

Considere

$$V_{DD} = 3 \text{ V}, C = 0.1 \mu\text{F}$$

$$R_D = 100 \text{ k}\Omega, R_G = 1 \text{ k}\Omega,$$

$$R_1 = 220 \text{ k}\Omega, R_2 = 80 \text{ k}\Omega,$$

$$R_F = 10 \text{ k}\Omega.$$

$$R_F = 50 \text{ k}\Omega, R_{C1} = R_{C2} = 5 \text{ k}\Omega.$$

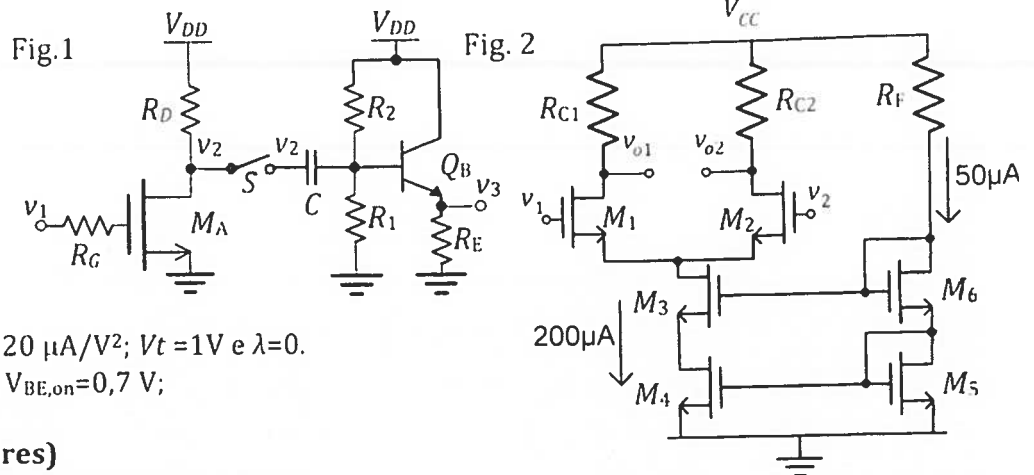
MOS:

$$(W/L)_{M_A} = (5 \mu\text{m} / 1 \mu\text{m})$$

$$(W/L)_{M_{1,2}} = (50 \mu\text{m} / 1 \mu\text{m})$$

$$\frac{1}{2} \mu_n C_{OX} = 40 \mu\text{A}/\text{V}^2; \frac{1}{2} \mu_p C_{OX} = 20 \mu\text{A}/\text{V}^2; V_t = 1 \text{ V} \text{ e } \lambda = 0.$$

Bipolar: $\beta = 100, V_A = 100 \text{ V}, V_{BE,on} = 0,7 \text{ V};$


I) (3.5+1.5+2.5+2.5 valores)

 Para o circuito da Fig. 1 com o interruptor S aberto:

- [1ºT][E]** Esboce a característica de transferência $v_2(v_1)$ e identifique: as zonas de funcionamento do transistor; as coordenadas limites; V_{OH} e V_{OL} .
- [1ºT][E]** Diga quais as vantagens de um inversor CMOS convencional face ao circuito considerado na alínea anterior.
- [1ºT]** Apresente o esquema de uma porta da mesma família lógica que implemente a função $\bar{Y} = (X_1 + X_2) \cdot X_3$. Dimensione os transístores para garantir que o (pior) tempo de descida é igual.
- [1ºT]** Projecte um interruptor CMOS com resistência "ON" de $1 \text{ k}\Omega$ para uma tensão de $V_{DD}/2$.

II) (4+2.5+1+2.5 valores)

 Para o circuito da Fig. 1 com o interruptor S fechado e $V_1 = 1.2 \text{ V}$:

- [1ºT][2ºT][E]** Calcule o ponto de funcionamento em repouso do circuito completo, faça o esquema incremental e calcule as resistências de entrada e de saída.
- [1ºT][2ºT][E]** Calcule o ganho do amplificador.
- [1ºT][2ºT][E]** Calcule a amplitude máxima da tensão de saída v_3 .
- [1ºT][E]** Considere S aberto e calcule a frequência do pólo em baixa frequência do andar $v_3(v_2)$.

