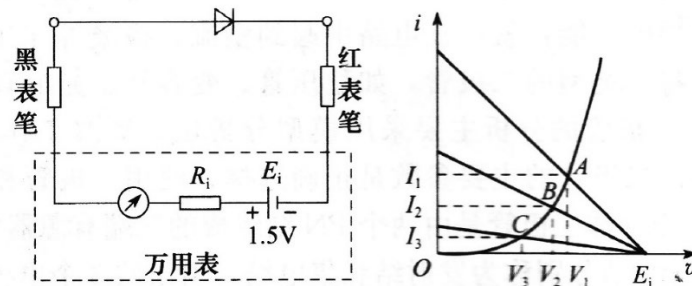


题 4.7 在用万用表的 $R \times 10\Omega$, $R \times 100\Omega$ 和 $R \times 1k\Omega$ 三个欧姆档测量某二极管的正向电阻时, 共测得三个数据; $4k\Omega$ 、 85Ω 和 680Ω , 试判断它们各是哪一档测出的。万用表测量电阻时, 对应的测量电路和伏安特性如图题 4.7 所示。



题 4.7 图

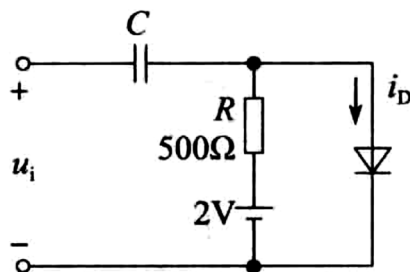
答: 用万用表测出的二极管电阻值是它的直流电阻。由于二极管是非线性元件, 它的电压和电流不成正比, 所以通过管子的电流也不同, 测出的直流电阻也不同。

当用低阻档测量时, 由于万用表的内阻小, 通过二极管的电流大, 管子工作在较高工作点处, 所以直流电阻 (V_{D1}/I_{D1}) 小。

当用高阻档测量时, 万用表内阻大, 通过二极管的电流小, 管子工作在较低工作点处, 所以直流电阻 (V_{D2}/I_{D2}) 大。

- A 点, 85Ω 对应于 $R \times 10$;
- B 点, 680Ω 对应于 $R \times 100$ 。
- C 点, $4k$ 对应于 $R \times 1k$;

题 4.8 电路如图 4.8 图所示, 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的有效值为多少?



题 4.8 图

解: 先讲叠加原理。交流小信号等效电路的基础是叠加原理, 通过这一题讲透。

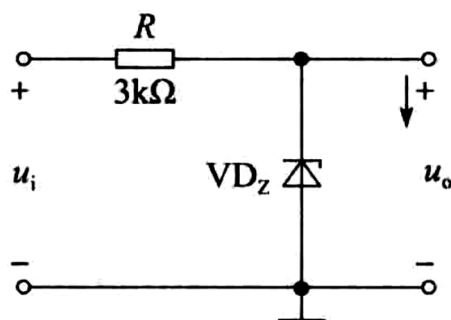
(1) 先画直流通路, 解出直流电压源导致的二极管偏置电流。输入交流信号的幅度 $10mV$ 小于偏置电压 $2V$, 二极管持续导通, 不截止。(2) 再画出交流小信号通路, 解出交流电压信号导致的二极管交流电流。

$$\text{二极管电流: } I_D = \frac{2V - 0.7V}{500\Omega} \approx 2.6mA$$

$$\text{二极管微分电阻: } r_d = \frac{U_T}{I_D} = \frac{26mV}{2.6mA} = 10\Omega$$

$$\text{二极管电流有效值: } I_d = \frac{U_i}{r_d} = \frac{10mV}{10\Omega} = 1mA$$

题 4.9 电路如题 4.9 图所示，稳压管的稳定电压 $U_Z = 8V$ ，限流电阻 $R = 3k\Omega$ ，设 $u_i = 15\sin\omega t(V)$ ，试画出 u_o 的波形。

