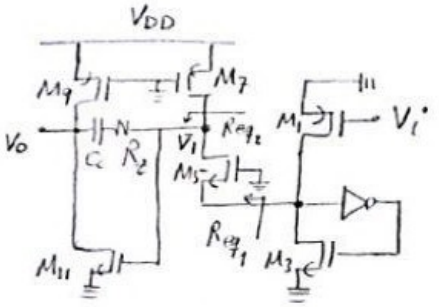
پاسخ سوال ①

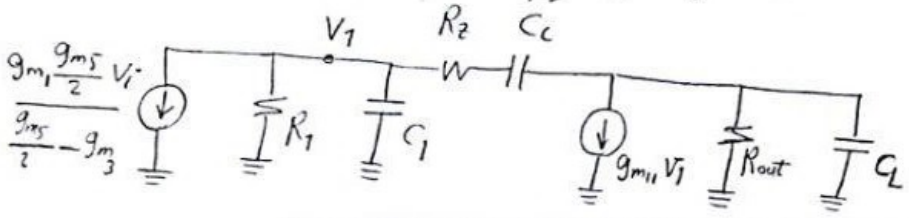


قسمت الف) ابتدا مدار معادل نیمه (سیگنال کوچک) را رسم می‌کنیم:

$$R_{eq_1} = \frac{1+g_5 r_7}{g_{m5}+g_5} \approx \frac{2}{g_{m5}}$$

$$R_{eq_2} = g_{m5} r_5 \times \left(\frac{-1}{g_{m3}}\right) - \frac{1}{g_{m3}} + r_5 = \frac{-1}{g_{m3}} + r_5\left(1-\frac{g_{m5}}{g_{m3}}\right) \approx r_5\left(1-\frac{g_{m5}}{g_{m3}}\right)$$

← معادل نورتون طبقه اول مدار را در مدل سیگنال کوچک جایگذاری می‌کنیم:



(مدار ۲)

بهره فرکانس پایین:

$$\boxed{A_{v_o} = -\frac{g_{m5}\, g_{m1}}{g_{m5}-2g_{m3}} \underbrace{\left(r_5\left(1-\frac{g_{m5}}{g_{m3}}\right) \parallel r_7\right)}_{=R_1} g_{m11} \underbrace{(r_{11} \parallel r_9)}_{R_{out}}}$$

قسمت ب) با استفاده از (مدار ۲) قطب و صفر مدار را بدست می‌آوریم:

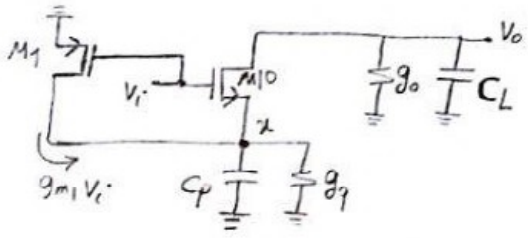
$$\omega_{p_1} = \frac{-1}{R_1 C_1 + R_{out} C_L + C_c(g_{m11} R_1 R_{out} + R_1 + R_{out})} \quad , \quad \boxed{C_1 \approx C_{gs_{11}}}$$

$$\omega_{p_2} = \frac{-g_{m11} C_c}{C_1 C_L + C_1 C_c + C_L C_c} \quad , \quad \omega_z = \frac{1}{C_c\left(\frac{1}{g_{m11}} - R_z\right)} \quad , \quad \omega_{p_3} \approx -\frac{\frac{g_{m5}}{2} - g_{m3}}{(C_{gs_5}+C_{gs_3})}$$

طبقه اول

پاسخ سوال ②

- مدار معادل نیمه سیگنال کوچک را با حذف منابع جریان رسم می‌کنیم:



$$KCL\ @\ x:\ V_x\left(g_q + g_{10} + g_{m10} + s(C_p + C_{gs_{10}})\right) - V_i\left(g_{m1} + g_{m10} + sC_{gs_{10}}\right) - g_o V_o = 0$$

$$KCL\ @\ out:\ V_o\left(g_o + g_{10} + s(C_L + C_{gd_{10}})\right) - V_x(g_{10} + g_{m10}) - V_i(g_{m10} + sC_{gd_{10}}) = 0$$

$$\Rightarrow V_x = \frac{g_o V_o + (g_{m1} + g_{m10} + sC_{gs_{10}})V_i}{g_q + g_{10} + g_{m10} + s(C_p + C_{gs_{10}})}$$

