HW1

1. $V_{IN,CM,min} = V_{ov5} + V_{GS_{1,2}} + V_{SS} = (V_{BIAS} - V_{TH5}) + \left(\sqrt{\frac{2(\frac{I_{SS}}{2})}{\mu_n C_{ox}(\frac{W}{L})_{1,2}}} + V_{TH_{1,2}}\right) + V_{SS}$

[根據 Saturation region 的電流公式 $I_D = \frac{1}{2}\mu C_{ox}\frac{W}{L}(V_{GS} - V_{TH})^2$

$$V_{GS} = \sqrt{\frac{2I_D}{\mu C_{ox}(\frac{W}{L})}} + V_{TH}$$
]

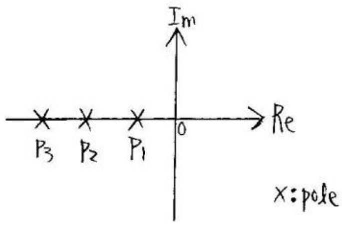
$$V_{IN,CM,Max} = V_{DD} - V_{SG_{3,4}} + V_{TH_{1,2}}$$

$$= V_{DD} - \left(\sqrt{\frac{2(\frac{I_{SS}}{2})}{\mu_p C_{ox}(\frac{W}{L})_{3,4}}} + |V_{TH_{3,4}}|\right) + V_{TH_{1,2}}$$

2. 當不考慮 C_c 時，三個 pole 分別為

$P_1 = \frac{-1}{(r_{o6}||r_{o7})(C_L + C_2)}$ $P_2 = \frac{-1}{(r_{o2}||r_{o4})C_1}$ $P_3 = \frac{-1}{(g_{m}^{-1})C_3}$

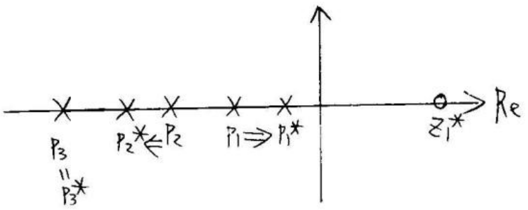
在假設 $C_L > C_1, C_3 \Rightarrow P_1$ 的頻率較低，$g_m r_o >> 1 \Rightarrow P_3$ 的頻率較高



3. 當加上 C_c 時，由於米勒效應，使得第一級輸出(V_{o1})上可將 C_c 等效為 $g_{m6}(r_{o6}||r_{o7})C_c$ 的對地電容，因此在 $g_m r_o >> 1$ 時，V_{o1} 上的 pole 成為主要極點(dominant pole)。C_c 的添加也會造成極點分離，因此pole從原本的 $\frac{-1}{(r_{o6}||r_{o7})(C_L + C_2)}$ 變為 $\frac{-g_{m6}}{(C_L + C_2 + C_1)}$，使得 pole 往外移進而讓 Phase Margain 提高。

$$P_1^* = \frac{-1}{(r_{o2}\|r_{o4})\left[g_{m6}(r_{o6}\|r_{o7})C_c\right]} \qquad P_2^* = \frac{-g_{m6}}{C_1+C_2+C_L} \qquad P_3^* = \frac{-g_{m3}}{C_3}$$

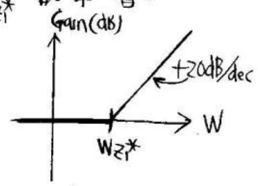
$$z_1^* = \frac{+g_{m6}}{C_c}$$



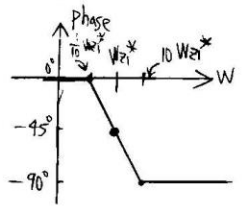
X: pole
o: zero

4. (1) 由於 C_c 也會產生一個"RHP的zero"，而 RHP的zero對 Transfer function

$1-\frac{s}{W_{z1}^*}$ 的影響如下所示：



Gain： $20\log\left(\left|1-\frac{s}{W_{z1}^*}\right|\right)$



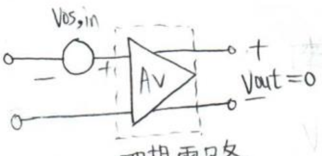
phase： $-\tan^{-1}\left(\frac{W}{W_{z1}^*}\right)$

因此其會讓 two stage OPA 的PM受RHP的zero影響而下降。

(2) 可以藉由加上調零電阻 R_z 將 RHP的zero 移至LHP，$\left[z_1 = \frac{1}{C_c\left(1/g_{m6} - R_z\right)}\right]$

使得其 Phase Margin 得以改善。

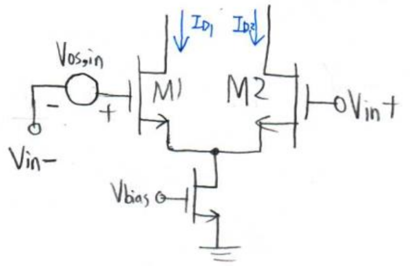
5. 當電路由於 mismatch 造成在 $V_{in}=0$ 但 $V_{out}\neq 0$ 時，可將其等效成



理想電路

又由於題目上 M3＝M4，因此只需考慮

M1、M2 的 mismatch 對 $V_{os,in}$ 造成的影響



令 $V_{TH1}=V_{TH}$ $\quad V_{TH2}=V_{TH}+\Delta V_{TH}$

$(W/L)_1=W/L \quad (W/L)_2=W/L+\Delta(W/L)$

因此 $V_{out}=0$ 時，$I_{D1}=I_{D2}=I_D$

$$V_{os,in}=\sqrt{\frac{2I_D}{\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)_1}}+V_{TH1}-\sqrt{\frac{2I_D}{\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)_2}}-V_{TH2}$$

$$=\sqrt{\frac{2I_D}{\mu_n C_{ox}}}\left[\sqrt{\frac{1}{\left(\frac{W}{L}\right)}}-\sqrt{\frac{1}{\left(\frac{W}{L}\right)+\Delta\left(\frac{W}{L}\right)}}\right]-\Delta V_{TH}$$

$$=\sqrt{\frac{2I_D}{\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)}}\left[1-\sqrt{\frac{1}{1+\Delta(W/L)/(W/L)}}\right]-\Delta V_{TH}$$

假設 $\Delta(W/L)/(W/L)\ll 1$

且根據 Taylor series $\sqrt{1+\varepsilon}\approx 1+\frac{\varepsilon}{2}$、$\left(\sqrt{1+\varepsilon}\right)^{-1}\approx 1-\frac{\varepsilon}{2}$

$$V_{OS,in} = \sqrt{\frac{2I_D}{\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)}} \left\{1 - \left[1 - \frac{\Delta(W/L)}{2(W/L)}\right]\right\} - \Delta V_{TH}$$

$$= \sqrt{\frac{2I_D}{\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)}} \cdot \frac{\Delta(W/L)}{2(W/L)} - \Delta V_{TH}$$

$$= \frac{\sqrt{\frac{2I_D}{\mu_n C_{ox}\left(\frac{W}{L}\right)}}}{2} \cdot \frac{\Delta(W/L)}{(W/L)} - \Delta V_{TH}$$

equilibrium overdrive voltage

$$= \frac{V_{GS}-V_{TH}}{2}\left[\frac{\Delta(W/L)}{W/L}\right] - \Delta V_{TH}$$