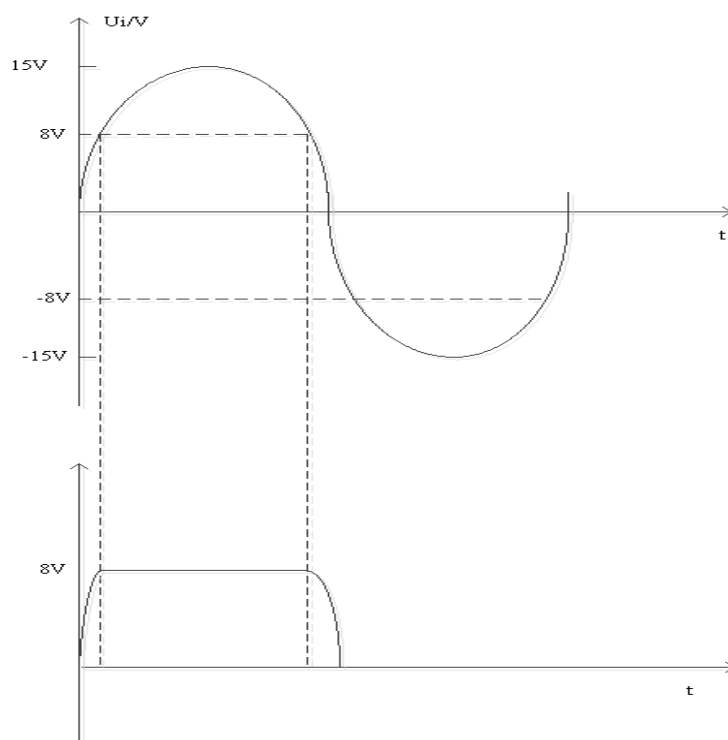


题 4.9 图

解： $U_i \leq 0V$ 时，假设稳压管正向导通压降为 $0V$ ， $U_o = 0V$

$0 < U_i < 8V$ 时，稳压管截止， $U_o = U_i$

$U_i \geq 8V$ 时，稳压管反向击穿， $U_o = 8V$



题 4.11 测得工作在放大电路中几个半导体三极管的三个电极电位 U_1 、 U_2 、 U_3 分别为下列各组数值，试判断它们是 NPN 型还是 PNP 型？是硅管还是锗管？并确定 e、b、c。

1) $U_1 = 3.5\text{V}$, $U_2 = 2.8\text{V}$, $U_3 = 12\text{V}$;

2) $U_1 = 3\text{V}$, $U_2 = 2.8\text{V}$, $U_3 = 12\text{V}$;

3) $U_1 = 6\text{V}$, $U_2 = 11.3\text{V}$, $U_3 = 12\text{V}$;

4) $U_1 = 6\text{V}$, $U_2 = 11.8\text{V}$, $U_3 = 12\text{V}$ 。

答：

NPN 管：两个低电压之间有 BE 结管压降；

PNP 管：两个高电压之间有 BE 结管压降；

(1) NPN 硅管；(2) NPN 锗管；(3) PNP 硅管；(4) PNP 锗管。

4.11 1). $U_{BE} = (3.5 - 2.8)\text{V} = 0.7\text{V}$

NPN 硅管

$u_1 \rightarrow b, u_2 \rightarrow e, u_3 \rightarrow c$

2) $U_{BE} = (3 - 2.8)\text{V} = 0.2\text{V}$

NPN 锗管

$u_1 \rightarrow b, u_2 \rightarrow e, u_3 \rightarrow c$

3). $U_{BE} = (12 - 11.3)\text{V} = 0.7\text{V}$

PNP 硅管

$u_1 \rightarrow c, u_2 \rightarrow b, u_3 \rightarrow e$

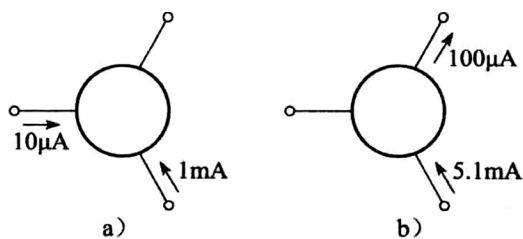
4) $U_{BE} = (12 - 11.8)\text{V} = 0.2\text{V}$

PNP 锗管

$u_1 \rightarrow c, u_2 \rightarrow b, u_3 \rightarrow e$

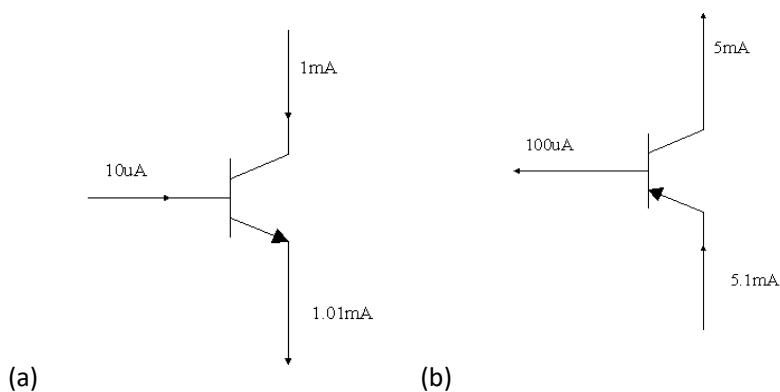
(2)

题 4.12 现测得放大电路中两只管子的两个电极的电流如题 4.12 图所示。分别求另一电极的电流，标出其方向，并在圆圈中画出管子，且分别求出它们的电流放大系数 β 。



