Centro Universitario de la Defensa Zaragoza

FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA

Examen Parcial (2015-2016)

Apellidos, Nombre:

Compañía: **Sección AGM:** **Grupo CUD:**

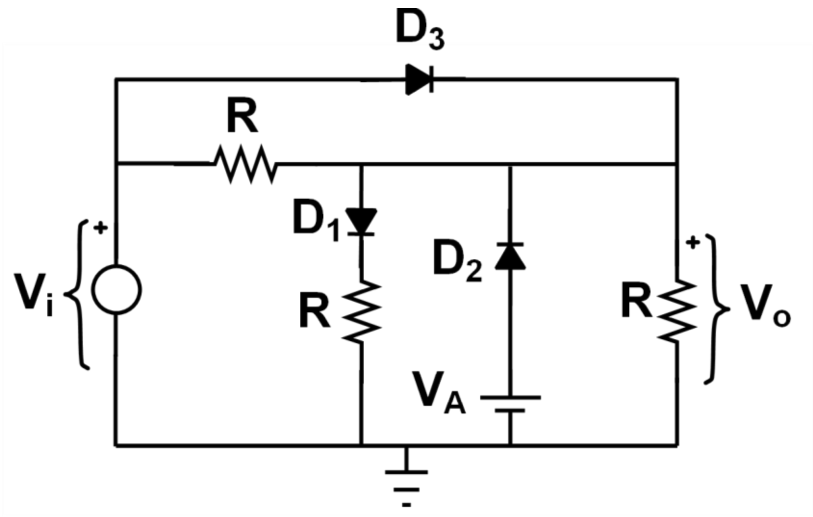
Fecha: 25/11/2015

- Rellene sus datos personales
- Esta hoja será grapada a los folios con las soluciones
- Comience cada ejercicio en cara nueva de folio
- Compruebe que tiene todas las cuestiones y ejercicios resueltos
- El examen deberá ser escrito a bolígrafo
- No usar bolígrafo rojo ni Tipp-Ex
- Se puede utilizar calculadora pero debe ser NO programable

Ejercicio 1	Cuestión 1	Ejercicio 2
/ 3	/ 2	/ 5
NOTA FINAL		

EJERCICIO 1 **(3 puntos)**

Dado el siguiente circuito basado en dos diodos y un diodo LED (D_3).



$V_A = 1$ V, $R = 1$ kΩ

a) Comprobar que los tres diodos pueden estar en corte simultáneamente.
b) Calcule el valor del voltaje V_0 para una V_i que varía entre $(-\infty, \infty)$.

Suponga que la tensión umbral de los diodos es $V_\gamma = 0.6$ V y la tensión umbral del LED es $V_\gamma = 2.5$ V.

CUESTIÓN 1 **(2 puntos)**

Dos bloques de material semiconductor basado en Germanio a temperatura 290 K se dopan con la misma concentración de impurezas $N_X = 7\ 10^{16}$ cm^{-3}, el bloque 1 con donadoras y el bloque 2 con aceptadoras.

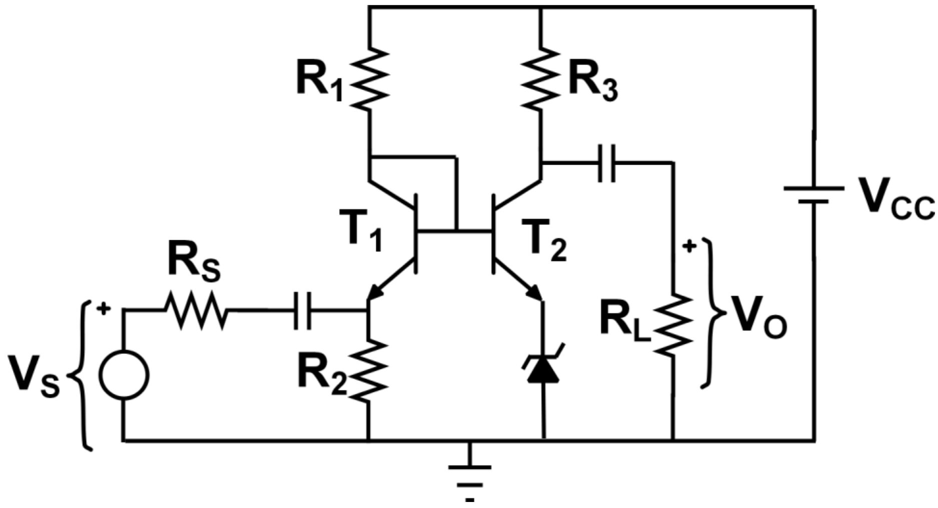
- Calcular la concentración de portadores y el nivel de Fermi en cada bloque.
- ¿Qué material debemos iluminar para que ambos bloques tengan la misma conductividad? Justifique la respuesta.
- Calcular la concentración de portadores del material iluminado una vez que ha conseguido la misma conductividad que el otro bloque.
- Mencione otro motivo por el cual, sin variar la concentración de impurezas de los materiales, ambos bloques pueden tener la misma conductividad y no nula.

