

第一章 常用半导体器件

自 测 题

一、判断下列说法是否正确，用“√”和“×”表示判断结果填入空内。

(1) 在 N 型半导体中如果掺入足够量的三价元素，可将其改型为 P 型半导体。()

(2) 因为 N 型半导体的多子是自由电子，所以它带负电。() (3) PN 结在无光照、无外加电压时，结电流为零。()

(4) 处于放大状态的晶体管，集电极电流是多子漂移运动形成的。()

(5) 结型场效应管外加的栅-源电压应使栅-源间的耗尽层承受反向电压，才能保证其 R_{GS} 大的特点。()

(6) 若耗尽型 N 沟道 MOS 管的 U_{GS} 大于零，则其输入电阻会明显变小。()

解：(1) √ (2) × (3) √ (4) × (5) √ (6) ×

二、选择正确答案填入空内。

(1) PN 结加正向电压时，空间电荷区将_____。

A. 变窄 B. 基本不变 C. 变宽

(2) 设二极管的端电压为 U ，则二极管的电流方程是_____。

A. $I_S e^U$ B. $I e^{U/U_T}$ C. $I_S (e^{U/U_T} - 1)$

(3) 稳压管的稳压区是其工作在_____。

A. 正向导通 B. 反向截止 C. 反向击穿

(4) 当晶体管工作在放大区时，发射结电压和集电结电压应为_____。

A. 前者反偏、后者也反偏
B. 前者正偏、后者反偏
C. 前者正偏、后者也正偏

(5) $U_{GS} = 0V$ 时，能够工作在恒流区的场效应管有_____。

A. 结型管 B. 增强型 MOS 管 C. 耗尽型 MOS 管

解：(1) A (2) C (3) C (4) B (5) A C

三、写出图 T1.3 所示各电路的输出电压值, 设二极管导通电压 $U_D = 0.7\text{V}$ 。

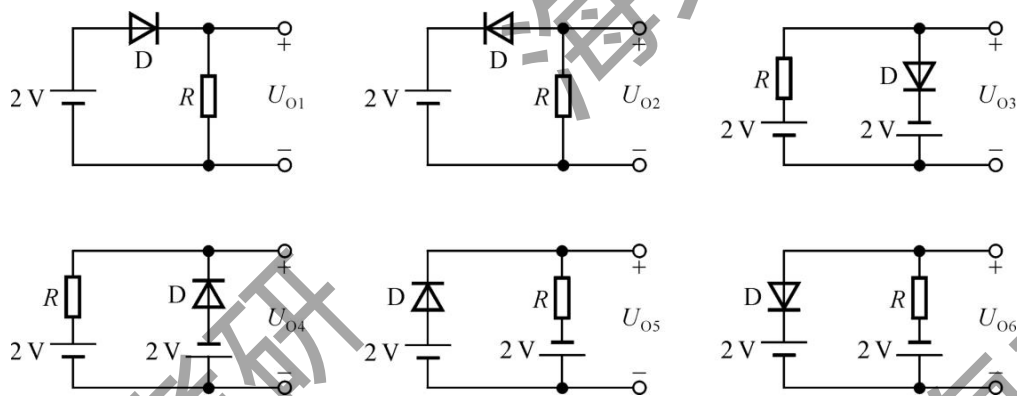


图 T1.3

解: $U_{O1} \approx 1.3\text{V}$, $U_{O2} = 0$, $U_{O3} \approx -1.3\text{V}$, $U_{O4} \approx 2\text{V}$, $U_{O5} \approx 1.3\text{V}$, $U_{O6} \approx -2\text{V}$ 。

四、已知稳压管的稳压值 $U_Z = 6\text{V}$, 稳定电流的最小值 $I_{Z\min} = 5\text{mA}$ 。求图 T1.4 所示电路中 U_{O1} 和 U_{O2} 各为多少伏。

