)}$ $u_{GD} > U_{GS(off)}$	$u_{GS} > U_{GS(th)}$ $u_{GD} < U_{GS(th)}$	$u_{GS} < U_{GS(th)}$ $u_{GD} > U_{GS(th)}$	$u_{GS} > U_{GS(off)}$ $u_{GD} < U_{GS(off)}$	$u_{GS} < U_{GS(off)}$ $u_{GD} > U_{GS(off)}$
恒流区电位	$U_D > U_S > U_G$	$U_D < U_S < U_G$				

1.21 已知放大电路中一只 N 沟道场效应管三个极①、②、③的电位分别为 4V、8V、12V，管子工作在恒流区。试判断它可能是哪种管子（结型管、MOS 管、增强型、耗尽型），并说明 ①、②、③与 G、S、D 的对应关系。



$$\begin{aligned} u_{GS} &> 0 & u_{DS} &> 0 \\ u_{GS} &> U_{GS(th)} & u_{GD} &< U_{GS(th)} \\ \text{即: } u_{GD} &< U_{GS(th)} < u_{GS} \end{aligned}$$

$$u_{GS} = 8V - 4V = 4V$$

$$u_{DS} = 12V - 4V = 8V$$

$$u_{GD} = 8V - 12V = -4V$$

N沟道增强型

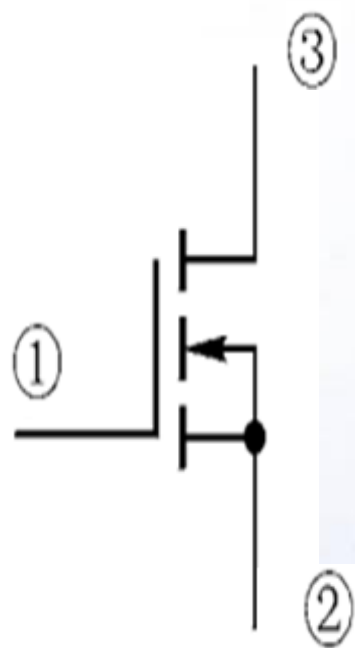
N沟道增强型 这种分布方式成立



1.21 已知放大电路中一只 N 沟道场效应管三个极①、②、③的电位分别为 4V、8V、12V，管子工作在恒流区。试判断它可能是哪种管子（结型管、MOS 管、增强型、耗尽型），并说明 ①、②、③与 G、S、D 的对应关系。

$$u_{GS} = 4V - 8V = -4V$$

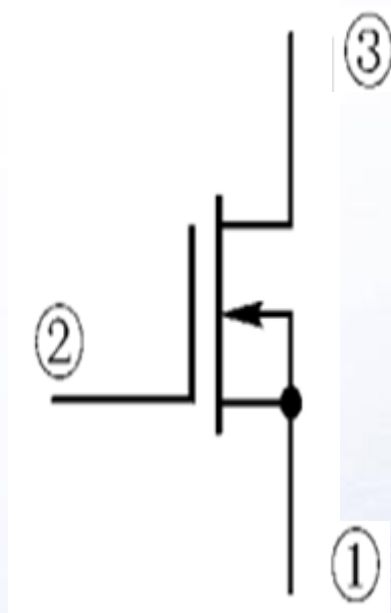
不满足 $u_{GS} > 0$ 不成立



N沟道增强型



1.21 已知放大电路中一只 N 沟道场效应管三个极①、②、③的电位分别为 4V、8V、12V，管子工作在恒流区。试判断它可能是哪种管子（结型管、MOS 管、增强型、耗尽型），并说明 ①、②、③与 G、S、D 的对应关系。