ادامه پاسخ سوال ① : جایگزاری V_x در رابطه KCL به صورت زیر:

$$\Rightarrow V_o[g_o+g_{10}+s(C_L+C_{gd_{10}})]+V_i(g_{m_{10}}-sC_{gd_{10}})-(g_{10}+g_{m_{10}})\left[\frac{g_oV_o+(g_{m_1}+g_{m_{10}}+sC_{gs_{10}})V_i}{g_{10}+g_9+g_{m_{10}}+s(C_P+C_{gs_{10}})}\right]=0$$

$$\Rightarrow V_o\{(g_o+g_{10})(g_9+g_{10}+g_{m_{10}})+s[(C_L+C_{gd_{10}})(g_9+g_{10}+g_{m_{10}})+(C_P+C_{gs_{10}})(g_{10}+g_o)]+s^2[(C_P+C_{gs_{10}})(C_L+C_{gd_{10}})-(g_{10}+g_{m_{10}})g_{10}]\}+V_i[g_{m_{10}}(g_{10}+g_9+g_{m_{10}})+s[g_{m_{10}}(C_P+C_{gs_{10}})-(g_{m_{10}}+g_{10}+g_9)(C_{gd_{10}})]-s^2[C_{gd_{10}}(C_P+C_{gs_{10}})]-(g_{10}+g_{m_{10}})(g_{m_1}+g_{m_{10}})-s[(g_{m_{10}}-g_{10})C_{gs_{10}}]]=0$$

$g_o \ll g_{10}$, $g \ll g_m$ $\Rightarrow$

$$V_o[g_{10}g_9+s[g_{m_{10}}(C_L+C_{gd_{10}})]+s^2[(C_P+C_{gs_{10}})(C_L+C_{gd_{10}})]+V_i[-g_{m_1}g_{m_{10}}+s[g_{m_{10}}(C_P-C_{gd_{10}})]-s^2[C_{gs_{10}}(C_P+C_{gs_{10}})]]=0$$

$$\Rightarrow A_V(s)=\frac{-s^2[C_{gs_{10}}(C_P+C_{gs_{10}})]+s[g_{m_{10}}(C_P-C_{gd_{10}})]-g_{m_1}g_{m_{10}}}{s^2[(C_P+C_{gs_{10}})(C_L+C_{gd_{10}})]+s[g_{m_{10}}(C_L+C_{gd_{10}})]+g_{10}g_9}$$

$$A_V(s)=-\frac{\frac{C_{gd_{10}}}{C_L+C_{gd_{10}}}\left[s^2+s\left(\frac{g_{m_{10}}(C_{gd_{10}}-C_P)}{C_{gd_{10}}(C_{gs_{10}}+C_P)}\right)-\frac{g_{m_1}g_{m_{10}}}{(C_{gs_{10}}+C_P)C_{gd_{10}}}\right]}{s^2+s\left(\frac{g_{m_{10}}}{C_{gs_{10}}+C_P}\right)+\frac{g_9g_{10}}{(C_{gs_{10}}+C_P)(C_L+C_{gd_{10}})}}$$

پاسخ سوال ②

$t_s = 10\,nsec \longrightarrow \begin{cases} t_{1S}=3\,nsec \Rightarrow SR=\frac{I_t}{C_L}=\frac{V_{FS}}{t_{1S}} \Rightarrow \boxed{I_t=1\,mA} \\ t_{1S}=7\,nsec \Rightarrow \frac{7}{\beta\omega_{ta}}=7\,nsec \Rightarrow \boxed{\omega_{ta}=2\,Grad/sec} \end{cases}$

← حداقل I_t و ω_{ta} برای برآورده شدن مشخصات مورد نظر محاسبه شد.

