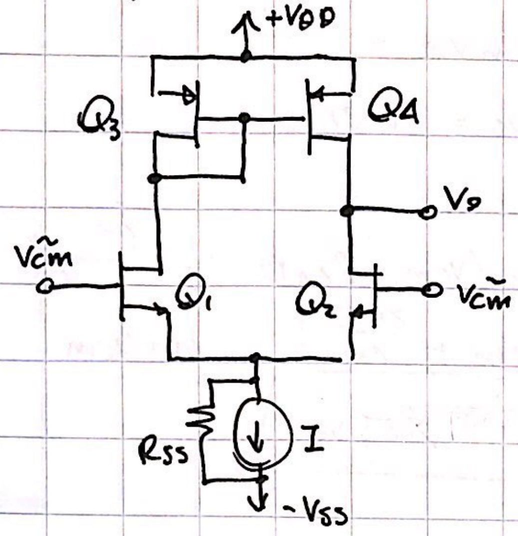
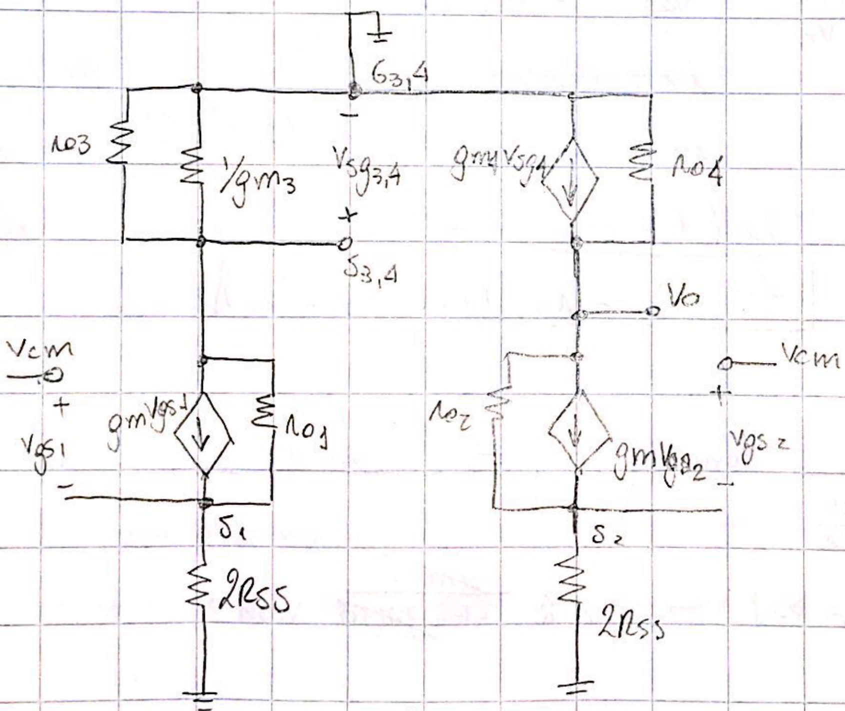
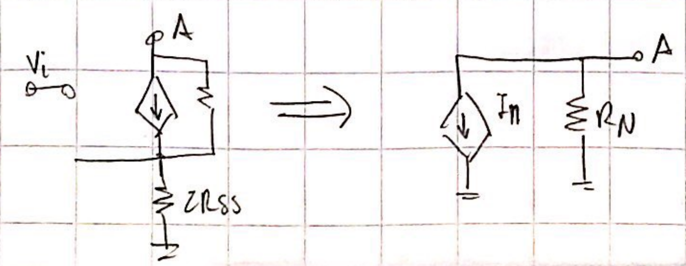
Análise de ganho de modo-comum em um par diferencial com carga ativa