$$u_{GS} \text{ 极性任意} \quad u_{DS} > 0$$

$$u_{GS} > U_{GS(off)} \quad u_{GD} < U_{GS(off)}$$

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

$$u_{GS} = 8V - 4V = 4V$$

$$u_{DS} = 12V - 4V = 8V$$

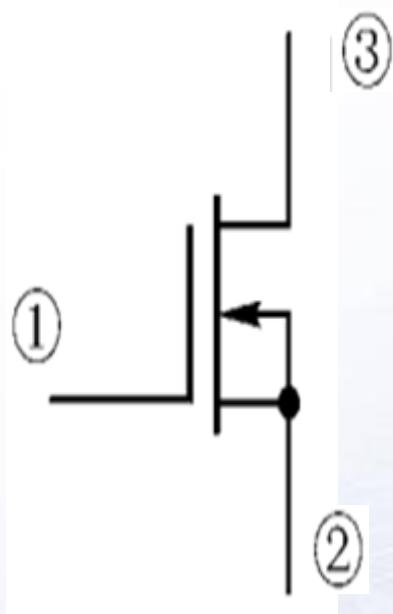
$$u_{GD} = 8V - 12V = -4V$$

N沟道耗尽型

N沟道耗尽型 这种分布方式成立



1.21 已知放大电路中一只 N 沟道场效应管三个极①、②、③的电位分别为 4V、8V、12V，管子工作在恒流区。试判断它可能是哪种管子（结型管、MOS 管、增强型、耗尽型），并说明 ①、②、③与 G、S、D 的对应关系。



$$u_{GS} \text{ 极性任意} \quad u_{DS} > 0$$

$$u_{GS} > U_{GS(off)} \quad u_{GD} < U_{GS(off)}$$

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

$$u_{GS} = 4V - 8V = -4V$$

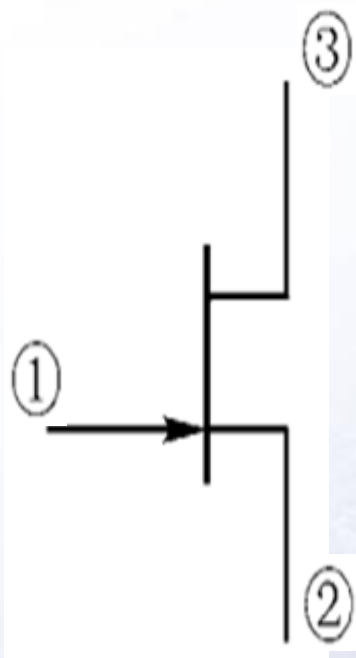
$$u_{DS} = 12V - 8V = 4V$$

$$u_{GD} = 4V - 12V = -8V$$

N沟道耗尽型

N沟道耗尽型 这种分布方式成立

1.21 已知放大电路中一只 N 沟道场效应管三个极①、②、③的电位分别为 4V、8V、12V，管子工作在恒流区。试判断它可能是哪种管子（结型管、MOS 管、增强型、耗尽型），并说明 ①、②、③与 G、S、D 的对应关系。