III) (2.5+2.5+2.5+2.5+2.5 valores)

 Considere o circuito representado na Fig. 2 e que $V_{CC} = 5 \text{ V}$

- [2ºT][E]** Dimensione $M_{3,4}$ para que o valor da corrente da fonte seja $200 \mu\text{A}$ e calcule a resistência dinâmica da fonte (considere $\lambda = 0.01 \text{ V}^{-1}$).
- [2ºT][E]** Calcule o ganho de tensão diferencial $A_d = (v_{o1} - v_{o2}) / (v_1 - v_2)$. Para a saída no colector de M_1 calcule o ganho de modo comum $A_{c1} = v_{o1} / v_c$ (nota: $v_c = v_1 = v_2$) e o CMRR.
- [2ºT]** Calcule os limites, mínimo e máximo, da tensão de modo comum na entrada.
- [2ºT]** Apresente o esquema de um amplificador cascode baseado no amplificador da Fig. 2.
- [2ºT]** Considere $R_{C1} = 0$ e v_2 constante no circuito da Fig. 2, diga, qualitativamente, como se alterava a resposta em frequência do circuito.

Formulário

$$\text{NMOS: } i_D = k_n (v_{GS} - V_t)^2; \quad i_D = k_n [2(v_{GS} - V_t)v_{DS} - v_{DS}^2]; \quad k_n = \frac{1}{2} \mu_n C_{OX} \frac{W}{L}; \quad \text{Bip: } i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}; \quad V_T = 25 \text{ mV}$$

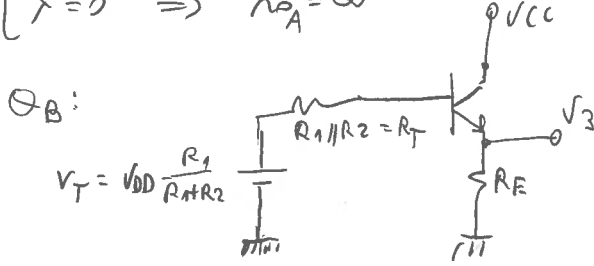
II)

5. $V_1 = 1.2V \Rightarrow M_A \text{ SATURADO} \Rightarrow i_D = k_{MA} (V_1 - V_T)^2$

$i_D = 8 \mu A$

$V_2 = V_{DS} = V_{DD} - R_D i_D = 2.2V$

$g_{m_A} = 2\sqrt{k i_D} = 0.08 \text{ mS}$
 $\lambda = 0 \Rightarrow r_{o_A} = \infty$



$V_T = 2.2V$

$R_T = 58.7 \text{ k}\Omega$

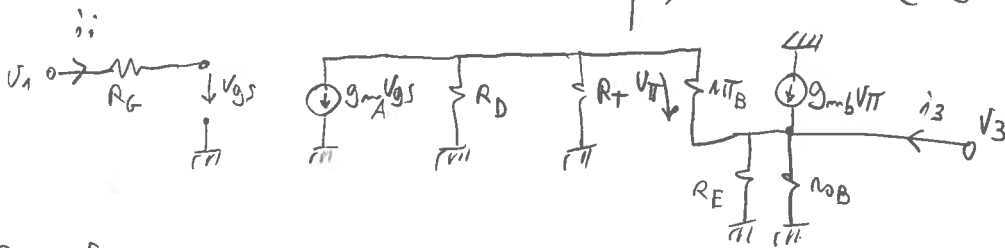
$V_T = R_T i_B + V_{BE(on)} + (\beta + 1) R_E i_B$

$i_B = \frac{V_T - V_{BE(on)}}{R_T + (\beta + 1) R_E} = 1.4 \mu A$

$i_C = 0.14 \text{ mA}$

$g_{m_B} = \frac{I_C}{V_T} = 5.6 \text{ mS}$
 $r_{\pi_B} = \frac{\beta}{g_{m_B}} = 18.9 \text{ k}\Omega$
 $r_{o_B} = \frac{V_A}{I_C} = 714 \text{ k}\Omega$

Esquema incremental:



$R_i = \frac{V_1}{i_1} = \infty$

$R_o = \left. \frac{V_3}{i_3} \right|_{V_1=0} = R_E \parallel r_{o_B} \parallel \left(\frac{R_D \parallel R_T + r_{\pi_B}}{\beta + 1} \right) = 523.8 \Omega$

