

Parcial de Electrónica Avanzada 2
27/04/2022

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas.

La prueba es **sin** material.

Los puntajes de los problemas se indican sobre un total de 100 puntos.

Problema 1 (34 pts):

- a) El circuito de la Figura 1 se conoce como fuente de corriente autopolarizada. Calcule la corriente de salida I_{OUT} a 300K. ¿Cómo es su dependencia con la temperatura?
- b) Las fuentes de corriente autopolarizadas, tal como la de la Figura 1, pueden tener problemas de arranque.
 - i. Describa en que consiste el problema y por qué sucede.
 - ii. Se dispone de una señal digital que genera un pulso de ancho finito a VDD luego que la fuente VDD pasa de 0 a su valor nominal. Modifique el circuito para utilizar esta señal y garantizar el arranque de la fuente al punto de operación deseado.
- c) Con el circuito de la Figura 1 se arma el circuito de la Figura 2. Determine el valor de la resistencia R_2 para lograr una corriente I_{REF} que no varíe con la temperatura. ¿Qué valor tiene I_{REF} ?

Datos:

- $V_{DD}=5V$, $R_1= 5.6k\Omega$, $R_3=150k\Omega$, $K=8$
- El valor de las resistencias es independiente de la temperatura.
- La variación de V_{BE} con la temperatura se considera lineal $V_{BE} = V_{G0} - a.T$ donde $V_{G0}=1.24V$ y $a=2mV/K$. Puede asumir que este modelo no cambia en el rango de corrientes que se utilizan en este problema.
- Los parámetros del problema y β son tales que puede despreciar las corrientes de base.
- Todos los transistores MOS son idénticos.