- کانون مدار در حالت DC برای بایاس:

$V_{SG_{P4}} = 0.9^V + V_{th} + V_{eff_{P4}} = 1.35^V + V_{eff_{P4}}$

$VBO = 1.35^V - 0.45^V - V_{eff_{P6}} = 0.9^V - V_{eff_{P6}}$

$VB2 = V_{th} + V_{eff_{N3}} = 0.45^V + V_{eff_{N3}}$ ، $VB1 = V_{DS_{N3}} + V_{eff_M} + 0.45^V$

$VB1 - VB2 = V_{th} + V_{eff_{P8}} = 0.45^V + V_{eff_{P8}}$ ، $VB2 - VBO \geq V_{eff_{N5}}$

برای بایاس صحیح $\longrightarrow$ $V_{eff_{P6}} < 0.2^V$ ، $V_{DS_{N3}} + V_{eff_{N1}} < 0.65^V$

فرض $\longrightarrow$ $V_{eff_{P4}} = 100\,mV$ ، $V_{eff_{P6}} = 100\,mV$ ، $V_{eff_{N3}} = 100\,mV$ ، $V_{eff_{N1}} = 100\,mV$

بهره: $|A_v| \simeq g_{m_{P4}}(r_{P4}\,g_{m_{P6}}\,r_{P6} \parallel r_{N3}\,g_{m_{N1}}\,r_{N1}) = 10m^V \times (640\,k\Omega \parallel 640\,k\Omega)$

$= 3200 > 1000$

ادامه پاسخ سوال ③

قسمت الف) قطب دوم این مدار در $\frac{g_{mP6}}{C_{gsP6}}$ واقع شده است. پس داریم:

$V_{eff_{P6}} = 0.1\ V \Rightarrow \boxed{g_{mP6} = 10\ m\mho}$ ، $\left(\frac{W}{L}\right)_{P6} = \frac{I_{t/2}}{\frac{1}{2}\mu_p C_{ox} V_{eff_{P6}}^2} = 1428$

$\Rightarrow C_{gs_{P6}} = WL\,C_{ox} = 247fF \Rightarrow \omega_{P_2} = \frac{g_{mP6}}{C_{gs_{P6}}} \approx 40\ Grad/sec$

از طرفی: $\omega_{ta} = \frac{g_{mP4}}{C_L} = 3.3\ Grad/sec$

← قطب دوم بسیار دورتر از ω_{ta} قرار دارد. پس حاشیه فاز برابر 90° است.

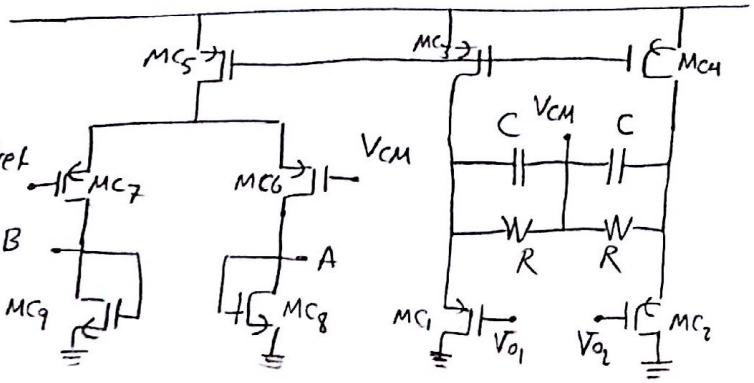
قسمت ب) اگر V_{CM} ثابت‌های فرض افزایش یابد، متعاقباً ولتاژ آستانه ترانزیستورهای MP_9 و MP_{10} نیز افزایش می‌یابد. پس ولتاژ گره‌های VB_1 و VB_2 افزایش می‌یابد و جریان ترانزیستورهای M_{N1-4} را زیاد می‌کند. در نتیجه V_{CM} فرض کاهش می‌یابد و فیدبک منفی برقرار می‌شود.

پاسخ سوال ④

قسمت الف) فرض V_{CMFB} باید بگونه‌ای باشد تا تغییرات V_{CM} را جبران کند. با افزایش V_{CM}، جریان M_{C6}، M_{C7} بترتیب زیاد و کم می‌شود و در نتیجه ولتاژ گره‌های A و B نیز کم و زیاد می‌شود. پس فرض V_{CMFB} باید از سر B گرفته شود تا جریان M_0 کاهش یابد، V_{CM} نیز کم شود.

- ترانزیستورهای M_{C1-4} و مقاومت وجان تنها نقش بافر و تولید سیگنال V_{CM} را دارند.

قسمت ب) مدار شکل ۱۰ بصورت زیر تغییر می‌کند:



← سر B: عنوان فرض V_{CMFB} انتخاب می‌شود.