《電子學與電路學》

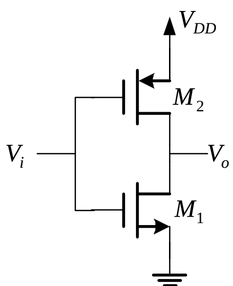
試題總評	第一題：本題主要探討 CMOS 完整之電壓轉移曲線分析，須了解驅動器與負載線隨著輸入電壓 v_i 之變化，必須對產生工作區域之動態曲線變化要相當了解，方可順利解得；另消耗功率及雜訊邊限亦須知相對應之關係。 第二題：本題具有迴授電阻，其求解方法有兩種： （法1）透過負迴授觀念，可求得。 （法2）透過米勒定理，將迴授電阻分解，即可求得。（本題採用此法） 第三題：本題主要描述相對穩定性基本觀念，可利用P.M.值與G.M.值之大小，即可知系統相對穩定性程度；另可利用米勒電容補償法，進行改善系統頻率響應，以獲得較佳穩定性。 第四題：本題爲基本弦波穩態分析，以節點分析即可求得，但須進行較煩雜複數計算。 第五題：本題爲利用轉移函數之求得，將輸入電壓之拉氏求得，再配合轉移函數，即可獲得零態響應。

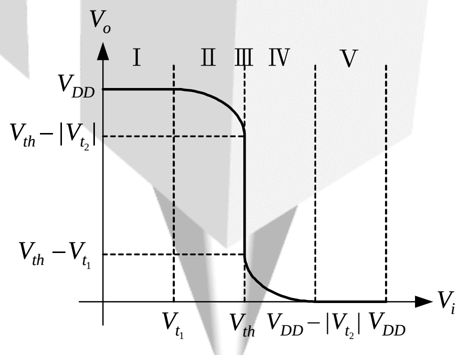
一、(一)對於 CMOS 反相器之電壓轉移特性曲線，請說明 nMOS 與 pMOS 電晶體之工作區，及各工作區之輸入電壓與輸出電壓之範圍。（10 分）

(二)請比較 CMOS 反相器和增強型負載 NMOS 反相器之動態功率消耗與雜訊邊限。（10 分）

【擬答】

(一)





其中：$V_{th}=\dfrac{V_{t_1}+\sqrt{\dfrac{K_2}{K_1}}(V_{DD}-|V_{t_2}|)}{1+\sqrt{\dfrac{K_2}{K_1}}}$

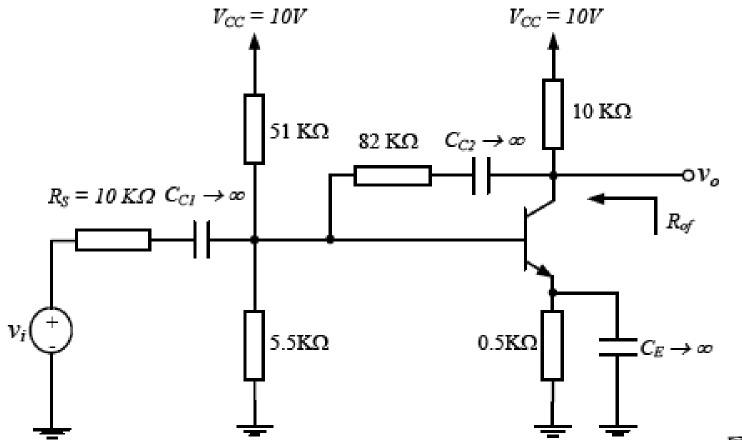
	Ⅰ區	Ⅱ區	Ⅲ區	Ⅳ區	Ⅴ區
M_1	截止區	飽和區	飽和區	歐姆區	歐姆區
M_2	歐姆區	歐姆區	飽和區	飽和區	截止區

(二)

