



代號：43860
43960
44060
頁次：4-1

102 年公務人員普通考試試題

類 科：電力工程、電子工程、電信工程

科 目：電子學概要

考試時間：1 小時 30 分

座號：_____

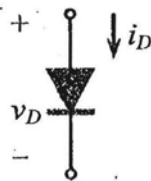
※注意：(一)禁止使用電子計算器，必要時得以最簡分數，或函數式（如 $\ln 5$ 、 $e^{1.2}$ ）表示。

(二)不必抄題，作答時請將試題題號及答案依照順序寫在試卷上，於本試題上作答者，不予計分。

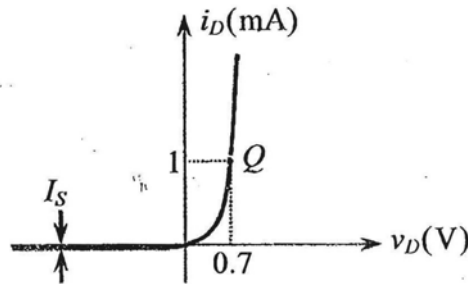
一、圖一(a)之二極體電流 i_D 與電壓 v_D 關係式為 $i_D = I_S(e^{v_D/V_T} - 1)$ ，如圖一(b)，其中 I_S 為飽和電流 (saturation current)， $V_T = 25 \text{ mV}$ 為熱能電壓 (thermal voltage)。

(一)在偏壓點 $i_D = I_{DQ}$ 與 $v_D = V_{DQ}$ ，推導二極體順向偏壓時之小訊號電阻 r_d 。(7 分)

(二)根據(一)之結果，在偏壓點 $I_{DQ} = 1 \text{ mA}$ ， $V_{DQ} = 0.7 \text{ V}$ ，計算 r_d 之值。(3 分)



圖一(a)



圖一(b)

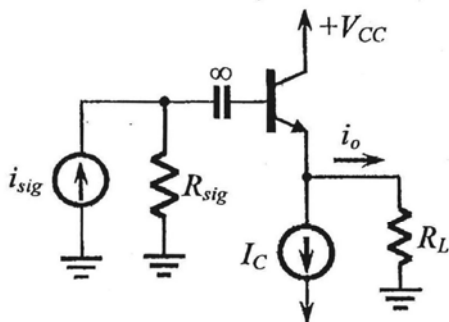
二、圖二(a)之放大器輸入端串聯電容於交流分析時可視為短路，電晶體工作於主動區，其小訊號參數有 g_m ， r_π ， $\beta = g_m r_\pi$ 以及 r_o 。放大器之交流等效電路如圖二(b)，

(一)畫出放大器之小訊號等效電路。(4 分)

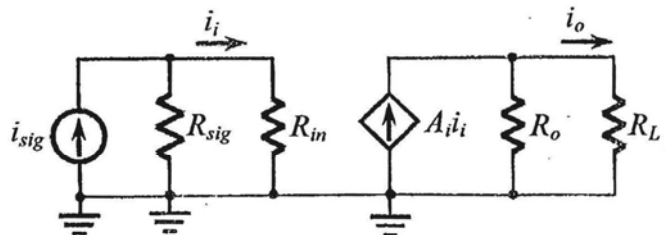
(二)推導 $R_{in} = ?$ (4 分)

(三)推導 $R_o = ?$ (4 分)

(四)推導 $A_i = ?$ (8 分)



圖二(a)



圖二(b)



代號：43860
 43960
 44060
 頁次：4-2

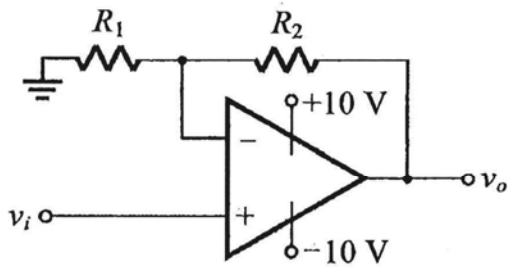
三、圖三(a)與圖三(b)中運算放大器具有理想特性，其輸入與輸出電壓之上下限為 $\pm 10\text{ V}$ ， $R_1=2.5\text{ k}\Omega$ ， $R_2=10\text{ k}\Omega$ ：

(一)說明圖三(a)電路 v_o 與 v_i 之關係及其工作原理。(3分)