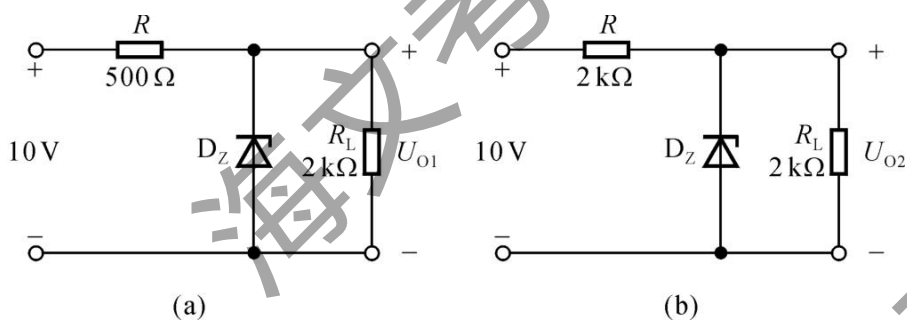


图 T1.4

解: $U_{O1} = 6\text{V}$, $U_{O2} = 5\text{V}$ 。

五、某晶体管的输出特性曲线如图 T1.5 所示，其集电极最大耗散功率 $P_{CM}=200\text{mW}$ ，试画出它的过损耗区。

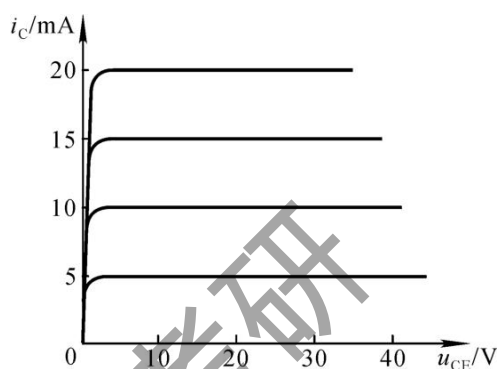
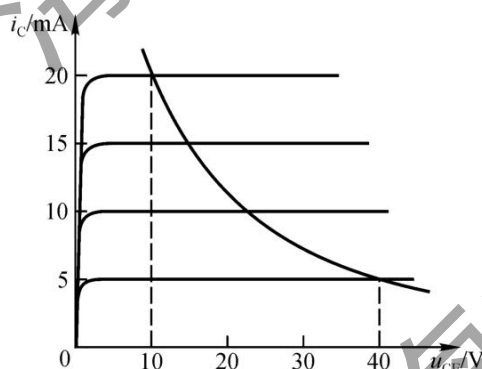


图 T1.5



解图 T1.5

解：根据 $P_{CM}=200\text{mW}$ 可得： $U_{CE}=40\text{V}$ 时 $I_C=5\text{mA}$ ， $U_{CE}=30\text{V}$ 时 $I_C\approx 6.67\text{mA}$ ， $U_{CE}=20\text{V}$ 时 $I_C=10\text{mA}$ ， $U_{CE}=10\text{V}$ 时 $I_C=20\text{mA}$ ，将各点连接成曲线，即为临界过损耗线，如解图 T1.5 所示。临界过损耗线的左边为过损耗区。

六、电路如图 T1.6 所示， $V_{CC}=15\text{V}$ ， $\beta=100$ ， $U_{BE}=0.7\text{V}$ 。试问：

(1) $R_b=50\text{k}\Omega$ 时， $u_o=?$

(2) 若 T 临界饱和，则 $R_b\approx?$

解：(1) $R_b=50\text{k}\Omega$ 时，基极电流、集电极电流和管压降分别为

$$I_B = \frac{V_{BB} - U_{BE}}{R_b} = 26 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 2.6 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 2\text{V}$$

所以输出电压 $U_o = U_{CE} = 2\text{V}$ 。

(2) 设临界饱和时 $U_{CES} = U_{BE} = 0.7\text{V}$ ，所以

$$I_C = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{R_C} = 2.86\text{mA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 28.6 \mu\text{A}$$

$$R_b = \frac{V_{BB} - U_{BE}}{I_B} \approx 45.4 \text{ k}\Omega$$

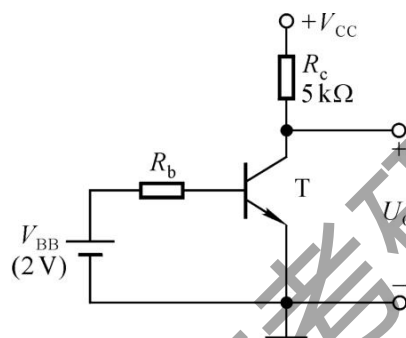


图 T1.6

七. 测得某放大电路中三个 MOS 管的三个电极的电位如表 T1.7 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。

表 T1.7

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

解: 因为三只管子均有开启电压, 所以它们均为增强型 MOS 管。根据表中所示各极电位可判断出它们各自的工作状态, 如解表 T1.7 所示。

解表 T1.7

管 号	$U_{GS(th)}/V$	U_S/V	U_G/V	U_D/V	工作状态
T ₁	4	-5	1	3	恒流区
T ₂	-4	3	3	10	截止区
T ₃	-4	6	0	5	可变电阻区

习 题

1.1 选择合适答案填入空内。

(1) 在本征半导体中加入_____元素可形成 N 型半导体, 加入_____元素可形成 P 型半导体。

- A. 五价 B. 四价 C. 三价

(2) 当温度升高时, 二极管的反向饱和电流将_____。

- A. 增大 B. 不变 C. 减小

(3) 工作在放大区的某三极管, 如果当 I_B 从 $12\mu A$ 增大到 $22\mu A$ 时, I_C 从 $1mA$ 变为 $2mA$, 那么它的 β 约为_____。

- A. 83 B. 91 C. 100

(4) 当场效应管的漏极直流电流 I_D 从 $2mA$ 变为 $4mA$ 时, 它的低频跨导 g_m 将_____。

- A. 增大 B. 不变 C. 减小

解: (1) A , C (2) A (3) C (4) A

1.2 能否将 1.5V 的干电池以正向接法接到二极管两端？为什么？ 解：不能。因为二极管的正向电流与其端电压成指数关系，当端电压为 1.5V 时，管子会因电流过大而烧坏。