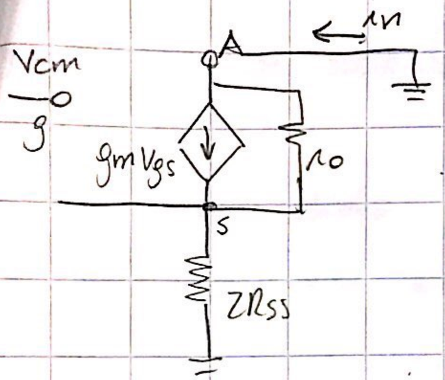
→ Modelo de pequenos sinais



→ Para simplificar a análise, consideraremos o modelo Norton dos circuitos:



→ Para tal, iremos inicialmente definir In



$v_{gs} = v_{cm} - i_n \cdot 2R_{ss}$

$i_n = g_m v_{gs} + \left(\frac{-v_s}{r_o}\right)$

onde $v_s = i_n 2R_{ss}$

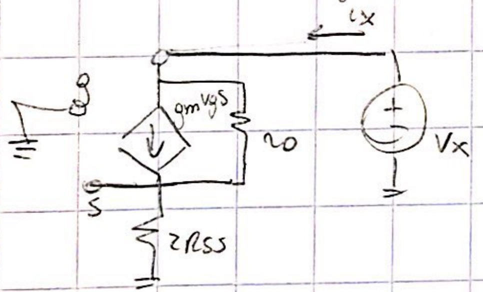
logo:

$$i_n = g_m(v_{cm} - 2 i_n R_{ss}) - \frac{2R_{ss} i_n}{r_o}$$

$$i_n\left(1 + 2R_{ss}g_m + \frac{2R_{ss}}{r_o}\right) = g_m v_{cm}$$

$$\boxed{i_n = \left[\frac{g_m}{1 + 2R_{ss}g_m + 2R_{ss}/r_o}\right] v_{cm}} \;//$$

→ Definindo agora o valor de R_N



$v_s = i_x \cdot 2R_{ss}$

$v_{gs} = -2R_{ss} i_x$

$i_x = g_m v_{gs} + \frac{v_x - v_s}{r_o}$

$i_x = g_m(-2R_{ss} i_x) + \frac{v_x - 2R_{ss} i_x}{r_o}$

$$i_x\left(1 + 2R_{ss}g_m + \frac{2R_{ss}}{r_o}\right) = \frac{v_x}{r_o}$$

$$\boxed{\frac{v_x}{i_x} = R_N = r_o\left(1 + 2R_{ss}g_m + \frac{2R_{ss}}{r_o}\right)}$$

→ Simplificações:

$$i_n = \frac{g_m}{1 + 2R_{ss}g_m + \frac{2R_{ss}}{r_o}} \cdot v_{cm} \times \left(\frac{r_o}{r_o}\right) \Rightarrow \frac{g_m r_o}{r_o + 2R_{ss}g_m r_o + 2R_{ss}} v_{cm}$$

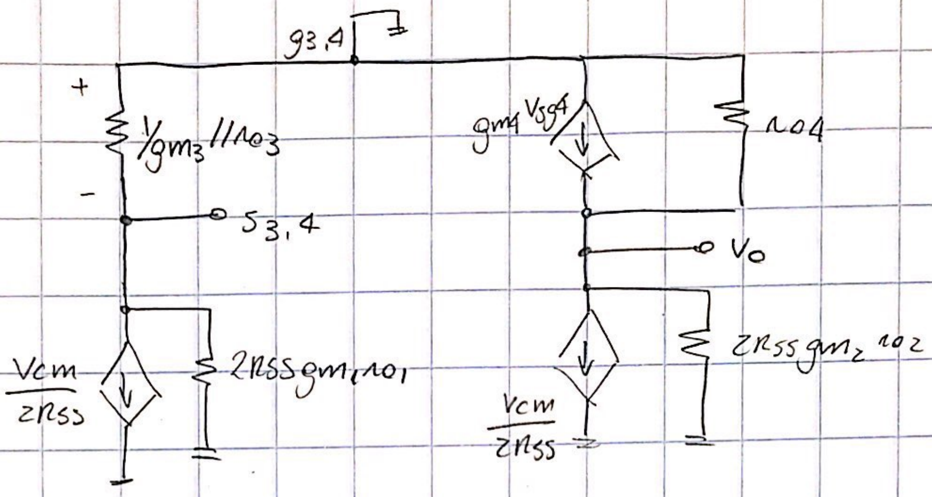
como $R_{ss} \gg 1$, $r_o \gg 1$ → $i_n \approx \frac{\cancel{g_m r_o}}{2R_{ss}\cancel{g_m r_o}} v_{cm}$