题 4.12 图

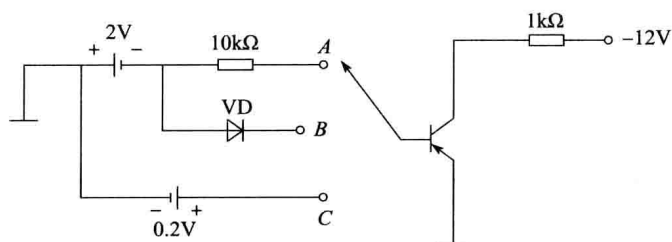
解：基极电流方向决定管子类型。



$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = 100,$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = 50$$

题 4.13 电路如题 4.13 图所示，晶体管 $\beta=50$ ， $I_{CBO}=4\mu A$ ，导通时 $V_{BE}=-0.2V$ ，问当开关分别接在 A、B、C 三处时，晶体管处于何种工作状态？集电极电流 I_C 为多少？假设二极管 VD 具有理想特性。



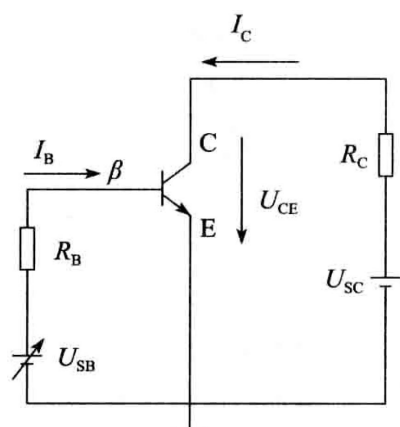
题 4.13 图

答：(a) $I_B = [V_{EB} - (-2)] / 10 = 1.8 \times 10^{-4} A$
 $I_C = \beta I_B = 9mA$

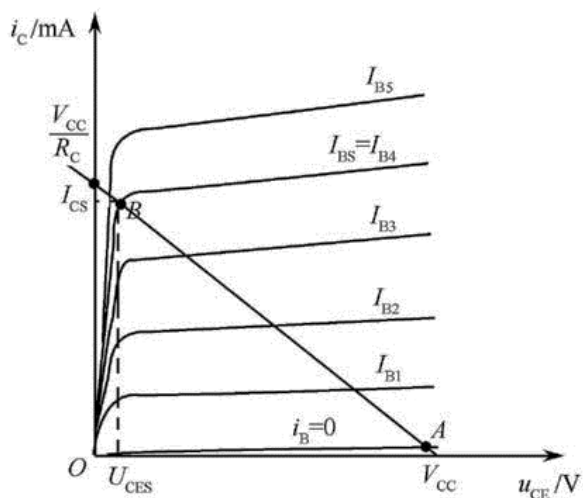
(b) VD 截止，三极管截止， $I_C = I_B = 0$ ；

(c) 三极管截止， $I_C = I_B = 0$ ；

题 4.14 三极管电路如题 4.14 图所示, 已知: $\beta = 50$, $U_{SC} = 12V$, $R_B = 70k\Omega$, $R_C = 6k\Omega$, 当 $U_{SB} = -2V$ 、 $2V$ 、 $5V$ 时, 晶体管的静态工作点 Q 位于哪个区?



题 4.14 图



- 截止由 U_{BE} 判断, 发射结是否正偏;
- 饱和是因为 CB 结反偏不足, 可以通过 $U_{CE} < U_{CES}$ 或 $I_B > I_{BS}$,

(1) $U_{SB} = -2V$, 三极管不导通, 截止。

(2) $U_{SB} = 2V$,

$$I_B = \frac{U_{SB} - 0.7}{R_B} = 190 \times 10^{-3} A,$$

$$I_{BS} = \frac{U_{SC} - U_{CES}}{R_C} \frac{1}{\beta} \approx \frac{U_{SC}}{\beta R_C} = 400 \times 10^{-3} A,$$