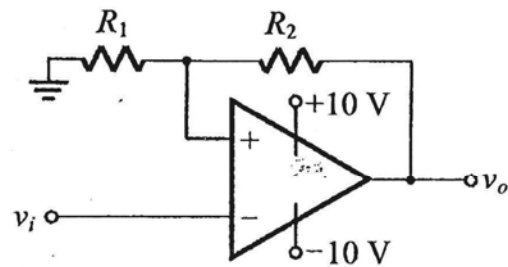
(二)在 v_i 與 v_o 於 $\pm 10\text{ V}$ 之間，繪出圖三(a)電路之 v_i (橫軸) - v_o (縱軸) 之關係曲線，並標示轉折點。(5分)

(三)說明圖三(b)電路 v_o 與 v_i 之關係及其工作原理。(5分)

(四)在 v_i 與 v_o 於 $\pm 10\text{ V}$ 之間，繪出圖三(b)電路之 v_i (橫軸) - v_o (縱軸) 之關係曲線，並標示轉折點。(7分)



圖三(a)

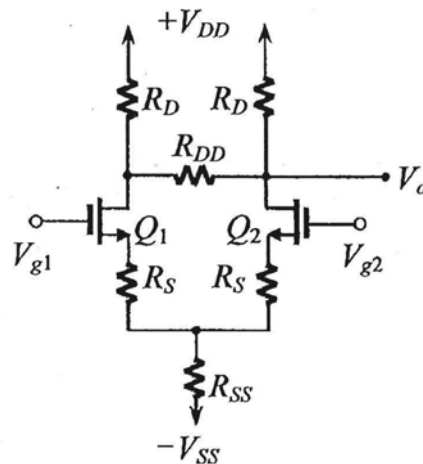


圖三(b)

四、圖四之電晶體 Q_1 與 Q_2 完全匹配， $g_m=5\text{ mS}$ ， $r_o \rightarrow \infty$ ； $R_D=2\text{ k}\Omega$ ， $R_{DD}=16\text{ k}\Omega$ ， $R_S=0.2\text{ k}\Omega$ ， $R_{SS}=0.8\text{ k}\Omega$ 。

(一) $V_{g1}=V_{g2}=V_{cm}$ ，畫出對應之半電路，求算小訊號電壓增益 $A_c=V_o/V_{cm}$ 。(10分)

(二) $V_{g1}=-V_{g2}=V_{id}/2$ ，畫出對應之半電路，求算小訊號電壓增益 $A_d=V_o/V_{id}$ 。(10分)

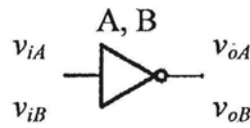


圖四

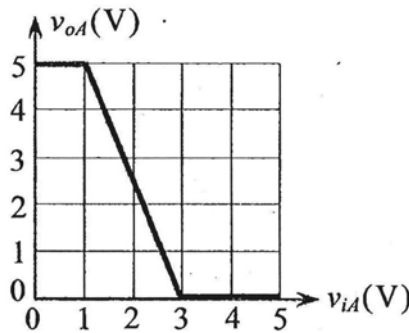


代號：43860
 43960
 44060
 頁次：4-3

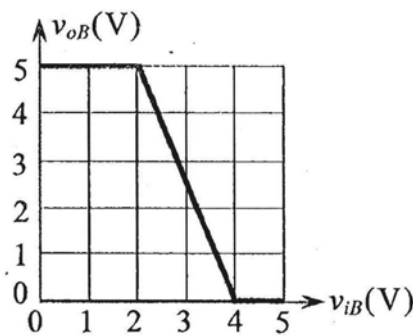
五、圖五(a)中反相器 A 與 B 之輸入電阻遠大於輸出電阻，其輸入輸出 ($v_{iA}-v_{oA}$, $v_{iB}-v_{oB}$) 特性分別如圖五(b)與圖五(c)所示，畫出圖五(d)串接反相器之輸入輸出 ($v_{in}-v_{out}$) 特性並加以說明。(20 分)



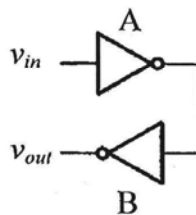
圖五(a)



圖五(b)



圖五(c)