$$\boxed{i_n \cong \frac{v_{cm}}{2R_{ss}}} \;//$$

$R_N = r_o + 2R_{ss} g_m r_o + 2R_{ss}$

$$\boxed{R_N \cong 2R_{ss} g_m r_o} \;//$$

Redesenhando o circuito



$$V_{sg4} = V_{sg3} = + \frac{V_{cm}}{2R_{SS}} \cdot \left(\frac{1}{g_{m3}} // r_{o3} // 2R_{SS} g_{m1} r_{o1} \right) \simeq + \frac{1}{g_{m3}} \frac{V_{cm}}{2R_{SS}}$$

$$V_o = \left(g_{m4} V_{sg4} - \frac{V_{cm}}{2R_{SS}} \right) \left(r_{o4} // 2R_{SS} g_{m2} r_{o2} \right)$$

$$V_o \cong \left[+ \frac{g_{m4}}{g_{m3}} \frac{V_{cm}}{2R_{SS}} - \frac{V_{cm}}{2R_{SS}} \right] \left(\underbrace{r_{o4} // 2R_{SS} g_{m2} r_{o2}}_{\simeq r_{o4}} \right)$$

$$V_o \overset{\sim}{=} \frac{V_{cm}}{2R_{SS}} \left(\frac{g_{m4}}{g_{m3}} - 1 \right) r_{o4}$$

$$\boxed{A_{cm} = \frac{V_o}{V_{cm}} \cong \frac{r_{o4}}{2R_{SS}} \left(\frac{g_{m4}}{g_{m3}} - 1 \right)}$$

Se $g_{m4} = g_{m3} \Rightarrow A_{cm} \cong 0$

→ Nota-se que o efeito da carga ativa é o de minimizar o efeito do modo-comum. Infelizmente A_{cm} não será nulo, pois $V_{sg4} \neq + \frac{1}{g_{m3}} \frac{V_{cm}}{2R_{SS}}$, uma vez que $\frac{1}{g_{m3}} // r_{o3} // 2R_{SS} g_{m1} r_{o1}$ resultará sempre em $R_{eq} < \frac{1}{g_{m3}}$, mesmo que a diferença seja mínima.

- Assumindo que $\frac{1}{g_{m3}} // r_{o3} // 2R_{SS} g_{m1} r_{o1} \overset{\sim}{=} \frac{1}{g_{m3}} // r_{o3}$

tem-se que: $R_{eq} = \frac{r_{o3}}{1 + g_{m3} r_{o3}}$ e consequentemente:

$$V_o \overset{\sim}{=} \left(\frac{g_{m4} r_{o3}}{1 + g_{m3} r_{o3}} - 1 \right) \frac{r_{o4}}{2R_{SS}} \cdot V_{cm}$$, se $g_{m4} = g_{m3}$ e $r_{o4} = r_{o3}$

$$\frac{V_o}{V_{cm}} \cong \frac{-r_o}{2R_{SS}(1 + g_m r_o)} \cong \frac{-1}{2 g_m R_{SS}} \Rightarrow \boxed{A_{cm} \cong \frac{-1}{2 g_m R_{SS}}}$$ //

obs: O modo comum pode ser minimizado ao se elevar R_{SS}!