U_{CES} 未给定, 用输出特性曲线上负载线与纵轴交点近似 I_{CS} , 再折算 I_{BS}

$I_B < I_{BS}$, 所以三极管导通且未饱和, 工作在放大区。

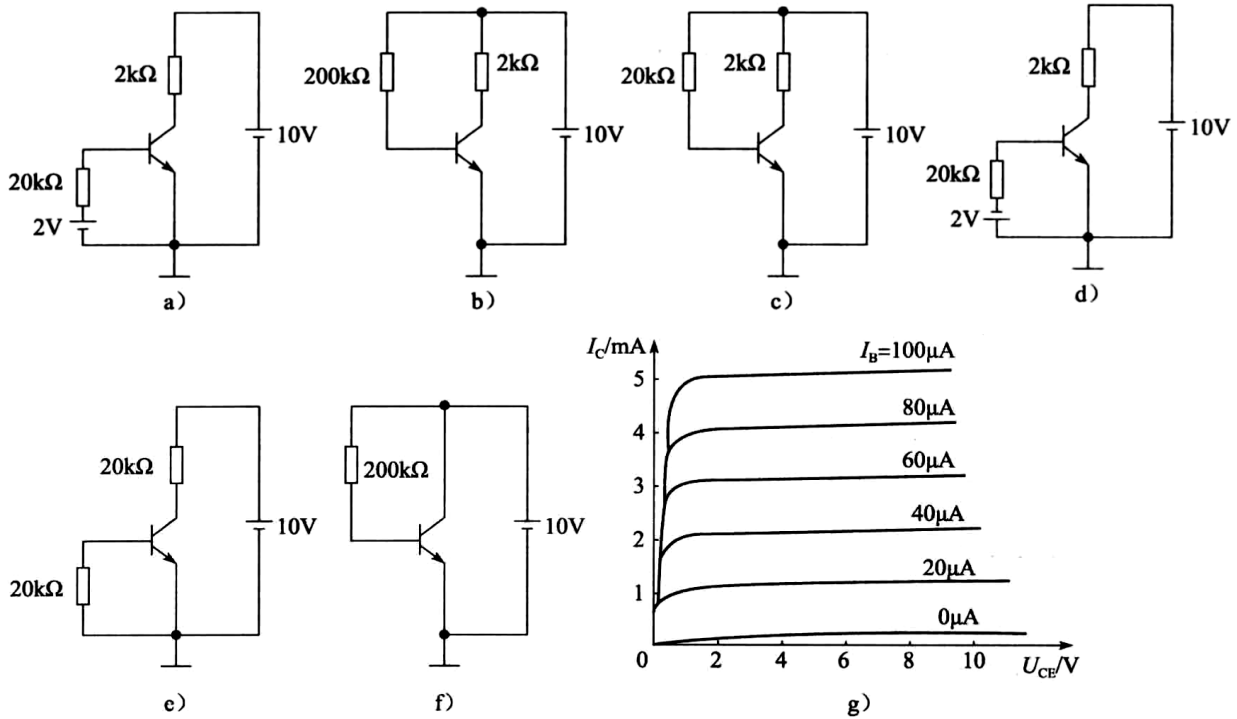
(3) $U_{SB} = 5V$

$$I_B = \frac{U_{SB} - 0.7}{R_B} = 600 \times 10^{-3} A,$$

$$I_{BS} = \frac{U_{SC} - U_{CES}}{R_C} \frac{1}{\beta} \approx \frac{U_{SC}}{\beta R_C} = 400 \times 10^{-3} A$$

$I_B > I_{BS}$, 所以三极管饱和, 工作在饱和区。

题 4.15 已知题 4.15 图 a~f 中各三极管的 β 均为 50, $U_{BE}=0.7V$, 试分别估算各电路中三极管的 I_C 和 U_{CE} , 判断它们各自工作在哪个区(放大区、截止区或饱和区), 并将各管子的工作点分别画在题 4.15 图 g 的输出特性曲线上。



(a)

$$I_B = \frac{2V - 0.7V}{20k\Omega} = 0.065mA$$

$$I_{BS} \approx \frac{1}{50} \frac{10V}{2k\Omega} = 0.1mA$$

$$I_B < I_{BS}$$

所以工作在放大区

$$I_C = \beta I_B = 3.25mA$$

$$U_{CE} = 10V - I_C \cdot 2k\Omega = 3.5V$$

(b)

$$I_B = \frac{10 - 0.7}{200k\Omega} = 0.0465mA$$

$$I_{BS} = \frac{10 - U_{CES}}{\beta \times 2k\Omega} \approx 0.1mA$$

$$I_B < I_{BS}$$

所以工作在放大区

$$I_C = \beta I_B = 2.33mA$$

$$U_{CE} = 5.35V$$

(c) 根据上面两小题的计算公式

$$I_B = 0.465mA$$

$$I_{BS} = 0.1mA$$

$$I_B > I_{BS}$$

三极管工作在饱和区

$$I_C = I_{CS} = \beta I_{BS} = 5mA$$

$$U_{CE} = U_{CES} = 0V \text{ 或 } 0.3V$$

(d) 发射结反偏, 三极管截止

$$I_C = 0$$

$$U_{CE} = V_{CC} = 10V$$

(e) 发射结零偏 $I_B = 0$

三极管截止

$$I_C = 0$$

$$U_{CE} = V_{CC} = 10V$$

(f)