1.3 电路如图 P1.3 所示，已知 $u_i = 10\sin\omega t(\text{V})$ ，试画出 u_i 与 u_o 的波形。设二极管正向导通电压可忽略不计。

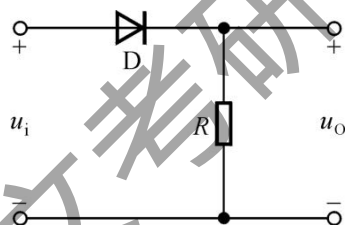
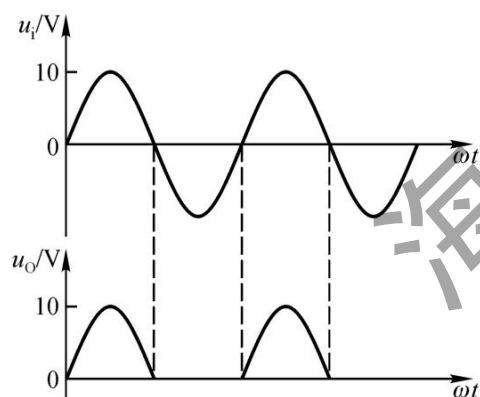


图 P1.3



解图 P1.3

解： u_i 和 u_o 的波形如解图 P1.3 所示。

1.4 电路如图 P1.4 所示，已知 $u_i = 5\sin\omega t(\text{V})$ ，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。

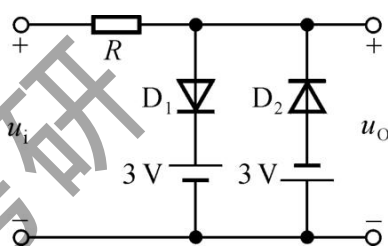
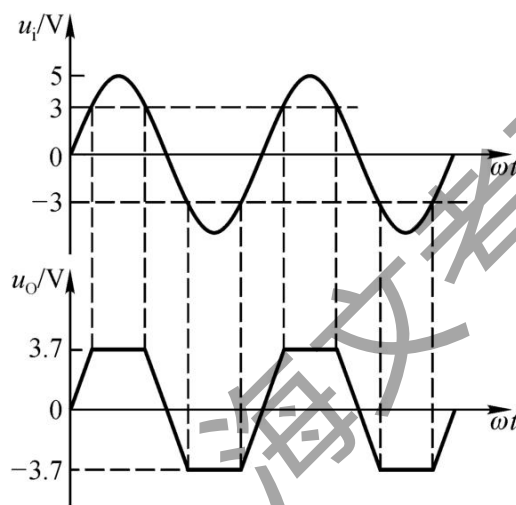


图 P1.4



解图 P1.4

解： 波形如解图 P1.4 所示。

1.5 电路如图 P1.5 (a) 所示，其输入电压 u_{i1} 和 u_{i2} 的波形如图 (b) 所示，二极管导通电压 $U_D = 0.7V$ 。试画出输出电压 u_o 的波形，并标出幅值。

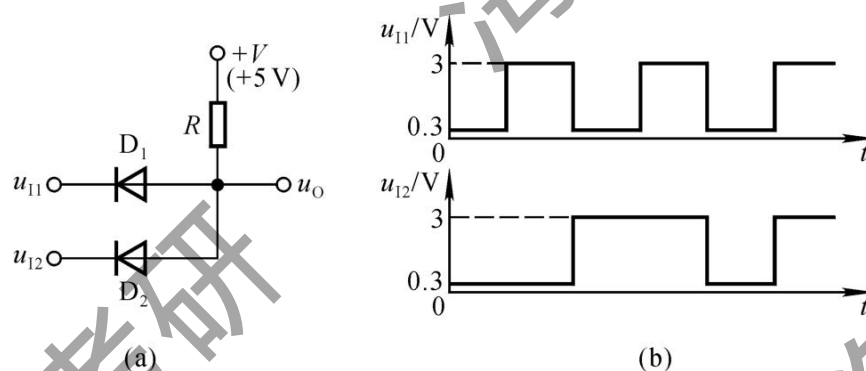
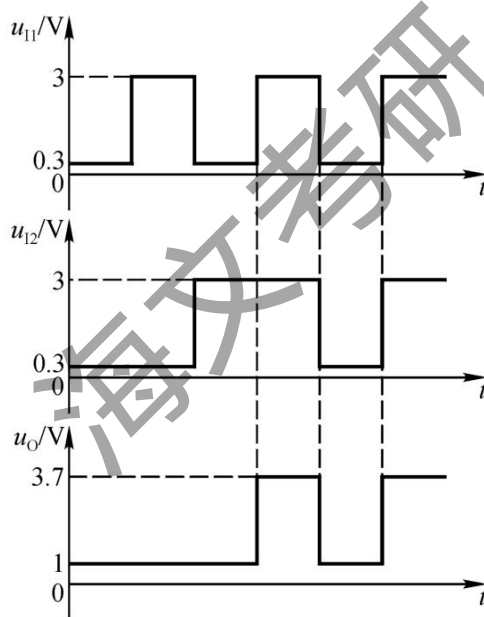