	CMOS	增強型負載 NMOS
動態功率	小	大
雜訊邊限	大	小

二、如圖一所示之電路，電晶體參數為 $h_{FE}=100$，$V_{BE}(ON)=0.7V$，厄萊電壓（Early voltage）$V_A=\infty$，請求出：

(一)電壓增益 v_o/v_i。(10 分)
(二)輸出電阻 R_{of}。(10 分)



圖一

【擬答】

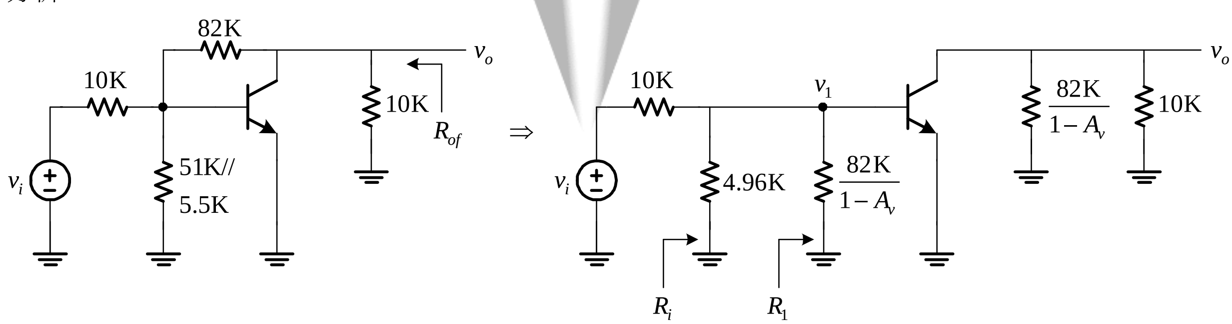
DC 分析：

$$I_B=\frac{\frac{5.5}{51+5.5}\times 10-0.7}{(51//5.5)+[(1+100)\times 0.5]}\text{mA}\approx 0.0049\text{mA}$$

$$r_\pi=\frac{25\text{mV}}{I_B}\approx 5.07\text{k}\Omega$$

$$g_m=\frac{\beta}{r_\pi}=\frac{100}{5.07}\approx 1.97\text{mA/V}$$

AC 分析：



$$R_1=r_\pi=5.07\text{k}\Omega$$

$$A_V=\frac{v_o}{v_1}=\frac{-100\left(\frac{82}{1-(1/A_V)}//10\right)}{5.07}\approx\frac{-100(82//10)}{5.07}\approx -175.8$$

$$R_i=4.96\text{K}//\frac{82\text{K}}{1+175.8}//R_1\approx 0.39\text{k}\Omega$$

得 $\frac{v_o}{v_i}=\frac{v_o}{v_1}\times\frac{v_1}{v_i}=(-175.8)\times\frac{0.39}{10+0.39}\approx -6.6$

$R_{of} = 10\text{K} // \dfrac{82 + R_s'}{1 + g_m R_s'}$ ，其中 $R_s' = 10\text{K} // 51\text{K} // 5.1\text{K} // r_\pi \approx 1.95\text{k}\Omega$

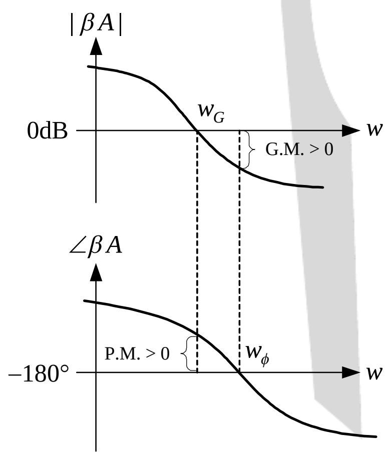
$= 10\text{K} // \left[\dfrac{82 + 1.95}{1 + (19.7 \times 1.95)}\right]\text{K} \approx 1.76\text{k}\Omega$