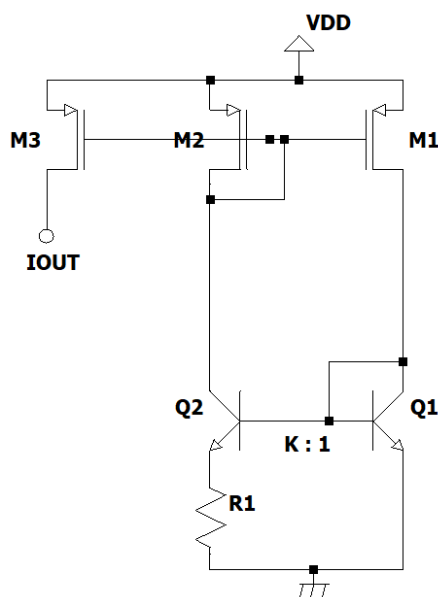


Figura 1

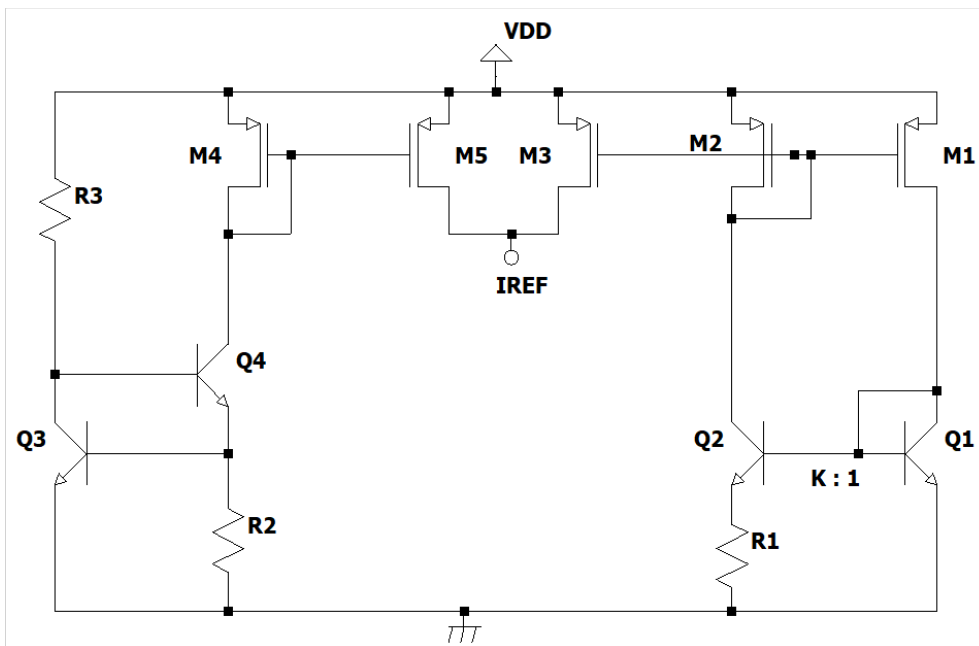
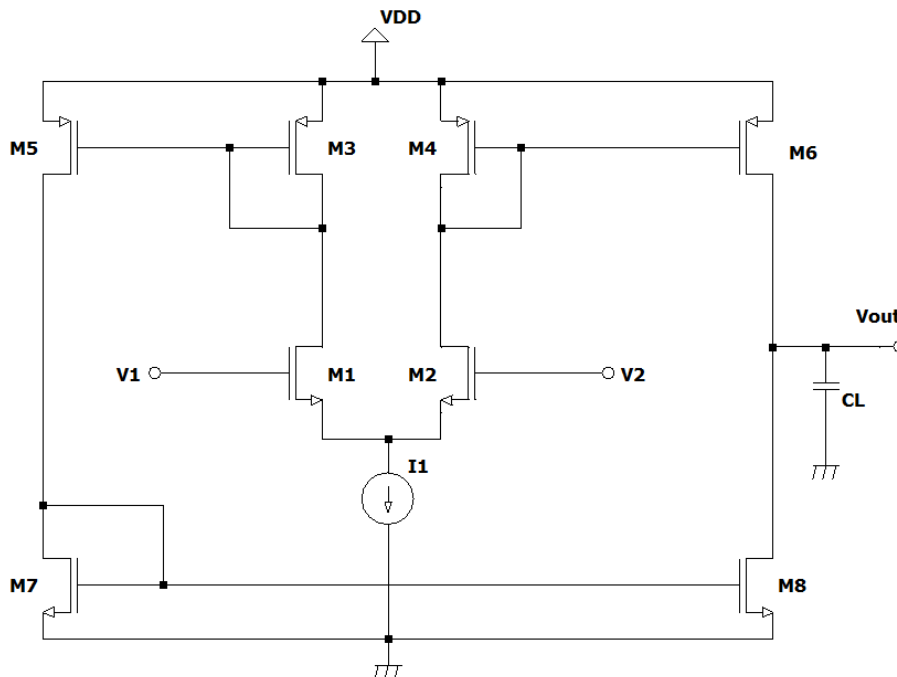


Figura 2

Problema 2 (33 ptos):

En el circuito de la figura todos los transistores tienen el mismo largo L y el ancho de los transistores $M5$ a $M8$ es M veces el ancho de los transistores $M1$ a $M4$.

- Dimensionar el factor M para que la frecuencia de transición del amplificador sea 30 MHz.
- Calcular la ganancia diferencial $V_{out}/(V1-V2)$ en bajas frecuencias y el Slew rate.
- Calcular el Output Swing y el rango de entrada en modo común.
- Por errores en el proceso de fabricación, $M1$ y $M2$ se fabrican con una diferencia relativa de ancho de 1%, calcule el offset equivalente a la entrada debido a ese error.



Datos:

- $\beta_{M1-M4} = 1 \text{ mA/V}^2$, voltaje de Early $V_A = 50 \text{ V}$, $V_{T0} = 1 \text{ V}$, $C_L = 18 \text{ pF}$, $V_{DD} = 10 \text{ V}$.
- $I_1 = 0.5 \text{ mA}$, tensión mínima de funcionamiento de la fuente de corriente $V_{Imin} = 1 \text{ V}$.

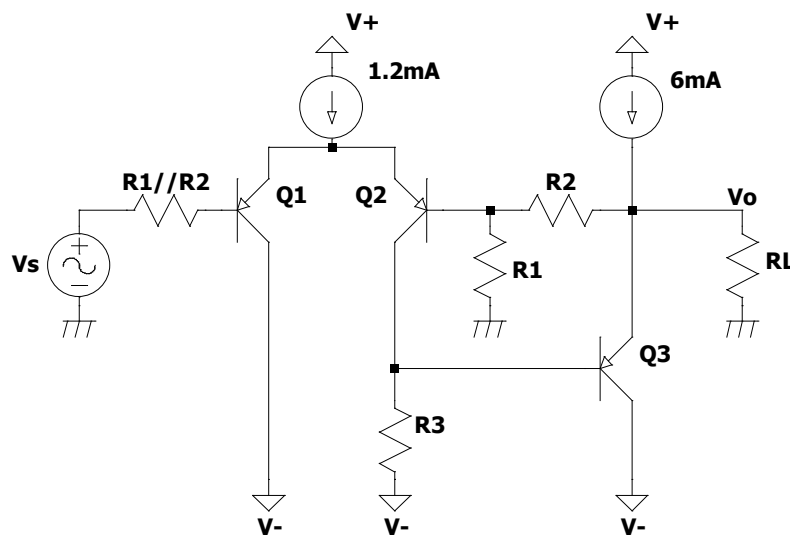
Problema 3 (33 pts):

Se considera el circuito realimentado de la figura.