图 P1.5

解： u_o 的波形如解图 P1.5 所示。



解图 P1.5

1.6 电路如图 P1.6 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

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

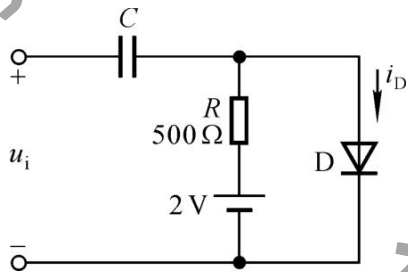


图 P1.6

1.7 现有两只稳压管, 它们的稳定电压分别为 $6V$ 和 $8V$, 正向导通电压为 $0.7V$ 。试问:

(1) 若将它们串联相接, 则可得到几种稳压值? 各为多少?

(2) 若将它们并联相接, 则又可得到几种稳压值? 各为多少? 解:

(1) 两只稳压管串联时可得 $1.4V$ 、 $6.7V$ 、 $8.7V$ 和 $14V$ 等四种稳压值。

(2) 两只稳压管并联时可得 $0.7V$ 和 $6V$ 等两种稳压值。

1.8 已知稳压管的稳定电压 $U_Z = 6V$, 稳定电流的最小值 $I_{Zmin} = 5mA$, 最大功耗 $P_{ZM} = 150mW$ 。试求图 P1.8 所示电路中电阻 R 的取值范围。

解: 稳压管的最大稳定电流

$$I_{ZM} = P_{ZM} / U_Z = 25mA$$

电阻 R 的电流为 $I_Z \sim I_{Zmin}$, 所以其取值范围为

$$R = \frac{U_i - U_Z}{I_Z} = 0.36 \sim 8 \text{ k}\Omega$$

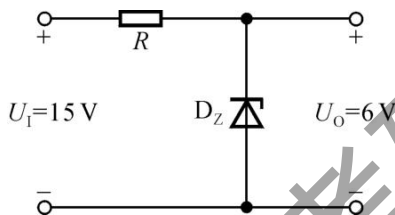


图 P1.8

1.9 已知图 P1.9 所示电路中稳压管的稳定电压 $U_Z = 6\text{V}$ ，最小稳定电流 $I_{Z\min} = 5\text{mA}$ ，最大稳定电流 $I_{Z\max} = 25\text{mA}$ 。

(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 $U_I = 35\text{V}$ 时负载开路，则会出现什么现象？为什么？

解：(1) 当 $U_I = 10\text{V}$ 时，若 $U_O = U_Z = 6\text{V}$ ，则稳压管的电流为 4mA ，小于其最小稳定电流，所以稳压管未击穿。故

$$U_O = \frac{R_L}{R + R_L} \cdot U_I \approx 3.33\text{V}$$

当 $U_I = 15\text{V}$ 时，稳压管中的电流大于最小稳定电流 $I_{Z\min}$ ，所以

$$U_O = U_Z = 6\text{V}$$

同理，当 $U_I = 35\text{V}$ 时， $U_O = U_Z = 6\text{V}$ 。

(2) $I_{DZ} = (U_I - U_Z)/R = 29\text{mA} > I_{ZM} = 25\text{mA}$ ，稳压管将因功耗过大而损坏。

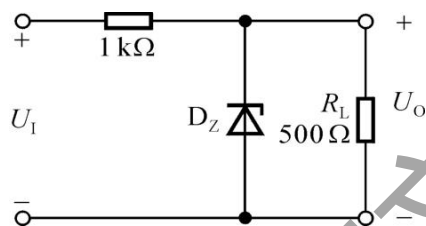


图 P1.9

1.10 在图 P1.10 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。

(2) R 的范围为

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

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

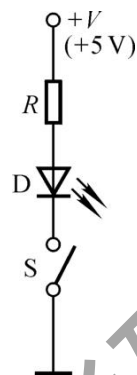


图 P1.10

1.11 电路如图 P1.11 (a) \ (b) 所示, 稳压管的稳定电压 $U_Z = 3\text{V}$, R 的取值合适, u_i 的波形如图 (c) 所示。试分别画出 u_{O1} 和 u_{O2} 的波形。