Datos:

$N_C = 1.02\ 10^{19}$ cm^{-3}, $N_V = 5.64\ 10^{18}$ cm^{-3}, $E_g = 0.67$ eV
$\mu_n = 3900$ cm^2/(Vs), $\mu_p = 1820$ cm^2/(Vs), $q = 1.6\ 10^{-19}$ C, $k = 86.2\ 10^{-6}$ eV/K

EJERCICIO 2 **(5 puntos)**

Sea el siguiente circuito basado en dos transistores NPN y un diodo zener donde todos los condensadores son de desacoplo.



V_{CC} = 15 V, V_S fuente de tensión alterna
R_2 = 800 Ω, R_3 = 1 kΩ, R_S = 50 Ω, R_L = 3 kΩ
NPN: V_{BE} = 0.6 V si la unión BE está en directa, β = 200
Zener: V_γ = 0.7 V, intensidad máxima en directa 100 mA,
potencia máxima 600 mW, intensidad de ruptura mínima 3 mA

a) La medida experimental del voltaje que cae en la resistencias R_2 y R_3 es 5,6 V y 8 V, respectivamente. Calcular el punto de polarización de ambos transistores, el valor de la resistencia R_1 y el valor de la tensión en ruptura del diodo zener. Comprobar que el zener se encuentra entre los límites permitidos.

b) Representar el modelo de pequeña señal del circuito con y sin efecto Early.

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} \quad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \quad r_o = \frac{V_A}{I_{CQ}} \quad V_T = 25.8mV$$

c) Obtener la ganancia en tensión (A= V_0/V_S) máxima sin efecto Early.

d) Calcule, bajo las condiciones de ganancia máxima y sin efecto Early, la amplitud máxima de la señal V_S para la cual se alcanza el límite de aplicación del modelo de pequeña señal, definido por:

$$v_{be} < 10mV$$

e) Calcule la impedancia de salida con efecto Early (V_A = 18 V).

Ejercicio 1

a) Suponemos todos los diodos off.

Limites de conducción en la rama.

D1 $\quad V_O = V_{D_1} + IR$

$\quad$ Si $V_{D_1} < V_\gamma \Rightarrow I = 0$ $\Rightarrow$ $V_{D_1} = V_O < V_\gamma$ D_1 off

$\quad V_O \geq V_\gamma$ D_1 on

D2 $\quad V_A = V_{D_2} + V_O$

$\quad$ Si $V_{D_2} < V_\gamma \Rightarrow D_2$ off $\Rightarrow$ $V_{D_2} = V_A - V_O < V_\gamma$ D_2 off

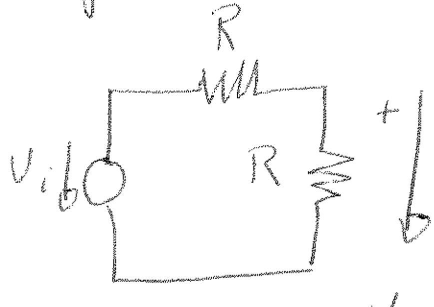
$\quad V_A - V_O \geq V_\gamma$ D_2 on

D3 $\quad V_i = V_{D_3} + V_O$

$\quad$ Si $V_{D_3} < V_{\gamma_L} \Rightarrow D_3$ off $\Rightarrow$ $V_{D_3} = V_i - V_O < V_{\gamma_L}$ D_3 off