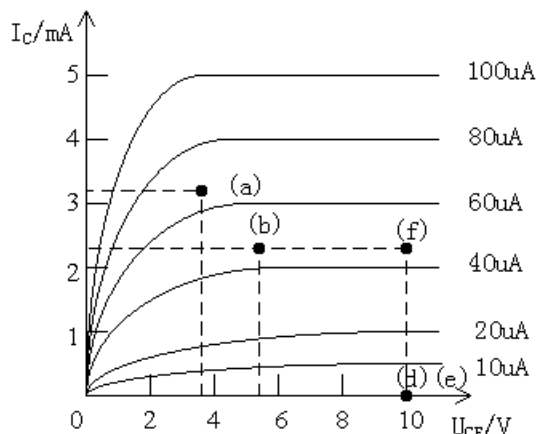
$$I_B = 0.0465 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta I_B = 2.33 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = V_{CC} = 10 \text{ V}$$

$$U_{CE} > U_{CES}$$

工作在放大区



4.15 解: a) $I_B = \frac{2-0.7}{20} = 0.065 \text{ mA}$

$$I_{BS} = \frac{10}{50 \times 2} = 0.1 \text{ mA}$$

$\because I_{BS} < I_B$ \therefore 工作在放大区

$$\therefore I_C = \beta I_B = 50 \times 0.065 = 3.25 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = 10 - 3.25 \times 2 = 3.5 \text{ V}$$

b) $I_B = \frac{10-0.7}{200} = 0.0465 \text{ mA}$

$$I_{BS} = \frac{10}{50 \times 2} = 0.1 \text{ mA}$$

$\because I_{BS} > I_B$ \therefore 工作在放大区

$$\therefore I_C = \beta I_B = 2.325 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = 10 - 2 \times 1.325 = 5.35 \text{ V}$$

c) $I_B = \frac{10-0.7}{20} = 0.465 \text{ mA}$

$$I_{BS} = \frac{10}{50 \times 2} = 0.1 \text{ mA}$$

$\because I_{BS} < I_B$ \therefore 工作在饱和区

$$\therefore I_C = I_{CS} = \beta I_{BS} = 5 \text{ mA}$$

$$U_{CE} \approx U_{CES} = 0 \text{ V}$$

d) \because 发射结反偏

\therefore 工作在截止区

$$I_C = 0, U_{CE} = U_{CC} = 10 \text{ V}$$

e) \because 发射结反偏

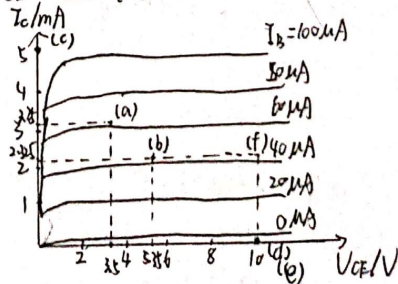
\therefore 工作在截止区

$$\therefore I_C = 0, U_{CE} = U_{CC} = 10 \text{ V}$$

f) $I_B = \frac{10-0.7}{200} = 0.0465 \text{ mA}$

$$I_C = \beta I_B = 2.325 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = U_{CC} = 10 \text{ V}$$

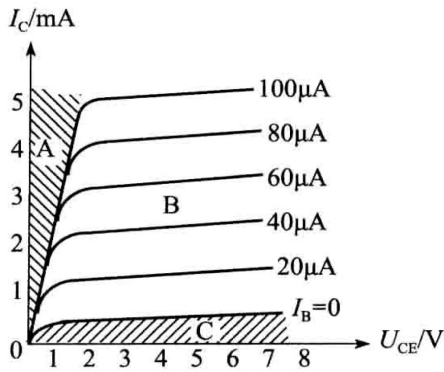


题 4.16 如题 4.16 图所示三极管的输出特性曲线，试指出 A、B、C 各区域名称并根据所给出的参数进行分析计算。

1) $U_{CE} = 3V$, $I_B = 60\mu A$, $I_C = ?$

2) $I_C = 4mA$, $U_{CE} = 4V$, $I_{CB} = ?$

3) $U_{CE} = 3V$, I_B 等于 $40 \sim 60\mu A$ 时, $\beta = ?$



题 4.16 图

先判断是 NPN 管。A 饱和区，B 放大区，C 截止区。

(1) 工作在放大区, $I_C = 3mA$

(2) 工作在放大区, $I_B = 80\mu A$

(3) $\beta = 50$

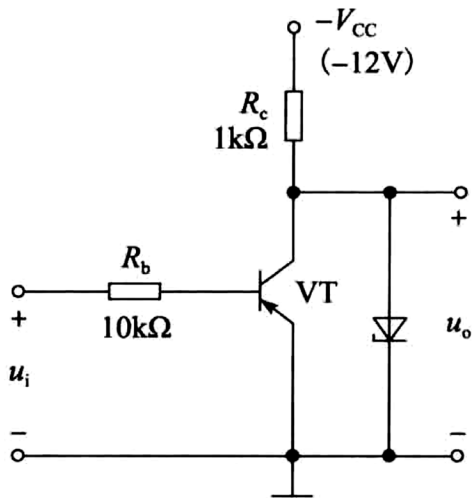
4.16 解: A: 饱和区; B: 放大区; C: 截止区

1). 由图知, I 工作在放大区, $I_C = 3mA$

2). $\checkmark \checkmark \checkmark$, I 工作在放大区, $I_{CB} = 80\mu A$

3). 当 $I_B = 40\mu A$ 时, $\beta = 50$
当 $I_B = 60\mu A$ 时, $\beta = 50 \Rightarrow \beta = 50$