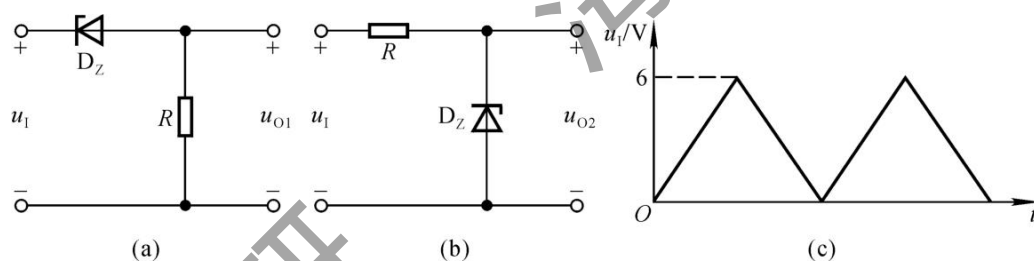
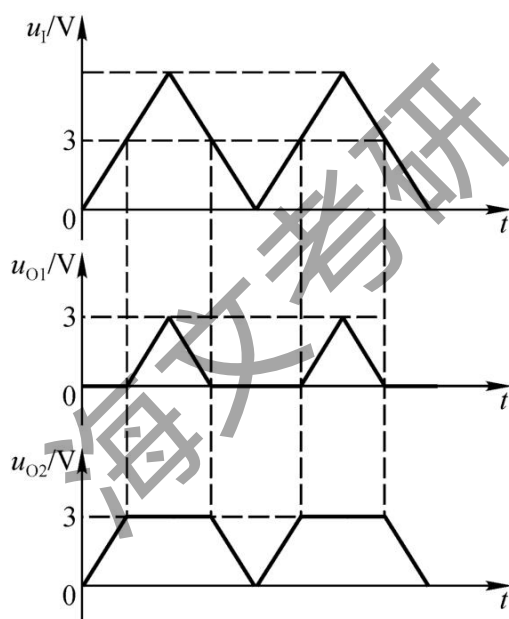


图 P1.11

解: 波形如解图 P1.11 所示



解图 P1.11

1.12 在温度 20°C 时某晶体管的 $I_{\text{CBO}} = 2\ \mu\text{A}$, 试问温度是 60°C 时 I_{CBO} \approx ?

解: 60°C 时 $I_{\text{CBO}} \approx I_{\text{CBO}}^5(=20^\circ\text{C}) = 32\ \mu\text{A}$ 。

1.13 有两只晶体管，一只的 $\beta = 200$ ， $I_{CEO} = 200 \mu A$ ；另一只的 $\beta = 100$ ， $I_{CEO} = 10 \mu A$ ，其它参数大致相同。你认为应选用哪只管子？为什么？

解：选用 $\beta = 100$ 、 $I_{CEO} = 10 \mu A$ 的管子，因其 β 适中、 I_{CEO} 较小，因而温度稳定性较另一只管子好。

1.14 已知两只晶体管的电流放大系数 β 分别为 50 和 100，现测得放大电路中这两只管子两个电极的电流如图 P1.14 所示。分别求另一电极的电流，标出其实际方向，并在圆圈中画出管子。

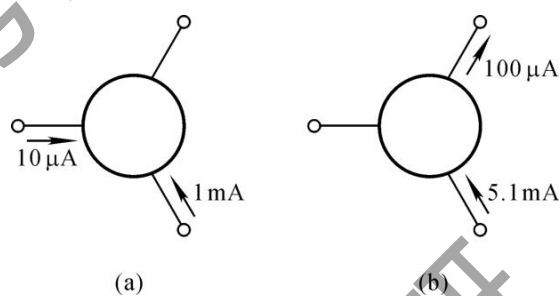
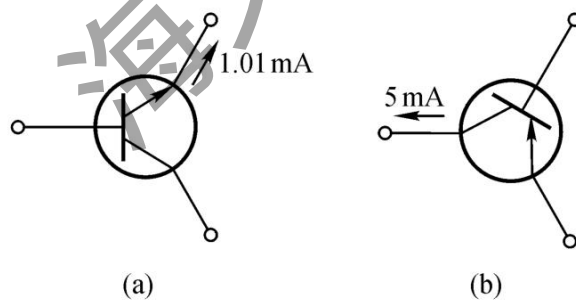