$\quad V_i - V_O \geq V_{\gamma_L}$ D_3 on

Suponemos todos los diodos off



$V_O = IR \longrightarrow V_O = V_i - V_O$

$V_O = \dfrac{V_i}{2}$

$V_i = IR + V_O$

$I = \dfrac{V_i - V_O}{R}$

Comprobamos:

Si D_1 off $\Rightarrow$ $\left.\begin{array}{l} V_0 < V_\gamma \\ \text{como } V_0 = \frac{V_i}{2} \end{array}\right] \Rightarrow V_i < 2V_\gamma = 1{,}2V$

D_1 off

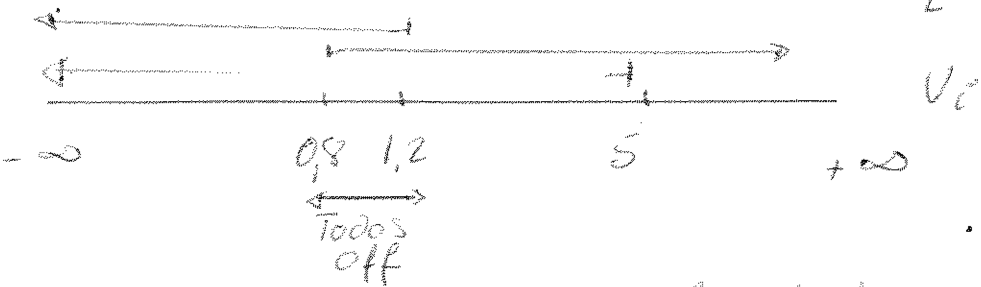
Si D_2 off $\Rightarrow$ $\left.\begin{array}{l} V_A - V_0 < V_\gamma \\ \text{como } V_0 = \frac{V_i}{2} \end{array}\right] \Rightarrow V_A - \frac{V_i}{2} < V_\gamma$

$V_i > 2(V_A - V_\gamma) = 0{,}8V$

D_2 off

Si D_3 off $\Rightarrow$ $\left.\begin{array}{l} V_i - V_0 < V_{\gamma_L} \\ \text{como } V_0 = \frac{V_i}{2} \end{array}\right] \Rightarrow V_i - \frac{V_i}{2} < V_{\gamma_L}$

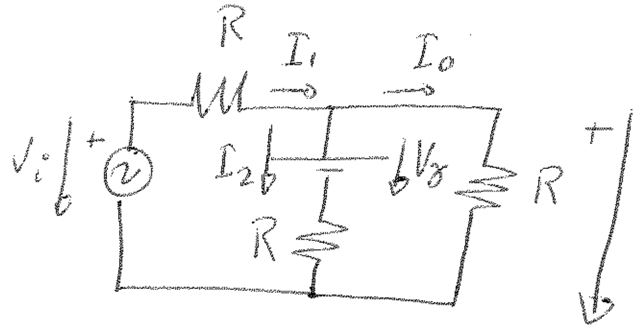
$V_i < 2V_{\gamma_L} = 5V$



Cuando $0{,}8V < V_i < 1{,}2V$ todos los diodos están en corte.

b) Para $0{,}8V < V_i < 1{,}2V \Rightarrow V_0 = \frac{V_i}{2}$

Si $V_i \geq 1{,}2V$ D_1 entra en conducción. Suponemos D_2, D_3 en corte.



$V_0 = I_0 R \Rightarrow I_0 = \frac{V_0}{R}$

$$I_1 = I_2 + I_0$$

$$V_i = I_1 R + V_0 \Rightarrow I_1 = \frac{V_i - V_0}{R}$$

$$V_0 = V_\gamma + I_2 R \Rightarrow I_2 = \frac{V_0 - V_\gamma}{R}$$

Como $I_1 = I_2 + I_0 \Rightarrow \frac{V_i - V_0}{\cancel{R}} = \frac{V_0 - V_\gamma}{\cancel{R}} + \frac{V_0}{\cancel{R}}$

$$V_0 = \frac{V_i + V_\gamma}{3}$$

Comprobamos

Si D_2 off $\Rightarrow V_A - V_0 < V_\gamma$

como $V_0 = \frac{V_i + V_\gamma}{3}$ $\Bigg] \Rightarrow V_A - \frac{V_i + V_\gamma}{3} < V_\gamma$

$$V_i > 3V_A - 4V_\gamma = 0{,}6V$$

$V_i > 0{,}6V$ para todo el intervalo $V_i \geq 1{,}2V$, por lo que el diodo D_2 está en corte en todo el intervalo.