$$u_{GS} < 0 \quad u_{DS} > 0$$

$$0 \geq u_{GS} > U_{GS(off)} \quad u_{GD} < U_{GS(off)}$$

$$u_{GD} < U_{GS(off)} < u_{GS} \leq 0$$

$$u_{GS} = 4V - 8V = -4V$$

$$u_{DS} = 12V - 8V = 4V$$

$$u_{GD} = 4V - 12V = -8V$$

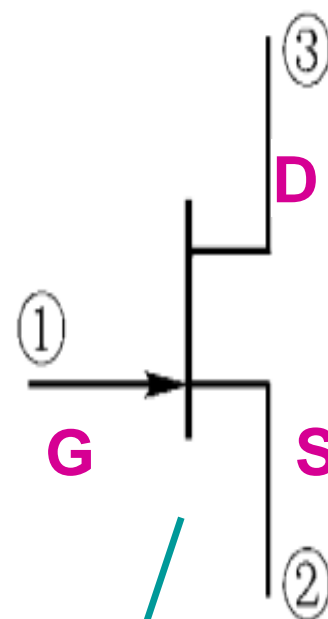
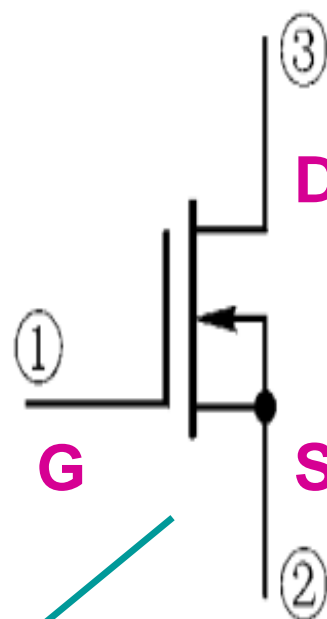
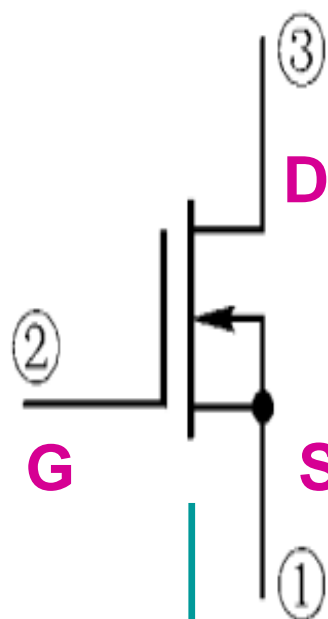
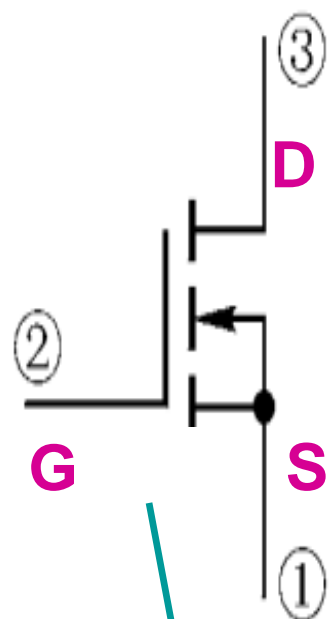
N沟道结型

N沟道结型 这种分布方式成立



1.13 已知放大电路中一只 N 沟道场效应管三个极①、②、③的电位分别为 4V、8V、12V，管子工作在恒流区。试判断它可能是哪种管子（结型管、MOS 管、增强型、耗尽型），并说明 ①、②、③与 G、S、D 的对应关系。

解：

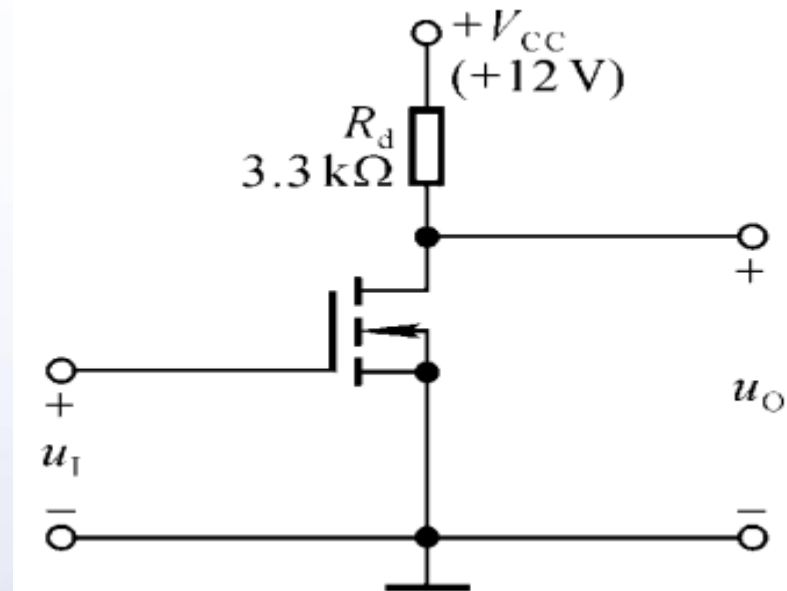
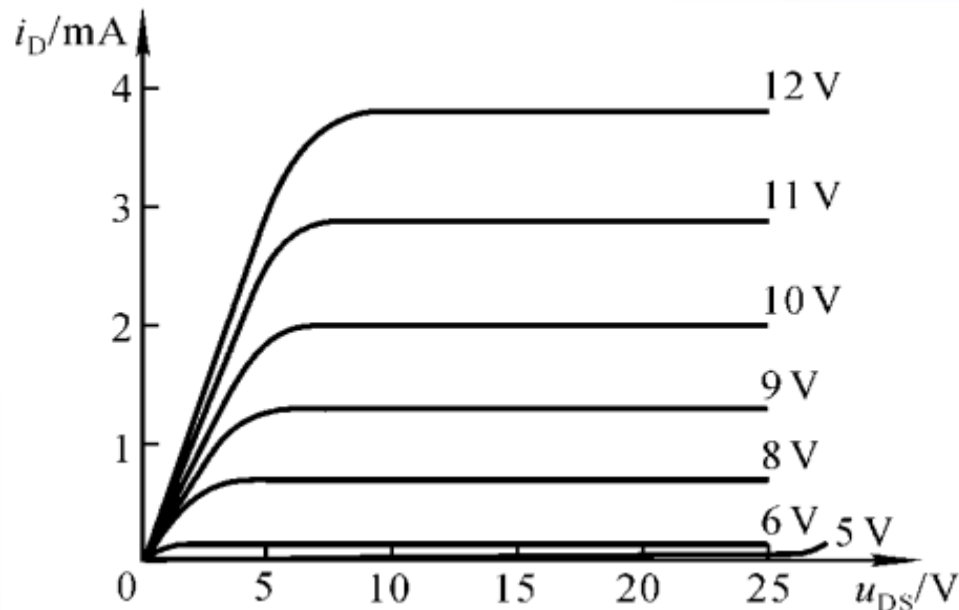