图 P1.14

解：答案如解图 P1.14 所示。



解图 P1.14

1.15 测得放大电路中六只晶体管的直流电位如图 P1.15 所示。在圆圈中画出管子，并分别说明它们是硅管还是锗管。

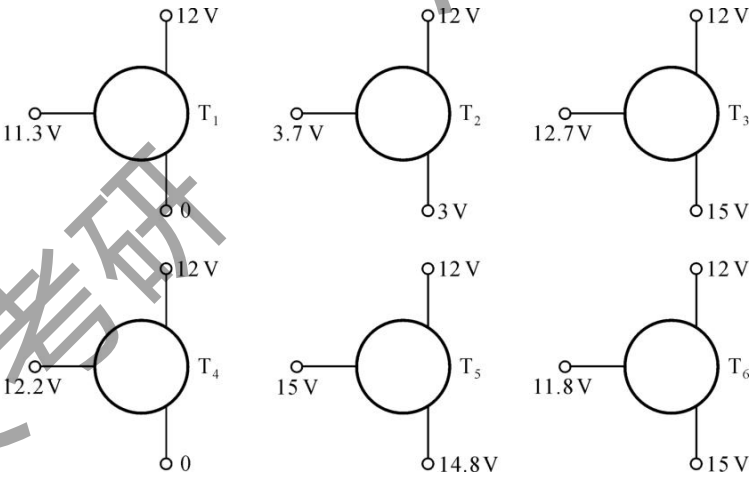


图 P1.15

解：晶体管三个极分别为上、中、下管脚，答案如解表 P1.15 所示。

解表 P1.15

管号	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
上	e	c	e	b	c	b
中	b	b	b	e	e	e
下	c	e	c	c	b	c
管型	PNP	NPN	NPN	PNP	PNP	NPN
材料	Si	Si	Si	Ge	Ge	Ge

1.16 电路如图 P1.16 所示，晶体管导通时 $U_{BE}=0.7V$ ， $\beta=50$ 。试分析 V_{BB} 为 0V、1V、1.5V 三种情况下 T 的工作状态及输出电压 u_o 的值。

解：(1) 当 $V_{BB}=0$ 时，T 截止， $u_o=12V$ 。

(2) 当 $V_{BB}=1V$ 时，因为

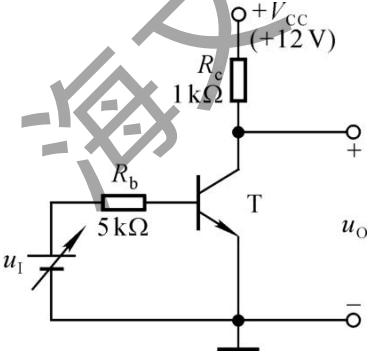
$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_b} = 60 \mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 3mA$$

$$u_o = V_{CC} - I_{CQ}R_c = 9V$$

所以 T 处于放大状态。

(3) 当 $V_{BB}=3V$ 时，因为



$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - U_{BEQ}}{R_b} = 160 \mu A$$

图 P1.16

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 8mA$$

$$u_o = V_{CC} - I_{CQ} R_c$$

所以 T 处于放大状态。

1.17 电路如图 P1.17 所示，试问 β 大于多少时晶体管饱和？

解：取 $U_{CES} = U_{BE}$ ，若管子饱和，则

$$\beta \cdot \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_b} = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_c}$$