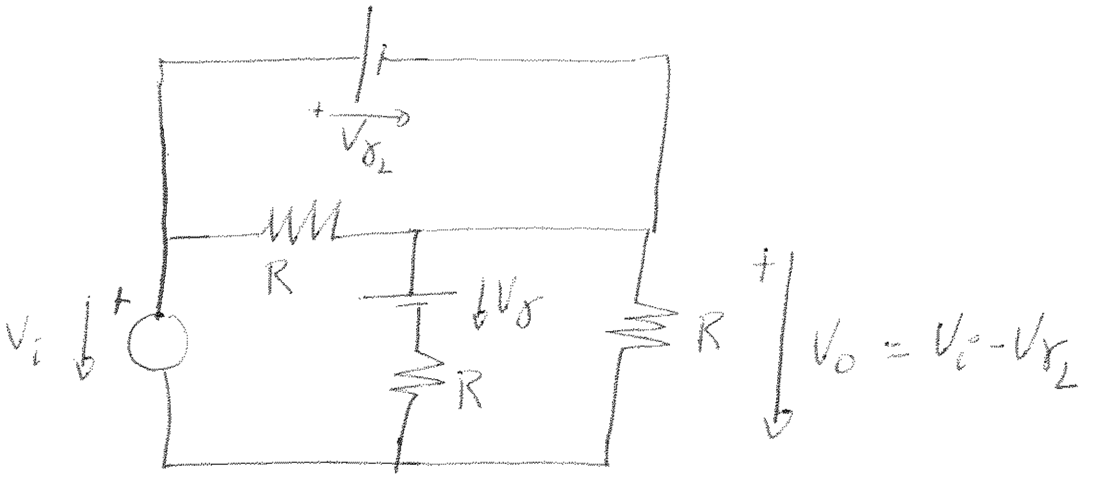
Si D_3 off $V_i - V_0 < V_{\gamma_2}$

como $V_0 = \dfrac{V_i + V_\gamma}{3}$ $\Big] \Rightarrow V_i - \dfrac{V_i + V_\gamma}{3} < V_{\gamma_2}$

$$V_i < \frac{3}{2} V_{\gamma_2} + \frac{V_\gamma}{2} = 4{,}05V$$

El diodo D_3 entra en conducción, en el intervalo $V_i \geq 1{,}2V$, cuando $V_i \geq 4{,}05V$

Si $V_i \geq 4{,}05V$ D_1 y D_3 on. Suponemos D_2 off.



Comprobamos

Si D_2 off $V_A - V_0 < V_\gamma$

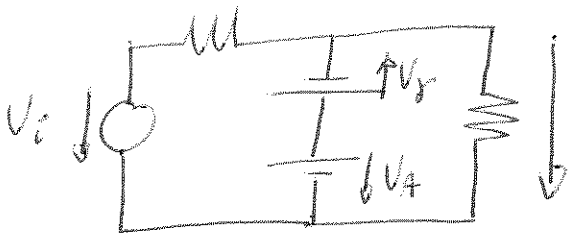
como $V_0 = V_i - V_{\gamma_2}$ $\Big] \Rightarrow V_A - V_i + V_{\gamma_2} < V_\gamma$

$$V_i > V_A + V_{\gamma_2} - V_\gamma = 2{,}9$$

ok

$V_i > 2{,}9$ en todo el intervalo
$V_i \geq 4.05$, por lo que el D_2 no entra en conducción en este intervalo.

Si $V_i \leq 0,8V$ el D_2 entra en conducción Suponemos D_1 y D_3 en corte.



$V_o = V_4 - V_\gamma = 0,4\,V$

Comprobamos

Si D_1 off $V_o < V_\gamma$
Como $V_o = 0,4V$ $\Rightarrow$ $0,4 < 0,6\,V$ ok.

Para todo el intervalo D_1 está en corte

Si D_3 off $V_i - V_o < V_{\gamma_2}$
Como $V_o = 0,4V$ $\Rightarrow$ $V_i - 0,4 < V_{\gamma_2}$

$V_i < V_{\gamma_2} + 0,4 = 2,9\,V$

Para todo el intervalo D_3 está en corte.