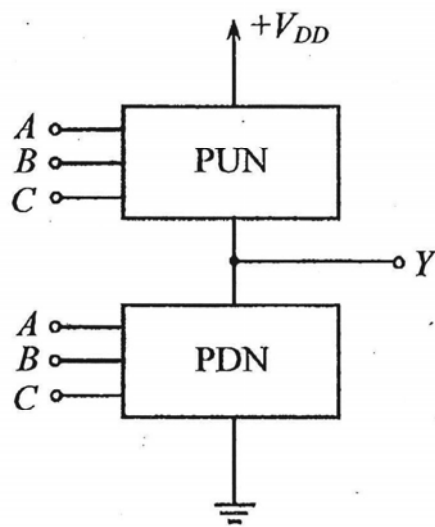


圖五(d)



代號：43860
43960
44060
頁次：4-4

六、圖六之 CMOS 邏輯閘含上拉網路 (pull-up network, PUN) 與下拉網路 (pull-down network, PDN)，設計 PUN 與 PDN 實現 $Y = A + BC$ ，並解釋電路之工作原理。
(10 分)



圖六



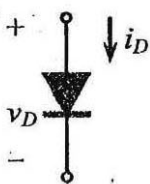
申論題解答

102 公務人員普考電子學概要

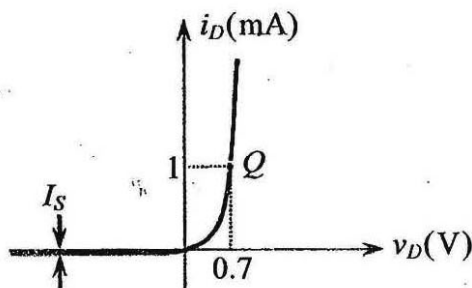
高分、劉承 老師親解

102 公務人員普考

- 一、圖一(a)之二極體電流 i_D 與電壓 v_D 關係式為 $i_D = I_S(e^{v_D/V_T} - 1)$ ，如圖一(b)，其中 I_S 為飽和電流 (saturation current)， $V_T = 25 \text{ mV}$ 為熱能電壓 (thermal voltage)。
- (一) 在偏壓點 $i_D = I_{DQ}$ 與 $v_D = V_{DQ}$ ，推導二極體順向偏壓時之小訊號電阻 r_d 。(7分)
- (二) 根據(一)之結果，在偏壓點 $I_{DQ} = 1 \text{ mA}$ ， $V_{DQ} = 0.7 \text{ V}$ ，計算 r_d 之值。(3分)



圖一(a)



圖一(b)

[Sol]：

(一) 推導 r_d

$$r_d \equiv \left(\frac{\partial i_D}{\partial v_D} \Big|_{Q(v_D=V_{DQ}, i_D=I_{DQ})} \right)^{-1} \approx \left(\frac{1}{V_T} I_S e^{\frac{V_{DQ}}{V_T}} \right)^{-1} = \left(\frac{I_{DQ}}{V_T} \right)^{-1}$$

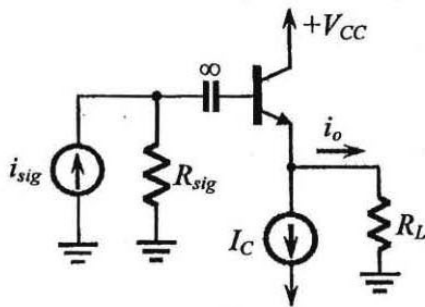
(二) 計算 r_d

$$r_d = \frac{V_T}{I_{DQ}} = \frac{0.025}{0.001} = 25 \Omega$$

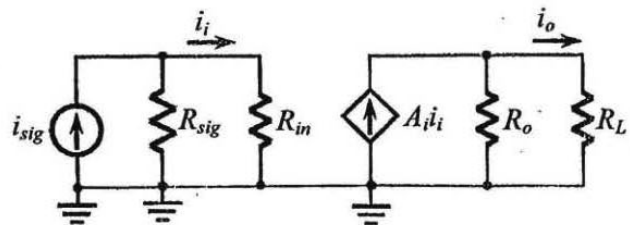


102 公務人員普考

- 二、圖二(a)之放大器輸入端串聯電容於交流分析時可視為短路，電晶體工作於主動區，其小訊號參數有 g_m , r_π , $\beta = g_m r_\pi$ 以及 r_o 。放大器之交流等效電路如圖二(b)，
- (一) 畫出放大器之小訊號等效電路。(4分)
 - (二) 推導 $R_{in} = ?$ (4分)
 - (三) 推導 $R_o = ?$ (4分)
 - (四) 推導 $A_i = ?$ (8分)