$$R_b = \beta R_c$$

所以， $\beta \geq \frac{R_b}{R_c} = 100$ 时，管子饱和。

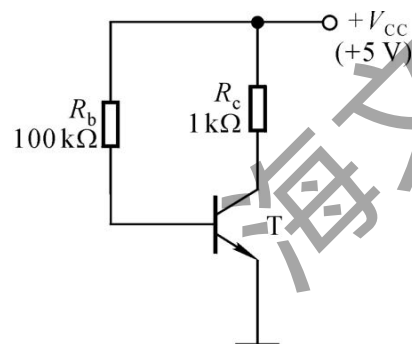


图 P1.17

1.18 电路如图 P1.18 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 $u_o = ?$

解：当 $u_i = 0$ 时，晶体管截止，稳压管击穿， $u_o = -U_Z = -5V$ 。

当 $u_i = -5V$ 时，晶体管饱和， $u_o = 0.1V$ 。因为

$$|I_B| = \frac{u_i - U_{BE}}{R_b} = 480 \mu A$$

$$|I_C| = \beta |I_B| = 24mA$$

$$U_{EC} = V_{CC} - |I_C| R_c < V_{CC}$$

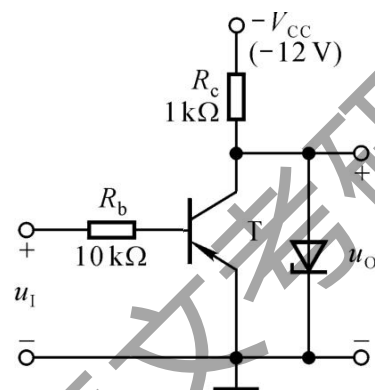


图 P1.18

1.19 分别判断图 P1.19 所示各电路中晶体管是否有可能工作在放大状态。

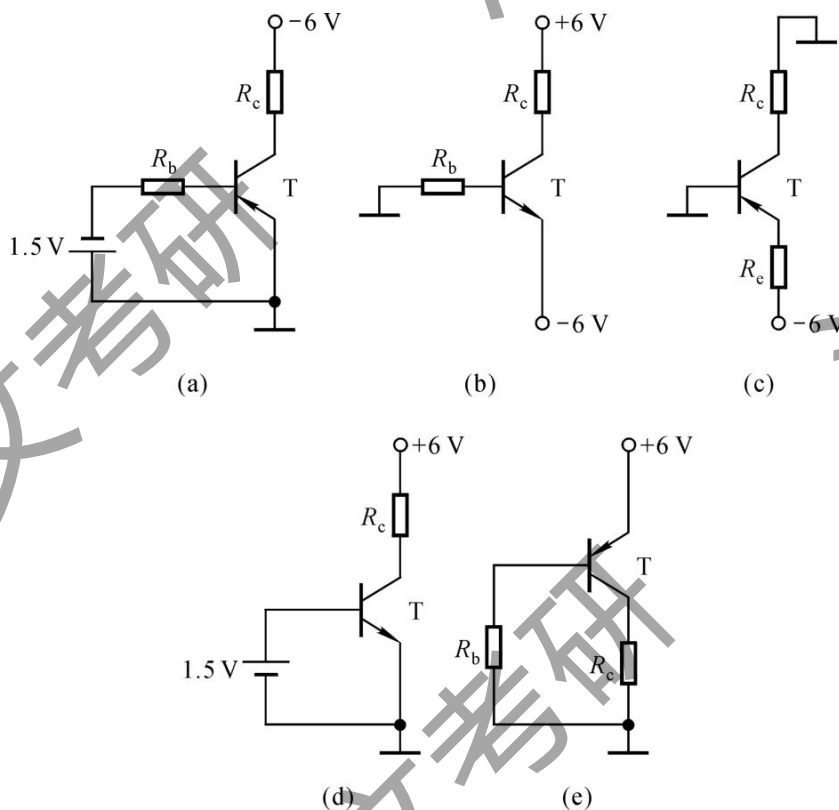


图 P1.19

解：(a) 可能 (b) 可能 (c) 不能

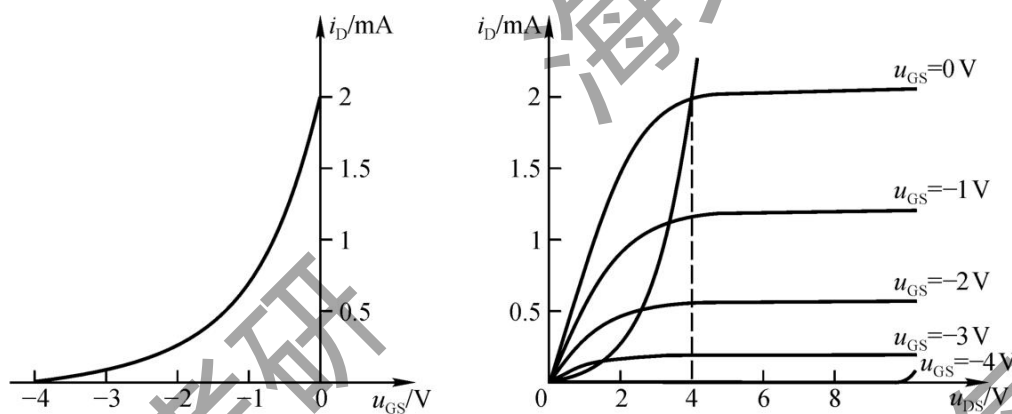
(d) 不能，T 的发射结会因电流过大而损坏。 (e) 可能

1.20 已知某结型场效应管的 $I_{DSS} = 2\text{mA}$ ， $U_{GS(\text{off})} = -4\text{V}$ ，试画出它的转移特性曲线和输出特性曲线，并近似画出予夹断轨迹。

解：根据方程

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

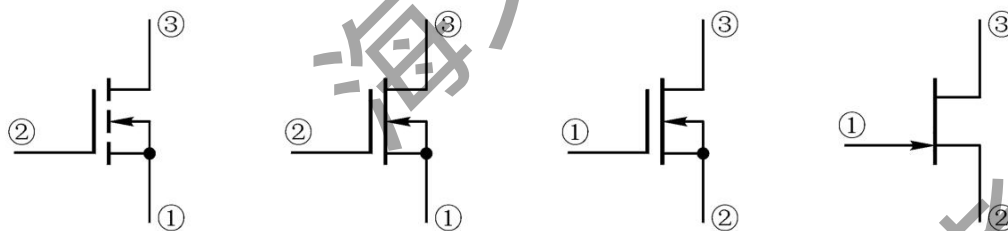
逐点求出确定的 U_{GS} 下的 i_D ，可近似画出转移特性和输出特性；在输出特性中，将各条曲线上 $u_{GD} = U_{GS(\text{off})}$ 的点连接起来，便为予夹断线；如解图 P1.20 所示。