三、(一)說明相位邊限（Phase Margin）與增益邊限（Gain Margin）之意義及其在放大器穩定度判斷之角色。（10 分）

(二)請說明如何使用米樂補償（Miller Compensation）來進行放大器之頻率補償。（10 分）

【擬答】

(一)



PM.與 G.M.主要描述系統之相對穩定性，如何求得：

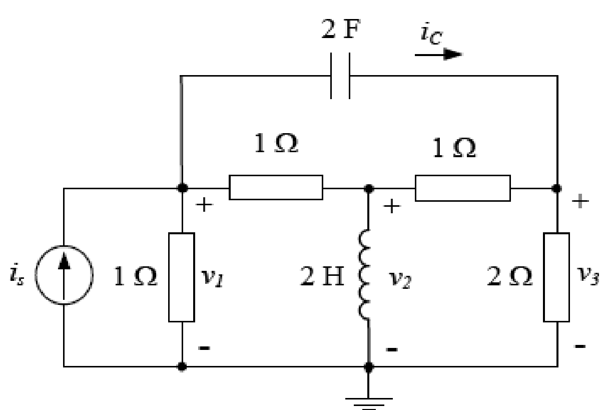
1. 求 G.M.：先求 $\angle\beta A = -180°$ 時之 w_ϕ ，得 $\text{G.M.} = 0 - 20\log|\beta A|_{w_\phi}$

2. 求 P.M.：先求 $|\beta A| = 1$ 時之 w_G ，得 $\text{P.M.} = 180° + \angle\beta A|_{w_G}$

3. 系統穩定條件為：G.M. > 0 且 P.M. > 0

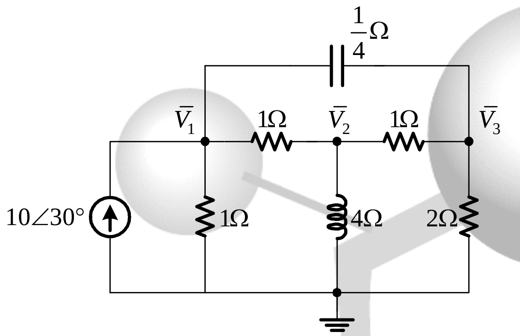
(二)IC 內部要製作大電容有困難，此時可利用米勒電容補償法，獲得大電容效果，造成極點分裂，可達主極點效果，促使系統獲得更佳穩定效果。

四、如圖二所示之電路，假設輸入電流源為 $i_s(t) = 10\ cos(2t + 30°)$，請求出 2 歐姆電阻上之弦波穩態電壓 $v_3(t)$。（20 分）



圖二

【擬答】



$$\begin{cases} \dfrac{\bar{V}_1}{1}+\dfrac{\bar{V}_1-\bar{V}_2}{1}+\dfrac{\bar{V}_1-\bar{V}_3}{-j\frac{1}{4}}=10\angle 30^\circ \cdots\cdots ① \\ \dfrac{\bar{V}_2-\bar{V}_1}{1}+\dfrac{\bar{V}_2}{j4}+\dfrac{\bar{V}_2-\bar{V}_3}{1}=0 \cdots\cdots ② \\ \dfrac{\bar{V}_3-\bar{V}_1}{-j\frac{1}{4}}+\dfrac{\bar{V}_3-\bar{V}_2}{1}+\dfrac{\bar{V}_3}{2}=0 \cdots\cdots ③ \end{cases}$$