N沟道增强型

N沟道耗尽型

N沟道结型

1.15 电路如图 P1.15 示, T 的输出特性如图 P1.14 示, 分析当 $u_1 = 4\text{V}$ 、 8V 、 12V 三种情况下场效应管分别工作在什么区域。



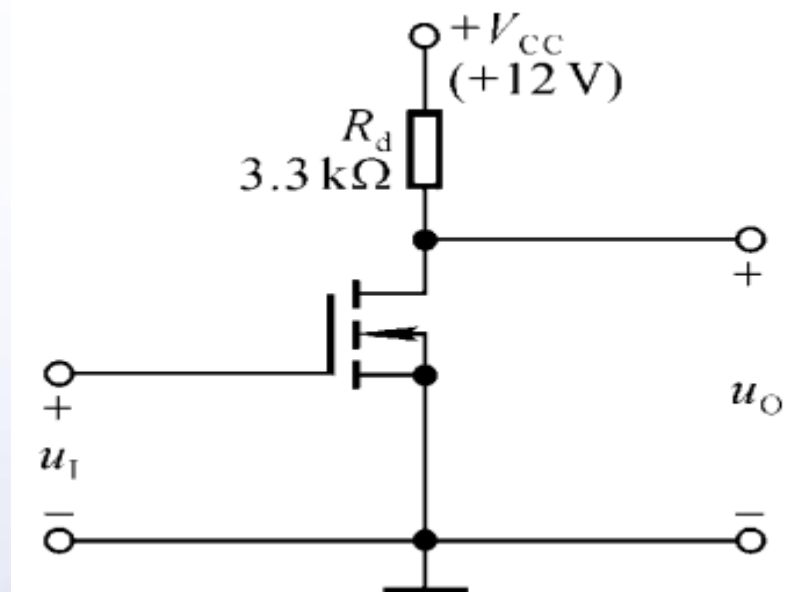
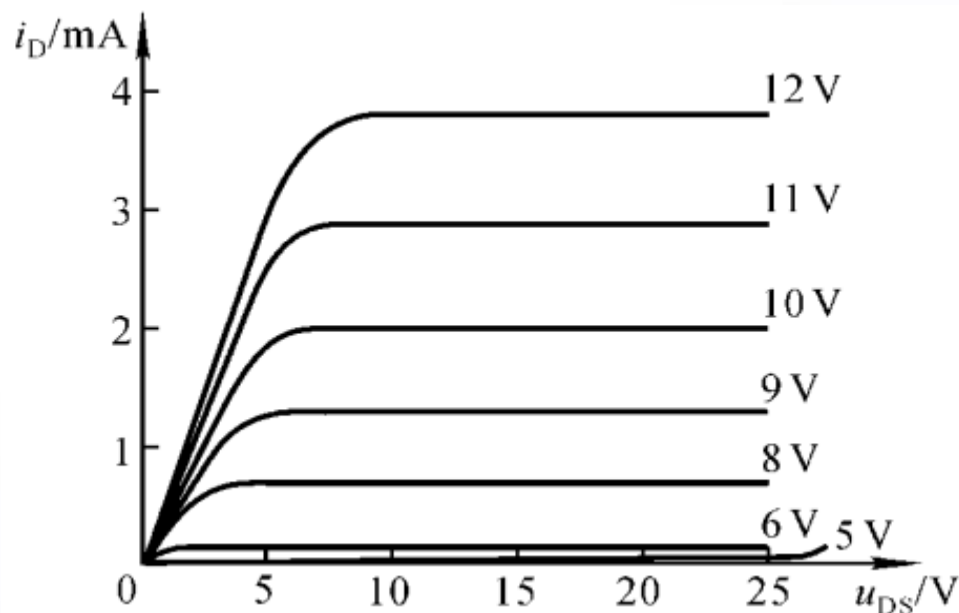
解: 先判断其是否处于截止状态