CUESTIÓN 1

$$n_i = \sqrt{N_c N_v}\, e^{-\frac{E_g}{2KT}} \simeq 1'15 \cdot 10^{13}\ cm^{-3}$$

a) Bloque 1 : $N_D = 7 \cdot 10^{16}\ cm^{-3}$

como $N_D \gg n_i$ $\begin{cases} n_0 \simeq N_D = 7 \cdot 10^{16}\ cm^{-3} \\ p_0 \simeq \dfrac{n_i^2}{N_D} = 1'88 \cdot 10^{9}\ cm^{-3} \end{cases}$

$$E_F = E_i + KT \ln \frac{n_0}{n_i} = 0'553\ eV$$

Bloque 2 : $N_A = 7 \cdot 10^{16}\ cm^{-3}$

como $N_A \gg n_i$ $\begin{cases} p_0 \simeq N_A = 7 \cdot 10^{16}\ cm^{-3} \\ n_0 \simeq \dfrac{n_i^2}{N_D} = 1'88 \cdot 10^{9}\ cm^{-3} \end{cases}$

$$E_F = E_i + KT \ln \frac{n_0}{n_i} = 0'117\ eV$$

b) Bloque 1 : $\sigma_1 \simeq q \mu_n N_x$

Bloque 2 : $\sigma_2 \simeq q \mu_p N_x$

$\mu_n > \mu_p \longrightarrow \sigma_1 > \sigma_2$

sin luz : $\begin{cases} n_0 \\ p_0 \end{cases}$ $\sigma = q(\mu_n n_0 + \mu_p p_0)$

con luz : $\begin{cases} n = n_0 + x \\ p = p_0 + x \end{cases}$ $\sigma' = q(\mu_n n + \mu_p p)$

Con luz aumenta la conductividad $\sigma' > \sigma$

Por lo tanto, iluminamos el bloque 2 para que $\sigma_2' = \sigma_1$

c) Bloque 2 iluminado $\begin{cases} n = n_0 + x = \dfrac{n_i^2}{N_x} + x \simeq x \\ p = p_0 + x = N_x + x \end{cases}$ $\sigma_2' = q \mu_n x + \mu_p (N_x + x)$

$$\sigma_2' = \sigma_1 \longrightarrow \mu_n x + \mu_p (N_x + x) = \mu_n N_x \longrightarrow$$

$$\longrightarrow x = \frac{\mu_n N_x - \mu_p N_x}{\mu_n + \mu_p} = 2'55 \cdot 10^{16}\ cm^{-3}$$

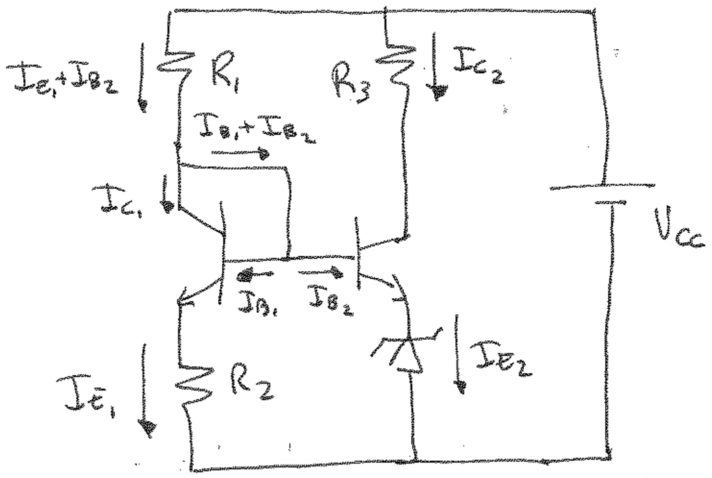
$$\Rightarrow \begin{cases} n \simeq 2'55 \cdot 10^{16}\ cm^{-3} \\ p \simeq 9'55 \cdot 10^{16}\ cm^{-3} \end{cases}$$

d) Aumentar la temperatura también provoca un aumento de conductividad. En materiales extrínsecos la conductividad es aprox. constante si $N_x >> n_i$ y tiende a incrementarse cuando no se cumple esa condición.

Por lo tanto, habría que aumentar la Tª del bloque 2.