题 4.17 电路如题 4.17 图所示，晶体管的 $\beta=50$ ， $|U_{BE}|=0.2V$ ，饱和管压降 $|U_{CES}|=0.1V$ ；稳压管的稳定电压 $U_Z=5V$ ，正向导通电压 $U_D=0.5V$ 。试问：当 $u_i=0V$ 时 $u_o=?$ ；当 $u_i=-5V$ 时 $u_o=?$



题 4.17 图

答：

(1) $U_i=0$ 时 晶体管截止，稳压管反向击穿、稳压状态。

$$U_o = -U_Z = -5V$$

(2) $U_i=-5V$ 时 晶体管饱和

$$I_{BQ} = \frac{5V - 0.2V}{10k\Omega} = 0.48mA$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 50 \times 0.48mA = 24mA$$

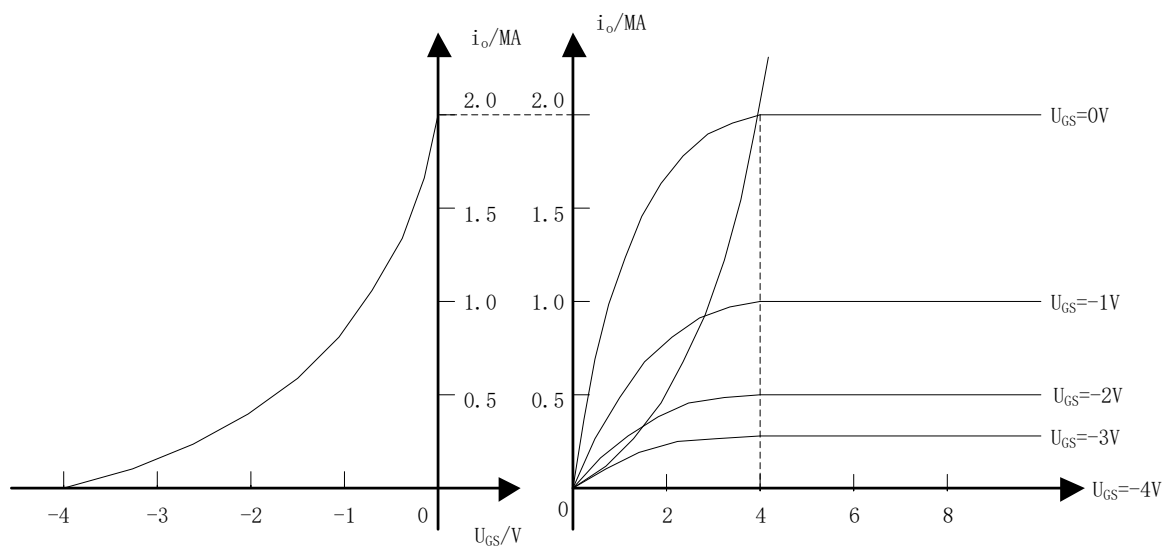
$$U_c = -V_{cc} + I_{CQ}R_c = -12 + 24mA \times 1k\Omega = 12V,$$

U_c 不可能达到，因此 BJT 饱和， V_{cc} 几乎全部降在 R_c 上。

$$U_o = -U_{ces} = -0.1V$$

稳压管截止。

题 4.18 已知某结型场效应管的 $I_{DSS} = 2\text{mA}$, $V_p = -4\text{V}$, 试画出它的转移特性曲线和输出特性曲线, 并近似画出预夹断轨迹。



N 沟道 J-type FET 的预夹断轨迹:

$$U_{DS} = U_{GS} - U_{GS,th}$$

右图画的不太好, 过预夹断轨迹后, 漏电流应该基本平行于横轴。

题 4.19 测得某放大电路中三个 MOS 管的三个电极的电位如题 4.19 表所示，它们的开启电压也在表中。试分析各管的工作状态(截止区、恒流区、可变电阻区)，并填入表内。

题 4.19 表

管号	$U_{GS(th)}/V$	U_S/V	U_G/V	U_D/V	工作状态
VT ₁	4	-5	1	3	
VT ₂	-4	3	3	10	
VT ₃	-4	6	0	5	