解图 P1.20

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。

解：管子可能是增强型管、耗尽型管和结型管，三个极①、②、③与 G、S、D 的对应关系如解图 P1.21 所示。



解图 P1.21

1.22 已知场效应管的输出特性曲线如图 P1.22 所示，画出它在恒流区的转移特性曲线。

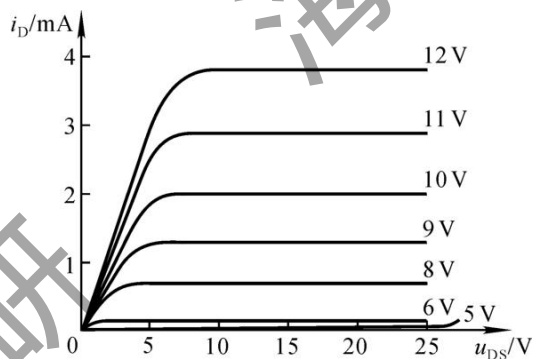
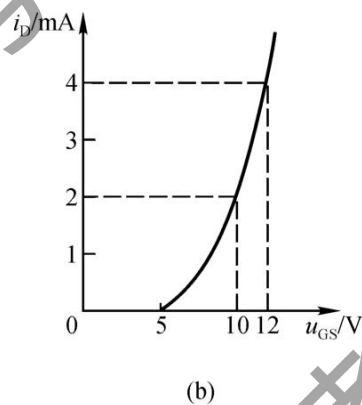
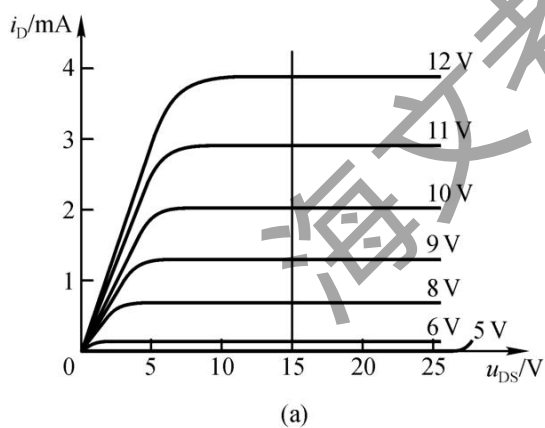


图 P1.22

解：在场效应管的恒流区作横坐标的垂线（如解图 P1.22（a）所示），读出其与各条曲线交点的纵坐标值及 U_{GS} 值，建立 $i_D = f(U_{GS})$ 坐标系，描点，连线，即可得到转移特性曲线，如解图 P1.22（b）所示。



解图 P1.22

1.23 电路如图 1.23 所示，T 的输出特性如图 P1.22 所示，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。

解：根据图 P1.22 所示 T 的输出特性可知，其开启电压为 5V ，根据图 P1.23 所示电路可知所以 $u_{GS} = u_i$ 。

当 $u_i = 4\text{V}$ 时， u_{GS} 小于开启电压，故 T 截止。

当 $u_i = 8\text{V}$ 时，设 T 工作在恒流区，根据输出特性可知 $i_D \approx 0.6\text{mA}$ ，管压降

$$u_{DS} \approx V_{DD} - i_D R_d \approx 10\text{V}$$

因此， $u_{GD} = u_{GS} - u_{DS} \approx -2\text{V}$ ，小于开启电压，说明假设成立，即 T 工作在恒流区。

当 $u_i = 12\text{V}$ 时，由于 $V_{DD} = 12\text{V}$ ，必然使 T 工作在可变电阻区。

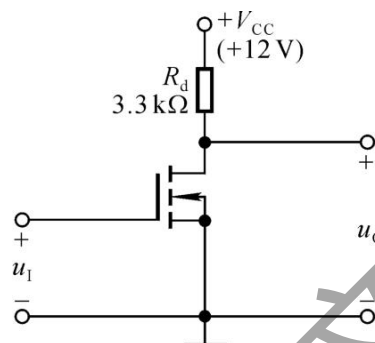


图 P1.23

1.24 分别判断图 P1.24 所示各电路中的场效应管是否有可能工作在恒流区。

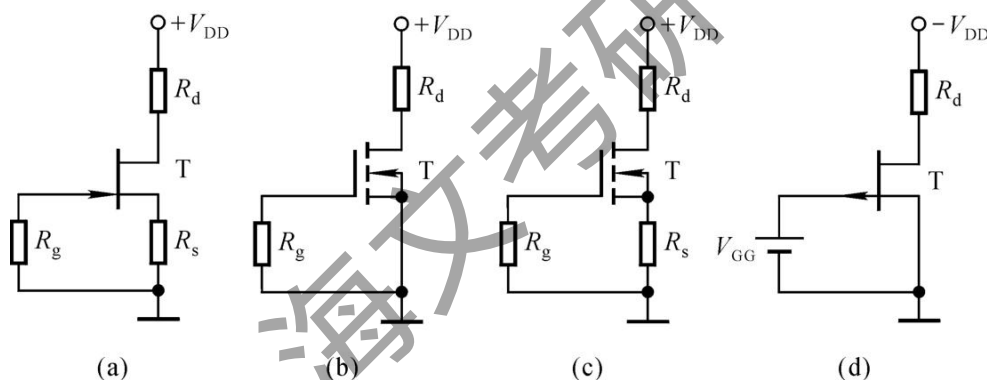


图 P1.24

解：(a) 可能 (b) 不能 (c) 不能 (d) 可能