如果不处于截止状态, 则继续判断其是否处于恒流区

先假设其处于恒流区

$$u_{DS} > u_{GS} - U_{GS(off)}$$

1.15 电路如图 P1.15 示, T 的输出特性如图 P1.14 示, 分析当 $u_I = 4V$ 、 $8V$ 、 $12V$ 三种情况下场效应管分别工作在什么区域。



解: 为N沟道增强型

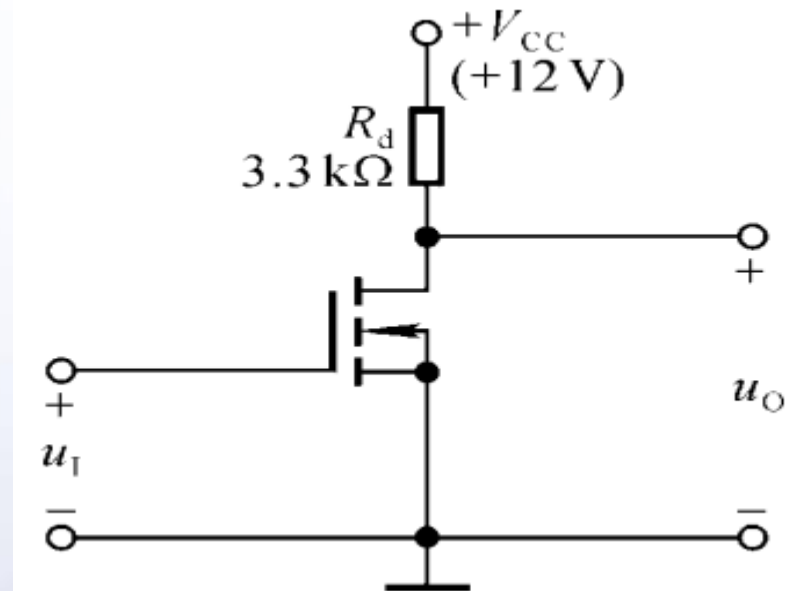
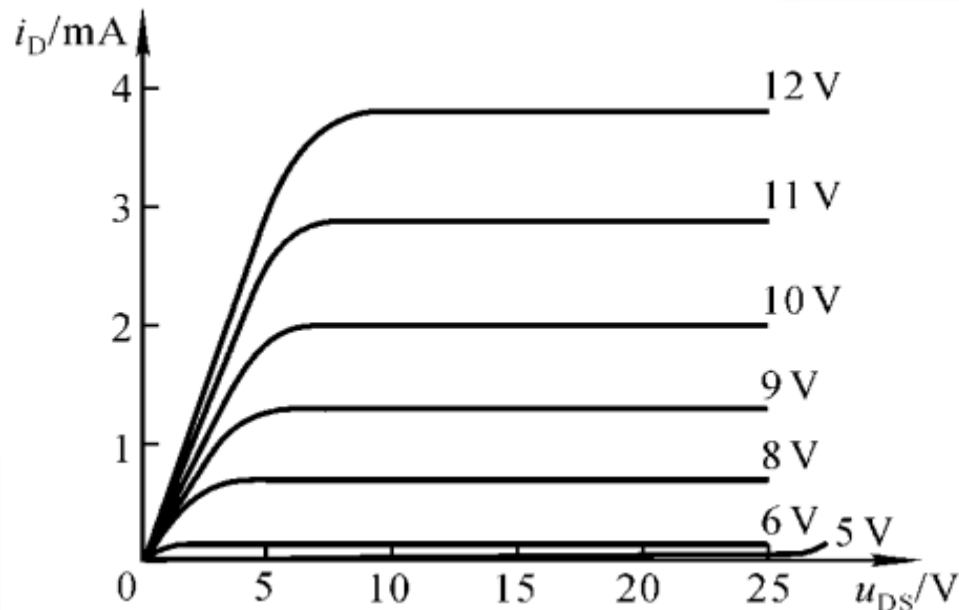
其开启电压为