- a) Asumiendo que la componente continua de V_s es 0 V:
 - i) mostrar que la componente de continua de V_o es aproximadamente 0 V y
 - ii) hallar la corriente de continua a la que operan todos los transistores.
- b) Calcular las ganancias A , β y $A_f = V_o/V_s$.
- c) Calcular la resistencia de entrada R_{if}' y la resistencia de salida R_{of}' .

Datos

- Para todos los transistores: $\beta_Q = 100$, $V_{EB\ ON} = 0.6\ V$.
- $V_+ = 12\ V$, $V_- = -12\ V$.
- $R_1 = 1\ k\Omega$, $R_2 = 8.2\ k\Omega$, $R_3 = 19\ k\Omega$, $R_L = 2.2\ k\Omega$.



1 (a)

$$I_{C2} \approx \frac{V_{BE1} - V_{BE2}}{r_1} = \frac{V_T L \left[\frac{I_{S1}}{I_{S2}} \right]}{r_1}$$

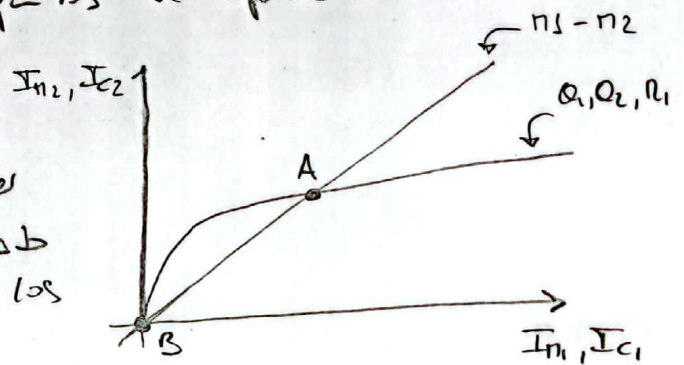
$$n_2 = n_1 \Rightarrow I_{C2} = I_{C1} \quad \left\{ \begin{array}{l} I_{S2} = k \cdot I_{S1} \\ \Rightarrow I_{C2} = \frac{V_T L(k)}{r_1} = I_{OUT} \end{array} \right.$$

$$V_T @ 300K = 25,9 \text{ mV} \Rightarrow I_{OUT @ 300K} = 9,62 \mu\text{A}$$

I_{OUT} es proporcional a T (PTAT) : $I_{OUT} = \frac{k_2 L(k)}{r_1} \cdot T$

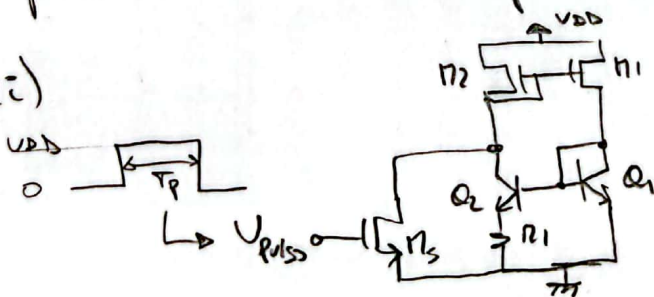
(b) (i) El problema de arranque sucede porque el circuito tiene 2 puntos de operación posibles :

- A: Tenemos corriente en ambas ramas \rightarrow son iguales
- B: El circuito está apagado no hay corriente por los dos pñs, rivos



El punto A es estable y el B inestable \rightarrow cualquier perturbación me saca del punto B y me lleva al punto A

(ii)