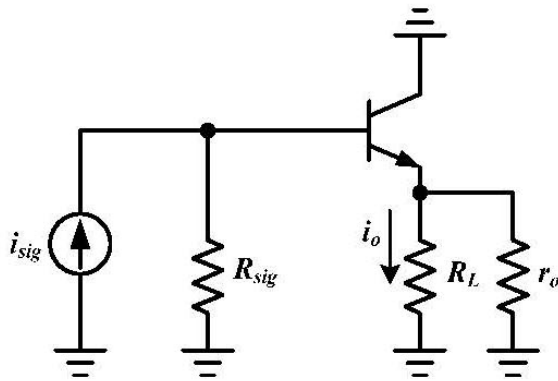
圖二(a)



圖二(b)

[Sol]:

(一) 小訊號等效電路



$$\text{由上圖求得} \rightarrow \frac{i_o}{i_{sig}} = \frac{R_{sig}}{R_{sig} + [r_\pi + (1 + \beta)(R_L // r_o)]} \times (1 + \beta) \times \frac{r_o}{R_L + r_o} \dots (1)$$

$$\text{由圖二(b)得} \rightarrow \frac{i_o}{i_{sig}} = \frac{R_{sig}}{R_{sig} + R_{in}} \times A_i \times \frac{R_o}{R_L + R_o} \dots (2)$$

(二)

$$\text{由(1)(2)式比較} \rightarrow R_{in} = r_\pi + (1 + \beta)(R_L // r_o)$$

(三)

$$\text{由(1)(2)式比較} \rightarrow R_o = r_o$$

(四)

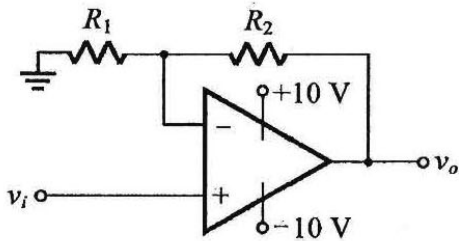
$$\text{由(1)(2)式比較} \rightarrow A_i = (1 + \beta)$$



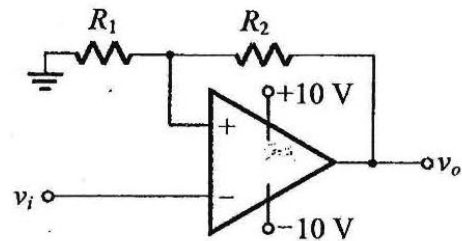
102 公務人員普考

三、圖三(a)與圖三(b)中運算放大器具有理想特性，其輸入與輸出電壓之上下限為 $\pm 10\text{ V}$ ， $R_1=2.5\text{ k}\Omega$ ， $R_2=10\text{ k}\Omega$ ：

- (一)說明圖三(a)電路 v_o 與 v_i 之關係及其工作原理。(3分)
- (二)在 v_i 與 v_o 於 $\pm 10\text{ V}$ 之間，繪出圖三(a)電路之 v_i (橫軸) - v_o (縱軸) 之關係曲線，並標示轉折點。(5分)
- (三)說明圖三(b)電路 v_o 與 v_i 之關係及其工作原理。(5分)
- (四)在 v_i 與 v_o 於 $\pm 10\text{ V}$ 之間，繪出圖三(b)電路之 v_i (橫軸) - v_o (縱軸) 之關係曲線，並標示轉折點。(7分)



圖三(a)



圖三(b)

[Sol]：

(一)、(二)

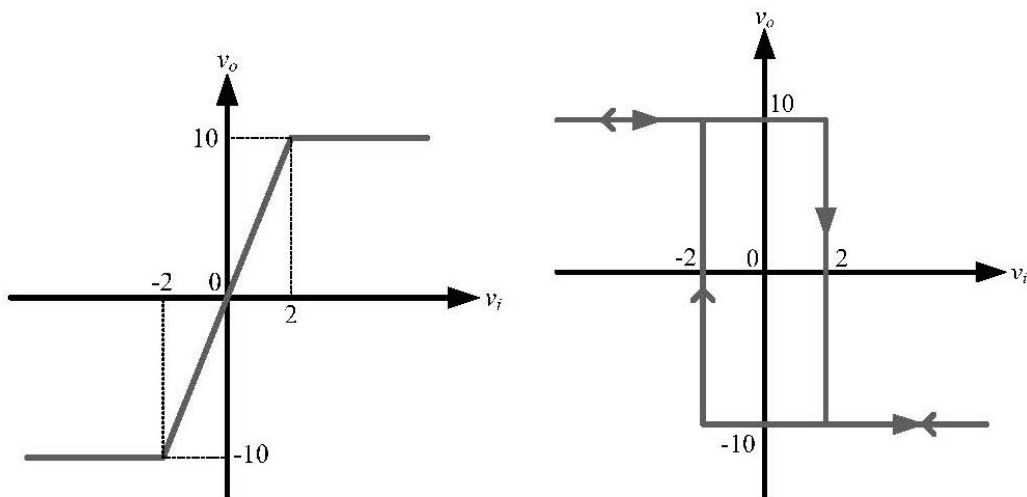
圖三(a)電路工作於負回授，為一非反相放大器，在輸出未飽和前輸出與輸入呈線性關係。