EJERCICIO 2

a) Circuito en DC



$U_{R_2} = 5'6V \rightarrow I_{E_1} = \frac{U_{R_2}}{R_2} = 7mA$

$U_{R_3} = 8V \rightarrow I_{C_2} = \frac{U_{R_3}}{R_3} = 8mA$

supongo activa para T_1 y T_2

$I_{E_1} \begin{cases} I_{B_1} = 34'8\mu A \\ I_{C_1} = 6'965 mA \end{cases}$ $\quad I_{C_2} \begin{cases} I_{B_2} = 40\mu A \\ I_{E_2} = 8'04 mA \end{cases}$

Zener en ruptura porque $I_{E_2} > 0 \rightarrow U_{BE} + U_{R_2} = U_{BE} + U_Z \rightarrow U_Z = 5'6V$

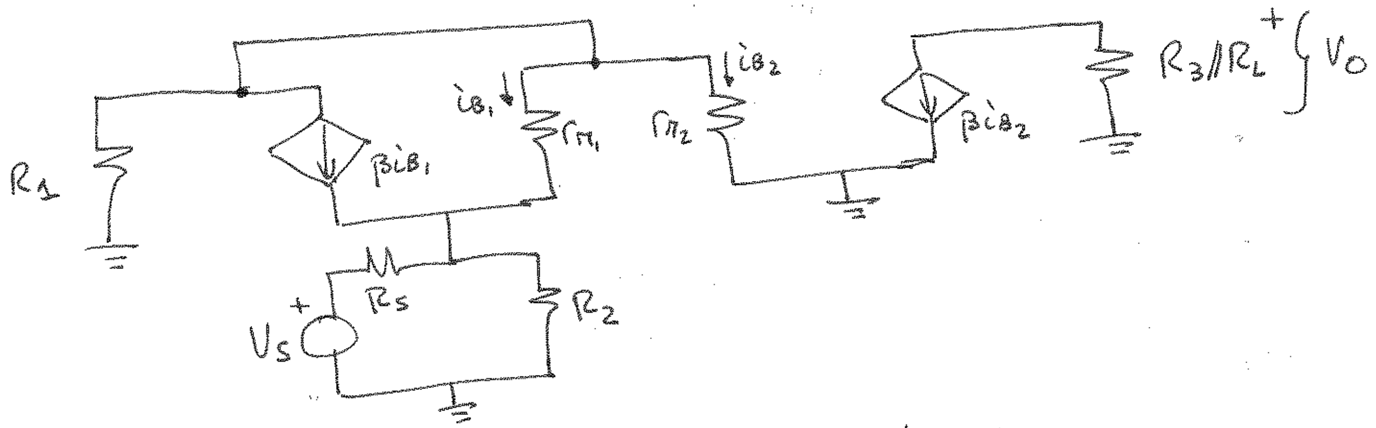
Malla para R1 $\rightarrow V_{CC} = R_1(I_{E_1} + I_{B_2}) + U_{BE} + V_Z \rightarrow R_1 = 1'25 K\Omega$

Malla CE 1 $\rightarrow U_{CE_1} = U_{BE} = 0'6V > 0'2V$ OK T1 ACTIVA

Malla CE 2 $\rightarrow U_{CE_2} = U_{CC} - U_{R_3} - U_Z = 1'4V > 0'2V$ OK T2 ACTIVA

$I_Z = I_{E_2} = 8'04mA \begin{cases} > I_{Z,min} = 3mA \\ < I_{Z,MAX} = \frac{P_{MAX}}{U_Z} = 107'1mA \end{cases}$