Mientras $V_{PUSS} = V_{DD}$, n_2 actúa como llave forzando $I_{D2} > 0$ llevando el circuito fuera del punto B.
 Cuando $V_{PUSS} = 0$, n_2 se apaga y el circuito pasa a operar en el punto A

$$(C) \quad I_{REF} = I_{n3} + I_{n5}$$

$$I_{n3} = I_{out} \quad (\text{part (a)})$$

$$I_{n5} = I_{n4} = I_{C4} \approx I_{R2}$$

$$I_{R2} = \frac{V_{B33}}{R_2} = \frac{V_{G0}}{R_2} - \frac{q}{R_2} T$$

$$\Rightarrow I_{REF} = \frac{V_{G0}}{R_2} + \left(\frac{k_B L(k)}{q R_1} - \frac{q}{R_2} \right) T$$

$$I_{REF} \text{ no depend on } T \Leftrightarrow \frac{k_B L(k)}{q R_1} = \frac{q}{R_2}$$

$$\rightarrow R_2 = \frac{q \cdot q \cdot R_1}{k_B L(k)} \Rightarrow \boxed{R_2 = 62,4 \text{ k}\Omega}$$

$$\Rightarrow \boxed{I_{REF} = \frac{V_{G0}}{R_2} = 19,9 \mu\text{A}}$$

$$V_{B33} = V_{G0} - qT \quad V_{G0} = 1,24 \text{ V}$$

$$q = 2 \text{ mV/K}$$

$$\left(\begin{array}{l} V_{B33} @ 300 \text{ K} = 0,64 \text{ V} \\ \Rightarrow I_{R3} @ 300 \text{ K} = \frac{V_{DD} - 2V_{B33}}{R_3} = 24,8 \mu\text{A} \end{array} \right)$$

Problema 2

a) $f_T = \frac{G_{mTot}}{2\pi C_L} \Rightarrow G_{mTot} = 2\pi C_L \cdot f_T = 3,4 \times 10^{-3} \Omega^{-1}$

$$G_{mTot} = g_{m_{1,2}} \cdot M =$$

$$g_{m_{1,2}} = \sqrt{\frac{2\beta \cdot I_1}{2}} = 7,07 \times 10^{-4} \Omega^{-1}$$

$$M = \frac{G_{mTot}}{g_{m_{1,2}}} = 4,8$$

b) $A = \frac{V_{out}}{V_1 - V_2} = -G_{mTot} \cdot r_{o6} \parallel r_{o8} = -141$

$$r_{o6} = r_{o8} = \frac{V_A}{\frac{I_1}{2} \cdot M}$$

$$S_r = \frac{M I_1}{C_L} = 133 \text{ V}/\mu\text{s}$$

c)

$$OSW = (V_{DD} - V_{SDSAT M6}, V_{SDSAT M8})$$

$$V_{SDSAT M6} = V_{SDSAT M8} = V_{AS8} - V_{T0} = \sqrt{\frac{2 \cdot M \cdot I_1}{2 \cdot \mu \cdot \beta}} = 0,7 \text{ V}$$

$$OSW = (0,3 \text{ V}, 0,7 \text{ V})$$

$$ICMR \quad (V_{DD} - V_{SA3,4}) - (N_{CM} - V_{AS1,2}) > V_{SDSAT,1,2} = V_{AS1,2} - V_T$$

$$N_{CM} < V_{DD} - V_{SA3,4} + V_{AS1,2} - V_{AS1,2} + V_T = 10 - 2,7 + 1 = 8,3 \text{ V}$$

$$N_{CM} > V_{AS1,2} + V_{Imin} = 1,7 + 1 \text{ V} = 2,7 \text{ V}$$

$$ICMR \quad (2,7 \text{ V}; 8,3 \text{ V})$$

$$d) \quad \Delta I = \frac{I_1}{2} \cdot \frac{\Delta \beta}{\beta} = 2,5 \mu A$$

" 1%

$$V_{off} = \frac{\Delta I}{g_{m1}} = 3,5 mV$$

Problema 3

a) Q1 y Q2 par diferencial balanceado $\Rightarrow I_{C1} = I_{C2} = \frac{1,2mA}{2} = 0,6mA$

Si $I_{B3} \ll I_{C2} \Rightarrow I_{E2} R_3 = V_{B3} - V_- \Rightarrow V_{B3} = 0,6mA \cdot 19k\Omega - 12V = -0,6V$

$$\left. \begin{aligned} V_{EB3} &= V_0 - V_{B3} \\ V_{EB3} &= V_{EB3ON} = 0,6V \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_0 = 0,6V + V_{B3}$$