$$u_{GS(th)} = 5V$$

当 $u_{GS} = u_I = 4V$ 时:

u_{GS} 小于开启电压, 故 T 截止

1.15 电路如图 P1.15 示, T 的输出特性如图 P1.14 示, 分析当 $u_I = 4\text{V}$ 、 8V 、 12V 三种情况下场效应管分别工作在什么区域。



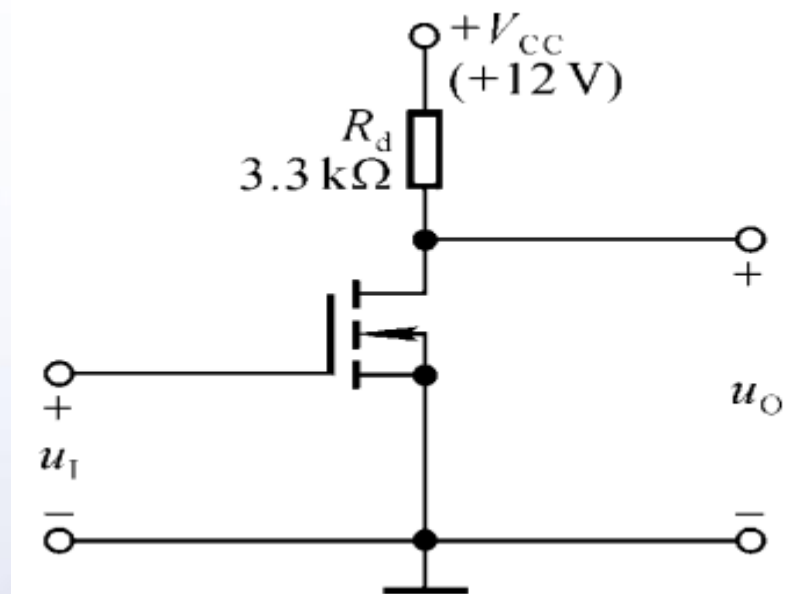
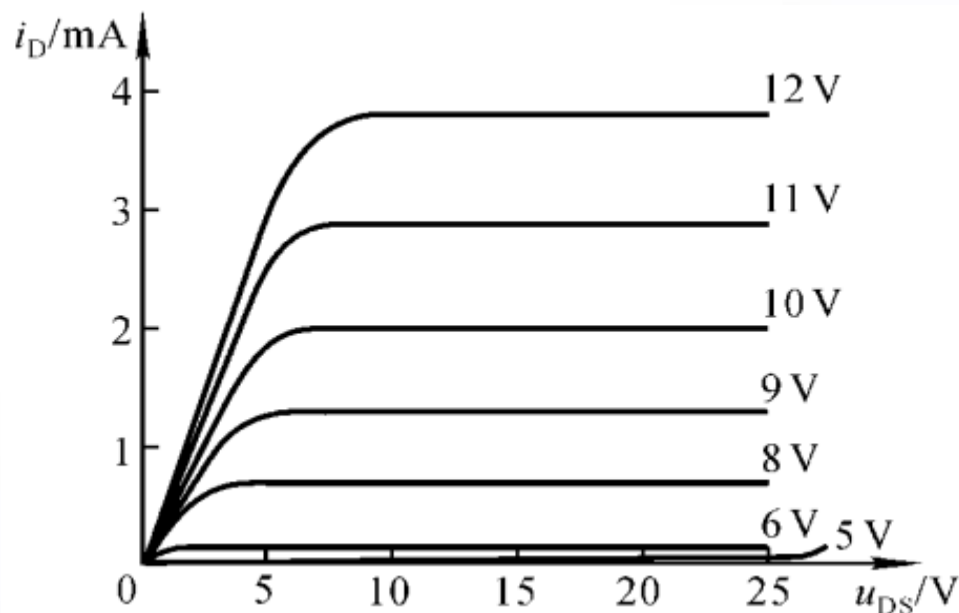
当 $u_{GS} = u_I = 8\text{V}$ 时: 设管子工作在恒流区, 则 $i_D = 0.6\text{mA}$

$$\therefore u_O = u_{DS} = V_{CC} - i_D \cdot R_d = 12 - 0.6 \times 3.3 = 10.02\text{V}$$