答：

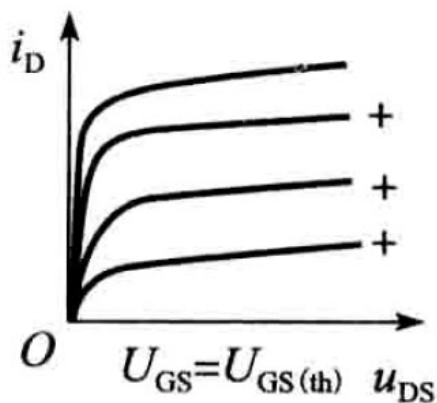
(1) VT₁

$$U_{GS(th)} > 0, \text{ N 沟道增强型。}$$

$$U_{GS} = 6V > U_{GS(th)}, \text{ 未截止。}$$

$$U_{DS} = 8V > U_{GS} - U_{GS(th)} = 2V,$$

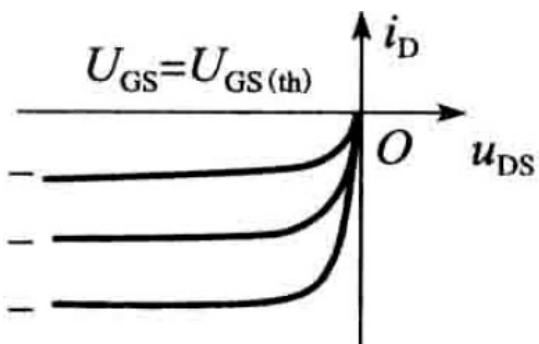
VT₁ 工作在饱和区。



(2) VT₂

$$U_{GS(th)} < 0, \text{ P 沟道增强型。}$$

$$U_{GS} = 0V > U_{GS(th)}, \text{ VT}_2 \text{ 截止。}$$



(3) VT₃

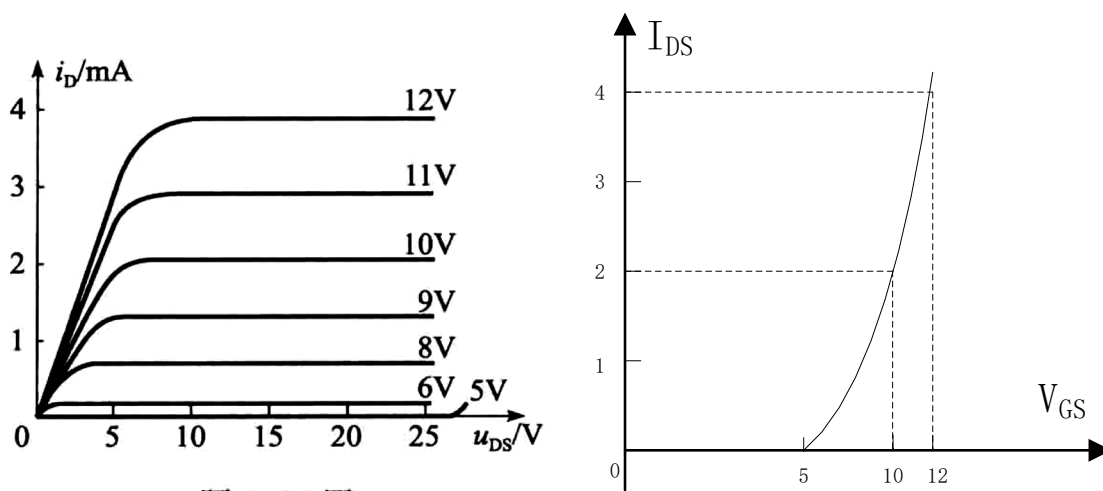
$$U_{GS(th)} < 0, \text{ P 沟道增强型。}$$

$$U_{GS} = -6V < U_{GS(th)}, \text{ 未截止}$$

$$|U_{DS}| = 1V < |U_{GS} - U_{GS(th)}| = 2V$$

VT₃ 工作在可变电阻区。

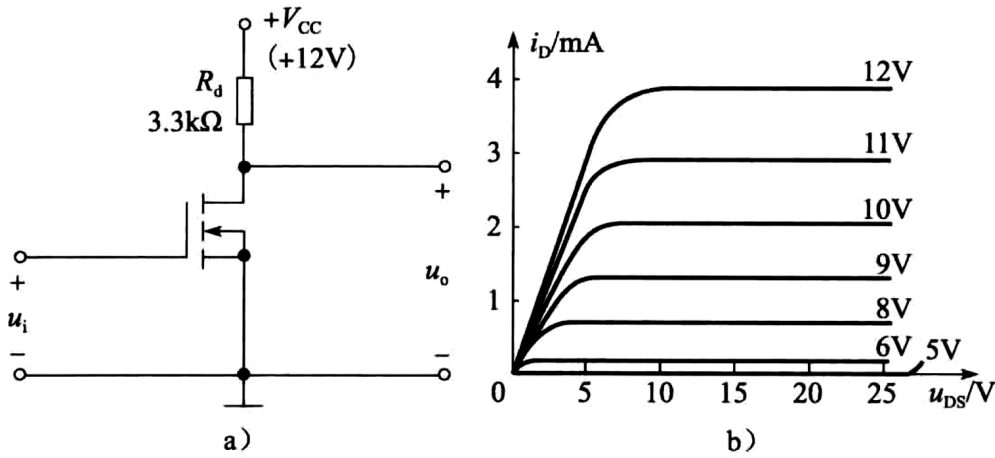
题 4.20 已知场效应管的输出特性曲线如题 4.20 图所示，画出它在恒流区的转移特性曲线。