$$v_o = v_i \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 5v_i$$

(三)、(四)

圖三(b)電路工作於正回授，為一負緣觸發史密特電路，輸出只有正飽和或負飽和電壓兩種可能。

$$V_{TH} = L^+ \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 2\text{ V}, \quad V_{TL} = L^- \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -2\text{ V}$$



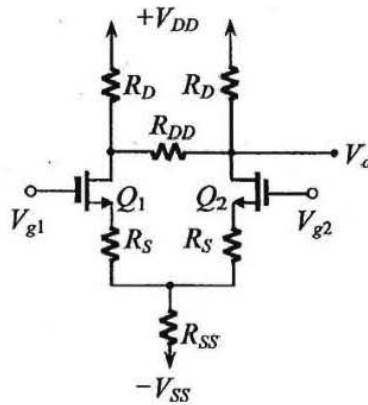


102 公務人員普考

四、圖四之電晶體 Q_1 與 Q_2 完全匹配， $g_m=5 \text{ mS}$ ， $r_o \rightarrow \infty$ ； $R_D=2 \text{ k}\Omega$ ， $R_{DD}=16 \text{ k}\Omega$ ， $R_S=0.2 \text{ k}\Omega$ ， $R_{SS}=0.8 \text{ k}\Omega$ 。

(一) $V_{g1}=V_{g2}=V_{cm}$ ，畫出對應之半電路，求算小訊號電壓增益 $A_c=V_o/V_{cm}$ 。(10 分)

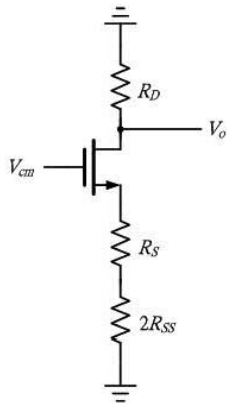
(二) $V_{g1}=-V_{g2}=V_{id}/2$ ，畫出對應之半電路，求算小訊號電壓增益 $A_d=V_o/V_{id}$ 。(10 分)



圖四

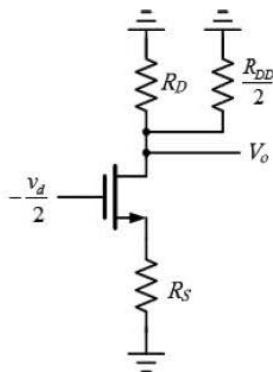
[Sol]：

(一)共模等效半電路中間切開



$$A_c = \frac{-R_D}{\frac{1}{g_m} + R_S + 2R_{SS}} = \frac{-2}{\frac{1}{5} + 0.2 + 1.6} = -1$$

(二)差模等效半電路中間接地

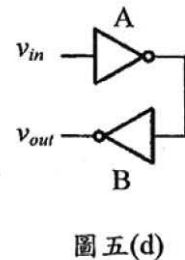
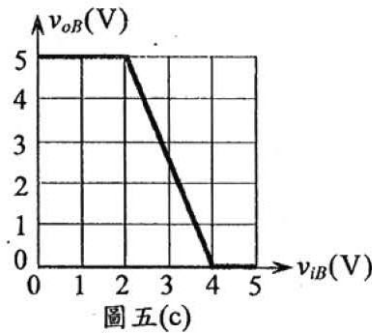
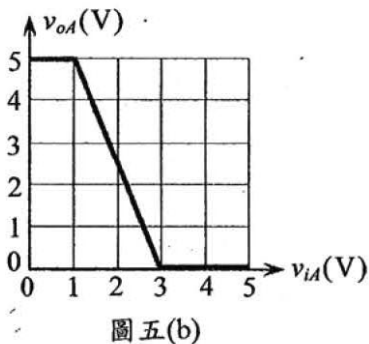
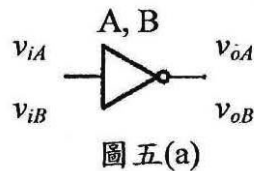


$$A_d = \frac{1}{2} \times \frac{(R_D // \frac{R_{DD}}{2})}{\frac{1}{g_m} + R_S} = \frac{1}{2} \times \frac{(2 // 8)}{\frac{1}{5} + 0.2} = 2$$