由于 $u_{DS} = 10.02\text{V} > u_{GS} - u_{GS(th)} = 8 - 5 = 3\text{V}$

说明假设成立, 管子工作在恒流区。

1.15 电路如图 P1.15 示, T 的输出特性如图 P1.14 示, 分析当 $u_I = 4\text{V}$ 、 8V 、 12V 三种情况下场效应管分别工作在什么区域。



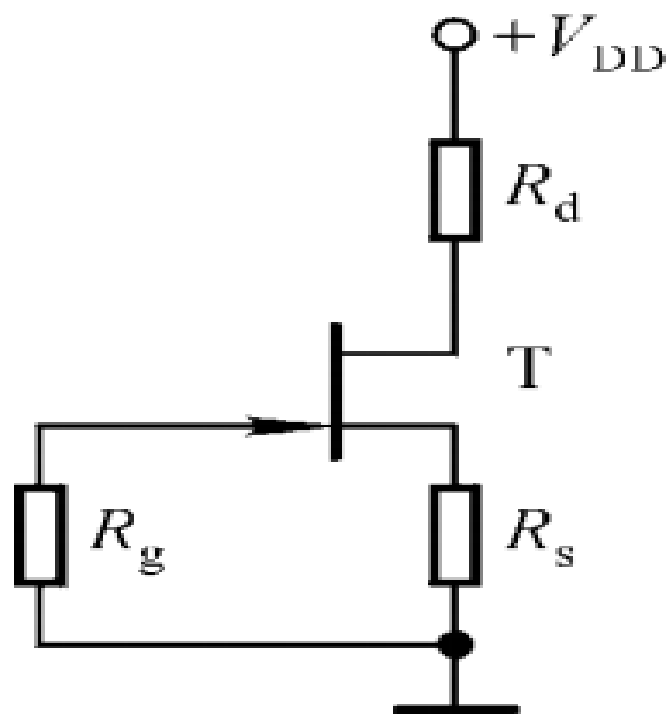
当 $u_{GS} = u_I = 12\text{V}$ 时: 设管子工作在恒流区, 则 $i_D = 3.8\text{mA}$

$$\therefore u_O = u_{DS} = V_{CC} - i_D \cdot R_d = 12 - 3.8 \times 3.3 = -0.54\text{V}$$