题 4.20 图

N 沟道增强型 FET。

题 4.21 电路如题 4.21 图 a 所示，场效应管的输出特性如题 4.21 图 b 所示，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。



题 4.21 图

答：先判断是否导通，然后根据负载特性判断工作区域。

(1) 由传输特性曲线可知：开启电压为 $V_{GS(th)} = 5V$ ， $U_{GS} = U_i$

当 $U_i = U_{GS} = 4V < V_{GS(th)} = 5V$ ， T 截止。

(2) 当 $U_i = 8V$ 时，大于阈值电压导通。

设 T 工作在饱和区，由输出特性可知 $I_D \approx 0.6mA$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 12V - 0.6mA \times 3.3k\Omega = 10V,$$

$$U_{DS} = 10V > U_{GS} - U_{GS(th)} = 8V - 5V = 3V$$

假设成立， T 工作在饱和区。

(4) 当 $U_i = 12V$ 时，大于阈值电压导通。

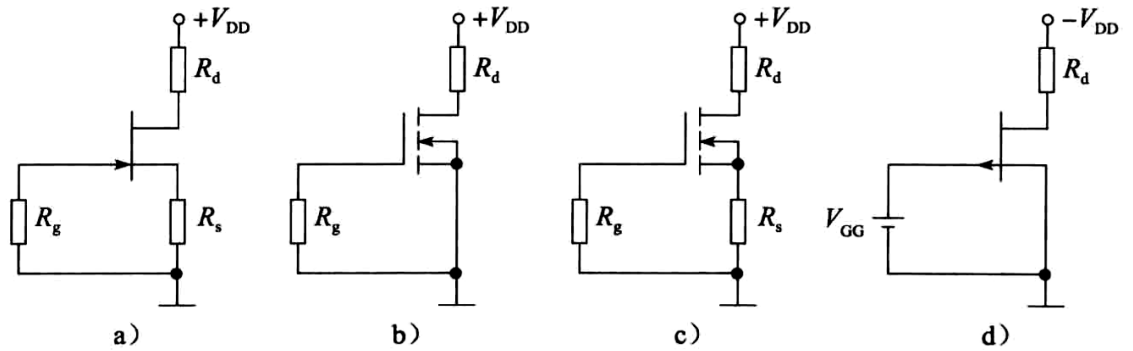
设 T 工作在饱和区，由输出特性可知 $I_D \approx 4mA$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 12V - 4mA \times 3.3k\Omega \approx 0V,$$

$$U_{DS} = 0V < U_{GS} - U_{GS(th)} = 12V - 5V = 7V$$

假设不成立， T 不工作在饱和区， T 工作在可变电阻区。

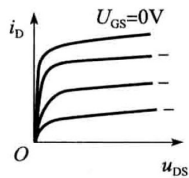
题 4.22 分别判断如题 4.22 图所示各电路中的场效应管是否有可能工作在放大区。



题 4.22 图

答:

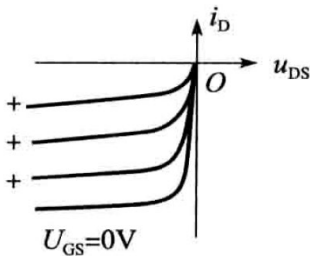
(a) R_s 上有电流, V_{GS} 结反偏, 漏极正电压, 可以在放大区。



(b) N 沟道增强型, $V_{GS} > 0$ 才能有反型层沟道。 V_{GS} 等于 0, 截止, 不可能。

(c) N 沟道增强型, V_{GS} 小于 0, 截止, 不可能。

(d) 结型 P 沟道。 V_{GS} 结反偏, 漏极负电压, 可以在放大区。



4.22. 解: (a). 结型 N 沟道耗尽型 MOS 管

$$\because V_{GS} = 0$$

$$V_{DS} > 0$$

\therefore 可能处于放大区

(b), (c) N 沟道增强型 MOS 管

$$\because V_{GS} = 0$$

\therefore 处于截止区

(d). 结型 P 沟道耗尽型 MOS 管

$$\because V_{GS} > 0$$

$$V_{DS} > 0$$

\therefore 可能处于放大区