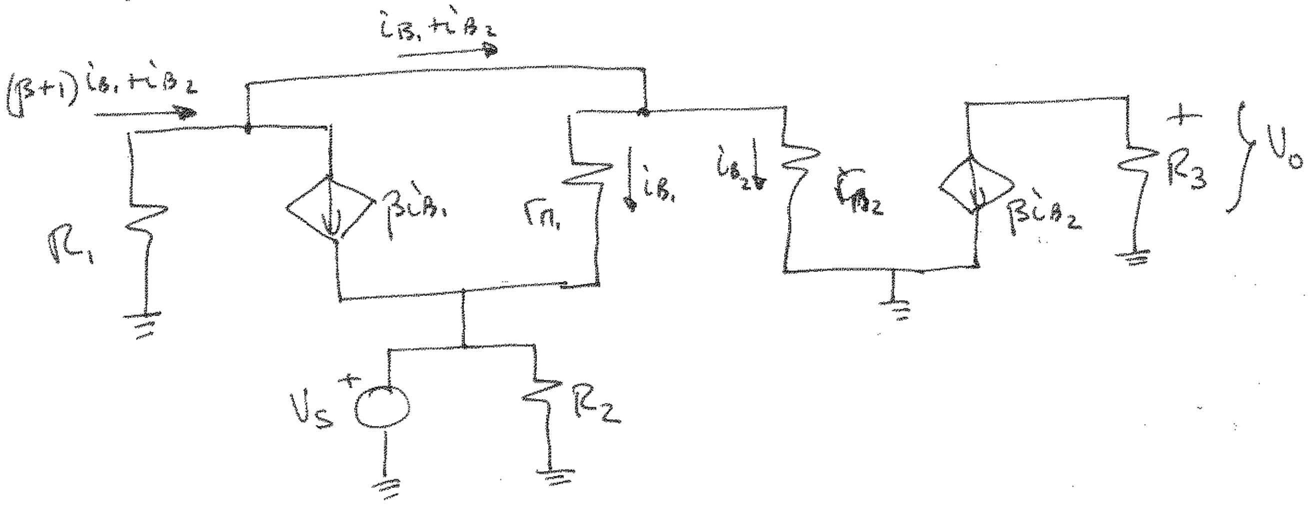
b) sin efecto Early



$g_{m1} = 269'96 \; mA/V \quad r_{\pi 1} = 740'85\Omega$

$g_{m2} = 310'08 \; mA/V \quad r_{\pi 2} = 645 \Omega$

c) Ganancia máxima para $R_S = 0$, $R_L = \infty$



$$V_o = -\beta i_{B_2} R_3$$

$$\left[(\beta+1) i_{B_1} + i_{B_2}\right] R_1 + i_{B_2} r_{\pi_2} = 0 \rightarrow i_{B_1} = \frac{-i_{B_2}(R_1 + r_{\pi_2})}{(\beta+1) R_1} \circledast$$

$$V_s + i_{B_1} r_{\pi_1} = i_{B_2} r_{\pi_2} \longrightarrow V_s = i_{B_2}\left[r_{\pi_2} + r_{\pi_1}\frac{(R_1 + r_{\pi_2})}{(\beta+1) R_1}\right] \circledast\circledast$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_s} = \frac{-\beta R_3}{r_{\pi_2} + r_{\pi_1}\dfrac{(R_1 + r_{\pi_2})}{(\beta+1) R_1}} = -307'4$$

d) $\circledast$ $i_{B_1} = \dfrac{-i_{B_2}(R_1 + r_{\pi_2})}{(\beta+1) R_1} \longrightarrow \dfrac{V_{be_1}}{r_{\pi_1}} = \dfrac{-\dfrac{V_{be_2}}{r_{\pi_2}}(R_1 + r_{\pi_2})}{(\beta+1) R_1} \longrightarrow$

$$\longrightarrow \frac{V_{be_1}}{V_{be_2}} = \frac{-r_{\pi_1}(R_1 + r_{\pi_2})}{r_{\pi_2}(\beta+1) R_1} = -0'0087$$

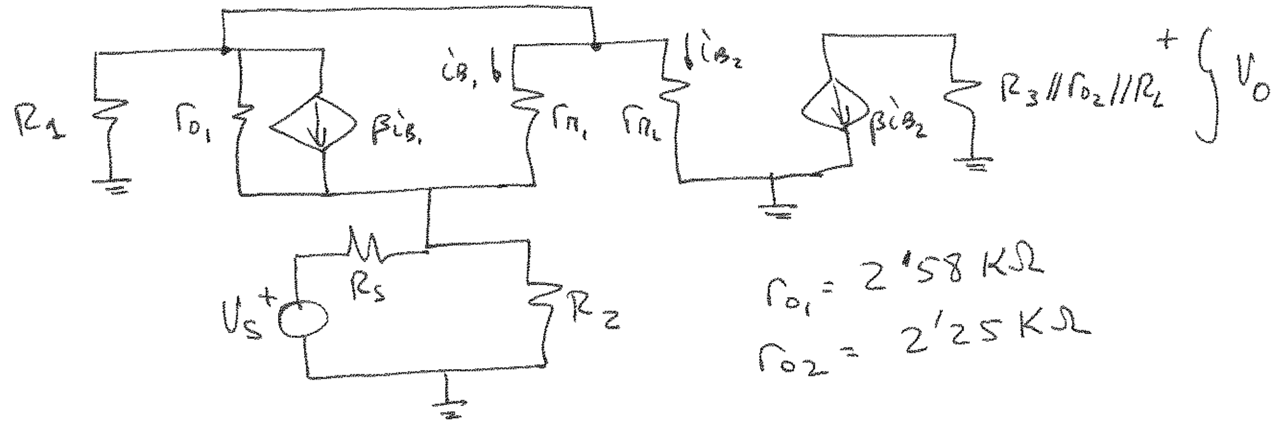
→ la amplitud de V_{be_1} < la amplitud de V_{be_2}