由于 $u_{DS} = -0.54\text{V} < u_{GS} - u_{GS(th)} = 12 - 5 = 7\text{V}$

说明假设不成立, 管子工作在 **可变电阻区**。

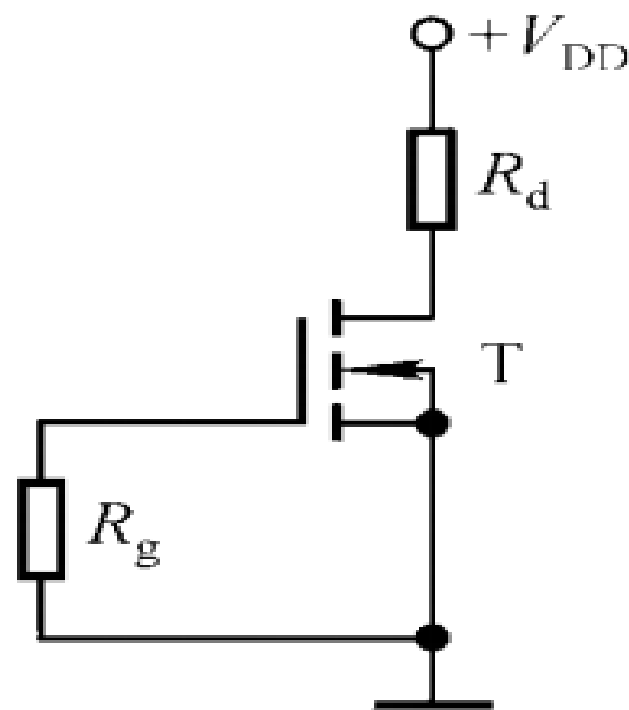
1.16 分别判断图 P1.16所示各电路中的场效应管是否有可能工作在恒流区



N沟道结型

恒流区应有 $u_{GS} < 0, u_{DS} > 0$

(a) 可能

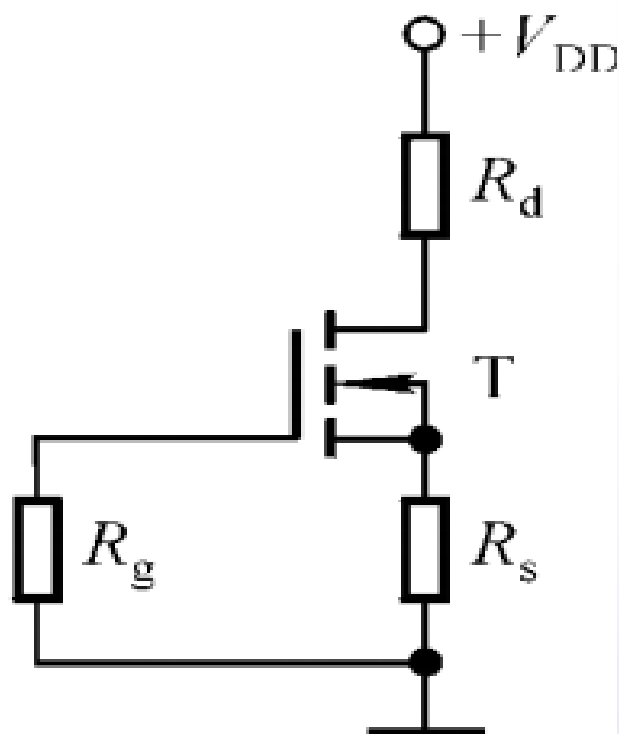


N沟道增强型

恒流区应有 $u_{GS} > 0, u_{DS} > 0$

(b) 不能

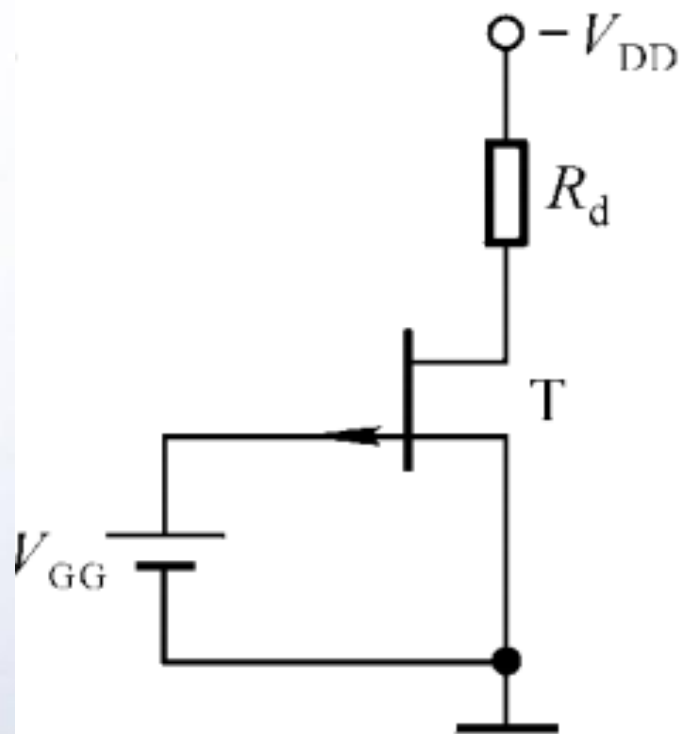
1.16 分别判断图 P1.16所示各电路中的场效应管是否有可能工作在恒流区



N沟道增强型

恒流区应有 $u_{GS} > 0, u_{DS} > 0$

(c) 不能



P沟道结型

恒流区应有 $u_{GS} > 0, u_{DS} < 0$

(d) 可能