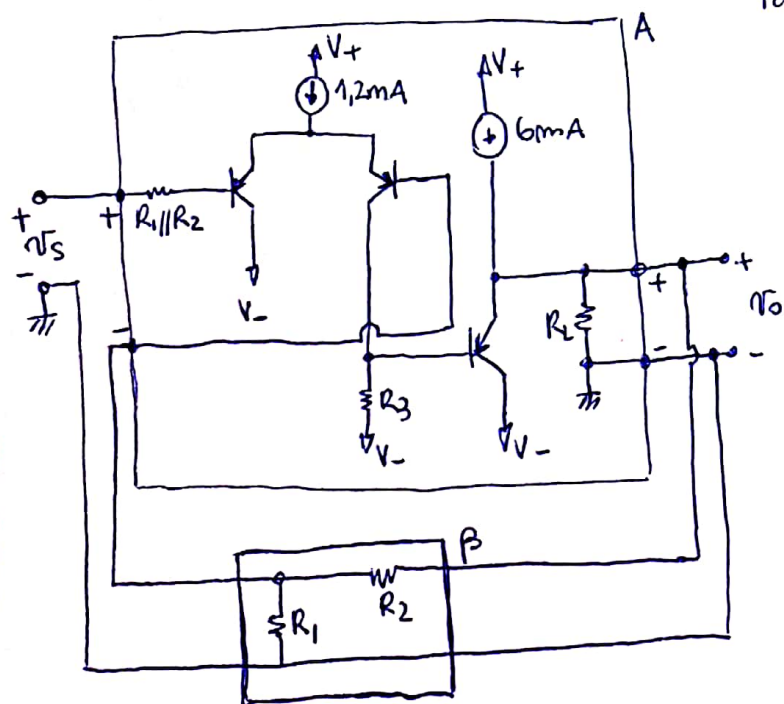
$\Rightarrow V_0 = 0V \Rightarrow$ par diferencial balanceado porque resistencia bases iguales $R_1 \parallel R_2$
 $I_{E2} = 0V \Rightarrow I_{C3} = 6mA$ si $I_{E2} \ll 6mA$.

Verifico que $I_{B3} \ll I_{C2}$: $I_{B3} = \frac{I_{E3}}{\beta_R} = \frac{6mA}{100} = 60\mu A \ll 0,6mA = I_{C2}$.

Verifico que $I_{E2} \ll 6mA$:

$$I_{B2} = I_{E1} + I_{E2} \Rightarrow I_{E2} = I_{B2} - I_{E1} < I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta_R} = \frac{0,6mA}{100} = 6\mu A \ll 6mA$$

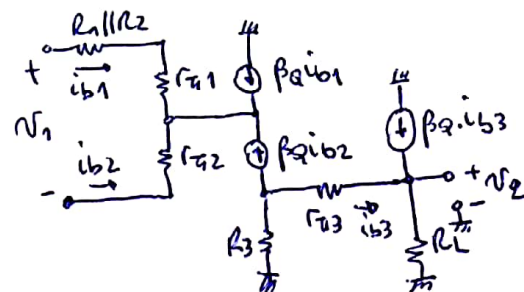
b)



Parámetros H del bloque β :

$$\begin{aligned} h_{11\beta} &= R_1 \parallel R_2 = 0,89k\Omega \\ h_{12\beta} &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 0,11 \\ h_{21\beta} &= -\frac{R_1}{R_1 + R_2} = -0,11 \\ h_{22\beta} &= \frac{1}{R_1 + R_2} = 0,11mS \end{aligned}$$

Bloque A:



$$h_{11A} = \frac{v_1}{i_1} = (R_1 \parallel R_2) + r_{\pi 1} + r_{\pi 2}$$

$$\Rightarrow h_{11A} = 0,89k\Omega + 2 \cdot 4,3k\Omega \Rightarrow h_{11A} = 9,5k\Omega$$

$$r_{\pi 1} = r_{\pi 2} = \beta_R \cdot \frac{V_T}{I_{C1,2}} = 100 \cdot \frac{26mV}{0,6mA} = 4,3k\Omega$$

$$h_{12A} = 0 \text{ porque } i_1 = 0 \Rightarrow i_{b1} = i_{b2} = 0 \Rightarrow v_1 = 0$$

$$h_{21A} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{i_2}{i_{b3}} \cdot \frac{i_{b3}}{i_{b2}} \cdot \frac{i_{b2}}{i_1} = \left[-(\beta_Q + 1) \right] \cdot \left[-\beta_Q \cdot \frac{R_3}{R_3 + r_{\pi 3}} \right] \cdot [-1] = -\frac{\beta_Q (\beta_Q + 1) \cdot R_3}{R_3 + r_{\pi 3}} \Rightarrow$$