→ impongo el límite a V_{be_2}.

$$\circledast\circledast \quad V_s = \frac{V_{be_2}}{r_{\pi_2}}\left[r_{\pi_2} + \frac{r_{\pi_1}(R_1 + r_{\pi_2})}{(\beta+1) R_1}\right]$$

Si $V_{be_2} < 10\,mV \longrightarrow V_s < 10'087\,mV$

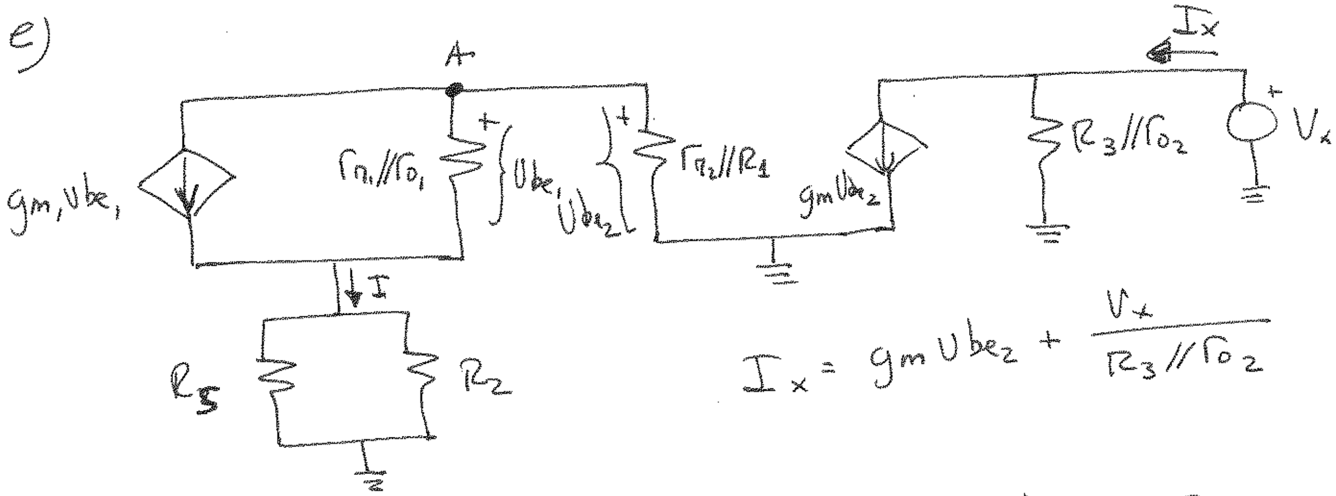
b) con efecto Early



$r_{o1} = 2'58\ K\Omega$

$r_{o2} = 2'25\ K\Omega$

e)



$$I_x = g_m v_{be2} + \frac{V_x}{R_3//r_{o2}}$$

$\boxed{\text{NUDO A}}$ $$g_m v_{be1} + \frac{v_{be1}}{r_{\pi1}//r_{o1}} + \frac{v_{be2}}{r_{\pi2}//R_1} = 0 \longrightarrow v_{be1} = 0 \rightarrow v_{be2} = 0$$

$\boxed{\text{MALLA}}$ $$v_{be1} + \underbrace{\left(g_{m1} v_{be1} + \frac{v_{be1}}{r_{\pi1}//r_{o1}}\right)}_{I} R_2//R_S = v_{be2}$$

$$\Rightarrow I_x = \frac{V_x}{R_3//r_{o2}} \longrightarrow R_{OUT} = \frac{V_x}{I_x} = R_3//r_{o2} = 692'3\ \Omega$$