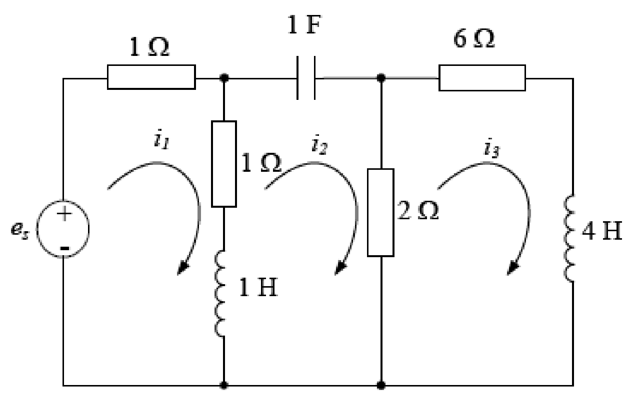
可得 $\bar{V}_3=6.47\angle 44^\circ$

$\Rightarrow v_3(t)=6.47\cos(2t+44^\circ)\text{V}$

五、如圖三所示之電路，i_1, i_2, 及 i_3 為網目（mesh）電流，令 e_s 及 i_3 分別為網路的輸入與響應。

(一)求出網路函數 $H(s)=I_3/E_s$。(10 分)

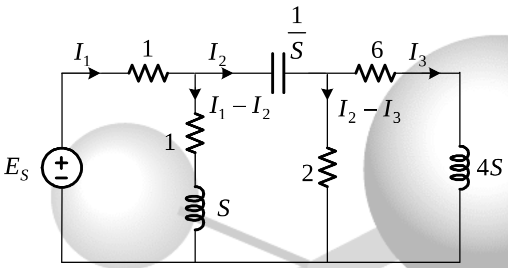
(二)當輸入 $e_s(t)=3e^{-t}cos6t$ 時，求出其零態響應。(10 分)



圖三

【擬答】

(一)



$$\begin{cases} E_S = I_1(2+S) - I_2(1+S) + 0I_3 \cdots\cdots ① \\ 0 = -I_1(1+S) + I_2\left(3+S+\dfrac{1}{S}\right) - I_3 \cdot 2 \cdots\cdots ② \\ 0 = 0I_1 - I_2 \cdot 2 + I_3(4S+8) \cdots\cdots ③ \end{cases}$$

$$I_3 = \frac{\begin{vmatrix} 2+S & -(1+S) & E_S \\ -(1+S) & 3+S+\dfrac{1}{S} & 0 \\ 0 & -2 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2+S & -(1+S) & 0 \\ -(1+S) & 3+S+\dfrac{1}{S} & -2 \\ 0 & -2 & 4S+8 \end{vmatrix}} = \frac{2(1+S)E_S}{(2+S)\left(3+S+\dfrac{1}{S}\right)(4S+8) - (1+S)^2(4S+8) - 4(2+S)}$$

$$\Rightarrow H(S) = \frac{I_3}{E_S} = \frac{2(S+1)}{12S^2+44S+48+\dfrac{16}{S}} = \frac{S(S+1)}{6S^3+22S^2+24S+8} = \frac{\dfrac{1}{6}S(S+1)}{S^3+\dfrac{11}{3}S^2+4S+\dfrac{4}{3}}$$

$$= \frac{\dfrac{1}{6}S(S+1)}{(S+1)(S+2)\left(S+\dfrac{2}{3}\right)} = \frac{\dfrac{1}{6}S}{(S+2)\left(S+\dfrac{2}{3}\right)}$$

(二)當 $e_S(t) = 3e^{-t}\cos 6t$ 時，可得：

$$I_3(S) = \frac{\dfrac{1}{6}S}{(S+2)\left(S+\dfrac{2}{3}\right)} \times \frac{3(S+1)}{(S+1)^2+6^2}$$

$$\Rightarrow i_3(t) = L^{-1}\left[\frac{-\dfrac{3}{148}}{S+2} + \frac{-\dfrac{3}{1300}}{S+\dfrac{2}{3}} + \frac{AS+B}{(S+1)^2+6^2}\right]$$

$$= \left[-\frac{3}{148}e^{-2t} - \frac{3}{1300}e^{-\frac{2}{3}t} + 0.41e^{-t}\cos(6t-48.3°)\right]A$$

其中：$\left.\dfrac{\dfrac{1}{6}S}{(S+2)\left(S+\dfrac{2}{3}\right)}\right|_{S=-1+j6} \times 3\angle 0° = 0.41\angle -48.3°$