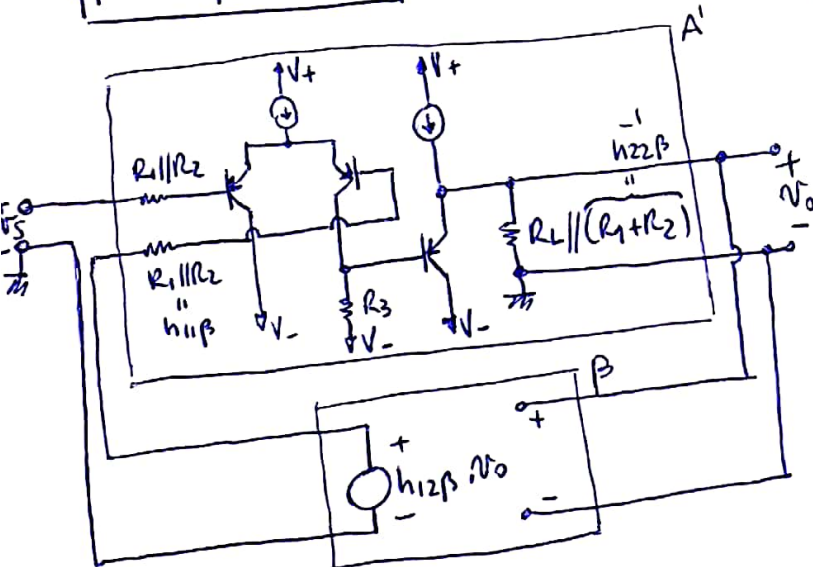
$$r_{\pi 3} = \beta_Q \cdot \frac{V_T}{I_{C3}} = 100 \cdot \frac{26 \text{ mV}}{6 \text{ mA}} = 0,43 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow h_{21A} = \frac{-100 \cdot 101 \cdot 19 \text{ k}\Omega}{19 \text{ k}\Omega + 0,43 \text{ k}\Omega} = -9,9 \cdot 10^3 \Rightarrow \boxed{h_{21A} = -9,9 \cdot 10^3}$$

$$h_{22A} = \frac{i_2}{v_2} = \frac{1}{R_L} + \frac{\beta_Q + 1}{R_3 + r_{\pi 3}} = \frac{1}{22 \text{ k}\Omega} + \frac{101}{19 \text{ k}\Omega + 0,43 \text{ k}\Omega} = 5,7 \text{ mS} \Rightarrow \boxed{h_{22A} = 5,7 \text{ mS}}$$

- unidireccionalidad de β : $|h_{12\beta}| \ll |h_{21A}| \Leftrightarrow 0,11 \ll 9,9 \cdot 10^3 \checkmark$
- " de A : $|h_{12A}| \ll |h_{21A}| \Leftrightarrow 0 \ll 0,11 \checkmark$

$$\boxed{\beta = h_{12\beta} = 0,11 \text{ V/V}}$$



$$h_{11A'} = h_{11A} + h_{11\beta} = 9,5 \text{ k}\Omega + 0,89 \text{ k}\Omega = 10 \text{ k}\Omega$$

$$h_{21A'} = h_{21A} = -9,9 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

$$h_{12A'} = h_{12A} = 0 \text{ V/V}$$

$$h_{22A'} = h_{22A} + h_{22\beta} = 5,7 \text{ mS} + 0,11 \text{ mS} = 5,8 \text{ mS}$$

$$A = -\frac{h_{21A'}}{h_{11A'} \cdot h_{22A'}} = \frac{9,9 \cdot 10^3 \text{ V/V}}{10 \text{ k}\Omega \cdot 5,8 \text{ mS}} = 1,7 \cdot 10^2 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

$$\Rightarrow \boxed{A = 1,7 \cdot 10^2 \text{ V/V}}$$

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta} = \frac{1,7 \cdot 10^2 \text{ V/V}}{1 + 1,7 \cdot 10^2 \cdot 0,11} = 8,6 \text{ V/V} \Rightarrow \boxed{A_f = 8,6 \text{ V/V}}$$

$$c) R_{of}' = \frac{1}{h_{22A'}(1 + A\beta)} = \frac{1}{5,8 \text{ mS}(1 + 1,7 \cdot 10^2 \cdot 0,11)} = 8,8 \Omega$$

← incluye $R_L = 22 \text{ k}\Omega \gg 8,8 \Omega$
 \Rightarrow Sin R_L , R_{of}' da lo mismo en este caso.

$$R_{if}' = h_{11A'}(1 + A\beta) = 10 \text{ k}\Omega(1 + 1,7 \cdot 10^2 \cdot 0,11) = 0,20 \text{ M}\Omega$$