1015 kΩ

6. Ganho de 1º andar: $\frac{V_2}{V_1} = -g_{m_A} \cdot \underbrace{R_D \parallel R_T \parallel R_{i2}}_{35.7 \text{ k}\Omega} = -2.854$

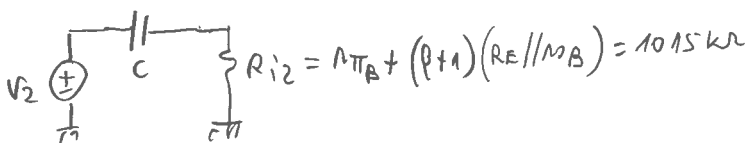
Ganho de 2º andar ≈ 1 (seguido de emissor)

$\frac{V_3}{V_2} = \frac{(1 + \beta)(R_E \parallel r_{o_B})}{r_{\pi_B} + (1 + \beta)(R_E \parallel r_{o_B})} \approx 1$

$\Rightarrow \frac{V_3}{V_1} = -2.854$

7. V_3 é máxima quando Q_3 saturar $\Rightarrow V_{3_{max}} = V_{DD} - V_{CE(sat)} = 2.8V$

8.



$\omega_p = \frac{1}{CR_{i2}} = 9.85 \text{ rad/s}^{-1}$

$\Rightarrow f_p = \frac{\omega_p}{2\pi} = 1.57 \text{ Hz}$

11. M_{1,2} SATURACÃO $\Rightarrow I_{D1,2} = K_{1,2} (V_{GS1,2} - V_T)^2$
 $\Rightarrow V_{GS1,2} = 1.223 V$

$V_{DS1,2} > V_{GS1,2} - V_T$ $V_{DS1,2} > 0.223$ $V_C = V_{D1} = V_{D2}$

$V_{DS1,2} = -R_C \frac{I_{EE}}{2} + V_{CC} - V_C + V_{GS1,2} > 0.223$ $V_C < 3.5 V$

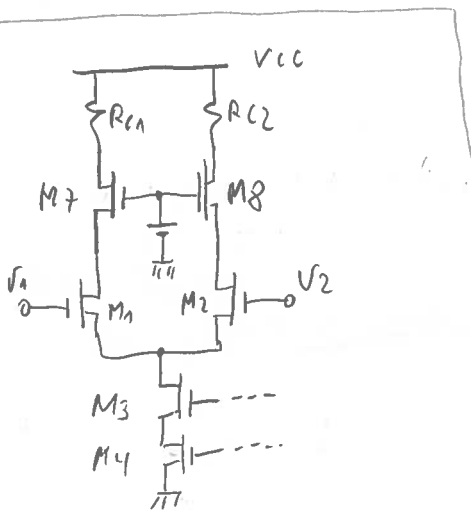
M_{3,4} SATURACÃO \Rightarrow

$V_{GS3} = V_{GS4} = 1.25 V$
 $V_{DS3} > V_{GS3} - V_T$ $V_{DS3} > 0.25 V$
 $V_{DS4} > V_{GS4} - V_T$ $V_{DS4} > 0.25 V$

$V_C > 1.723 V$

$V_C = V_{GS1,2} + V_{GS3} + V_{GS4}$

12.



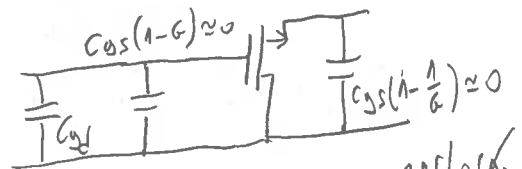
13. O par diferencial constitui-se como um amplificador em source common, tal como se pode verificar através do teorema da Biseção no cálculo do ganho diferencial. Por essa razão a resposta em frequência não é muito boa devido ao efeito de Miller em particular se o ganho de tensão for elevado. Quando $R_{C1} = 0$ e $V_2 = cte$ não há efeito de Miller pelo que a resposta em frequência é melhor.

$R_{C1} = 0 \Rightarrow M_1$ em montagem de dreno comum
 $V_2 = cte \Rightarrow M_2$ em montagem de gate comum

Dreno comum: Ganho de tensão ≈ 1 pelo que o efeito de Miller na entrada é anulado:



Efeito Miller:



Apenas permanece C_{gd} que é pequena pelo que a resposta em alta frequência é boa

Gate comum:



Não existe efeito de Miller pelo que a resposta em alta frequência é boa.