102 公務人員普考

五、圖五(a)中反相器 A 與 B 之輸入電阻遠大於輸出電阻，其輸入輸出 ($v_{iA}-v_{oA}$, $v_{iB}-v_{oB}$) 特性分別如圖五(b)與圖五(c)所示，畫出圖五(d)串接反相器之輸入輸出 ($v_{in}-v_{out}$) 特性並加以說明。(20 分)



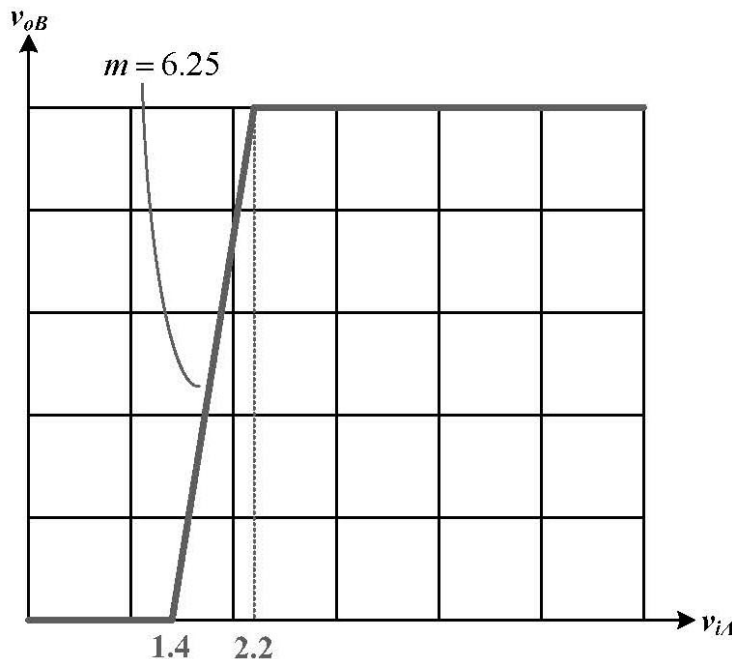
[Sol]：

STEP1：由圖五(c)、圖五(d)知 $v_{iB}=v_{oA}=2\sim 4V$ 時電路為類比操作。

STEP2：由圖五(b)可求出 $1 < v_{iA} < 3$ 時的 $v_{oA} = -2.5 v_{iA} + 7.5$ 。

STEP3：將 $v_{iB}=v_{oA}=2$ 代入上式可得 $v_{iA}=2.2V$ ，將 $v_{iB}=v_{oA}=4$ 代入上式可得 $v_{iA}=1.4V$ 。

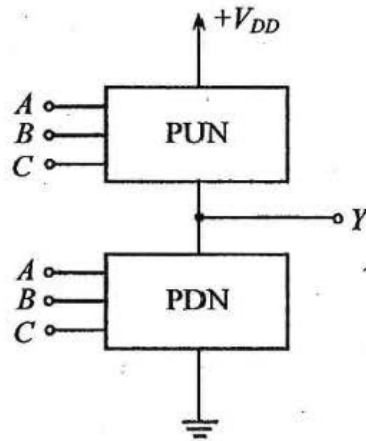
STEP4：故 $1.4 < v_{iA} < 2.2$ 時電路為非反相放大器，增益為 $2.5 \times 2.5 = 6.25$ 。





102 公務人員普考

六、圖六之 CMOS 邏輯開合上拉網路 (pull-up network, PUN) 與下拉網路 (pull-down network, PDN)，設計 PUN 與 PDN 實現 $Y = A + BC$ ，並解釋電路之工作原理。(10 分)



圖六

[Sol]：

設計原理：PUN 負責讓輸出為高電位，PDN 負責讓輸出為低電位；先設計輸出為低電位時的電路即 PDN，後再利用對偶性設計 PUN。

$$\bar{Y} = A + BC$$

