

EXAMEN DE ELECTRONICA 1
17/12/2010

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

La prueba es sin material.

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

PROBLEMA 1 (40 puntos)

El circuito de la figura se utiliza para medir el β de un transistor bipolar (DUT = Device Under Test = dispositivo bajo prueba). Dado que el valor de este parámetro puede variar si se trata de corriente continua o señal, el circuito es capaz de calcular ambas ganancias de corriente β_{DC} y β_{AC} .

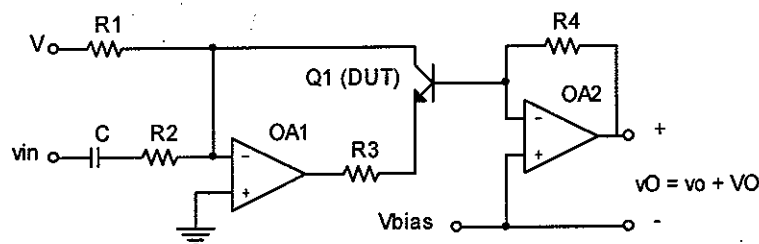
- Para el transistor de la figura (Q1) calcule la ganancia en corriente tanto en continua β_{DC} como en banda pasante β_{AC} , en función de las resistencias y tensiones del circuito. Para las tensiones de entrada y salida se usó la notación estándar, definida en el curso, con letras mayúsculas y minúsculas para indicar componentes DC, AC y tensión total. V_{bias} es una tensión continua negativa, de valor adecuado para que Q1 opere en zona activa.
- Calcule el error obtenido (en el peor caso) en la tensión de salida (V_O) en función de las corrientes de polarización y la tensión de offset de los operacionales. Asuma que las corrientes de polarización son salientes al operacional.
- Calcule cuál es la frecuencia máxima de la señal de entrada v_{in} para que la medición se haga correctamente.

Datos:

OA1: $I_{OFF1}, I_{BIAS1}, V_{OFF1}, f_T = \infty$

OA2: $I_{OFF2}, I_{BIAS2}, V_{OFF2}, f_T$ (finito)

$C = \infty$



PROBLEMA 2 (40 puntos)

Para el circuito de la Figura 1 se pide:

- Determinar la corriente DC por los transistores
- Calcular la ganancia a baja frecuencias A_0 , la frecuencia de ganancia unitaria f_T y la resistencia de entrada diferencial R_{in} .
- Calcular el rango de entrada en modo común ICMR
- Completar la Tabla 1 indicando en cada caso si la ganancia en modo común (A_C) es 0 ó distinta de 0, según si la fuente de corriente I_o es ideal ($R_{out} = \infty$) o no ($R_{out} \neq \infty$) y si los transistores Q_5 y Q_6 están perfectamente apareados ($Q_5 \equiv Q_6$) o no ($Q_5 \neq Q_6$). El resto de los transistores se considerará perfectamente apareados. Justifique su respuesta en el caso 2.

Datos:

- $\beta = 100$, $V_{BE} = V_{EB} = 0.7$ V, $V_{CESAT} = V_{ECSAT} = 0.3$ V, Tensión de Early $V_A = \infty$
- $V_{CC} = -V_{EE} = 10$ V, $I_o = 10$ μ A, Tensión mínima de operación de I_o : $V_{IOMIN} = 0.5$ V
- $C_L = 1.5$ nF, $R_L = 47$ k Ω

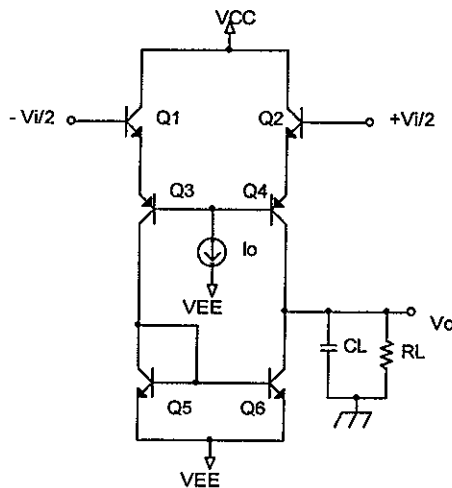


Figura 1

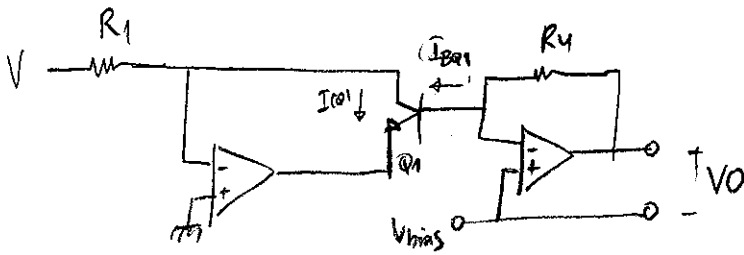
Caso	Q5, Q6	Fuente I_o	A_C
1	$Q_5 \equiv Q_6$	Ideal	
2	$Q_5 \neq Q_6$	Ideal	
3	$Q_5 \neq Q_6$	Real	

Tabla 1

PREGUNTA (20 puntos)

- Comparar una compuerta CMOS y una compuerta TTL en los siguientes aspectos, fundamentando en todos los casos las respuestas:
 - Consumo estático con las entradas a tierra o fuente.
 - Variación del nivel lógico a la salida con el número de compuertas conectadas a la salida.
 - Niveles lógicos a la salida sin carga (indicar los valores en cada caso, fundamentando).
- Calcular la corriente por la entrada de un inversor TTL cuando dicha entrada está a tierra y cuando dicha entrada está a la fuente de alimentación.

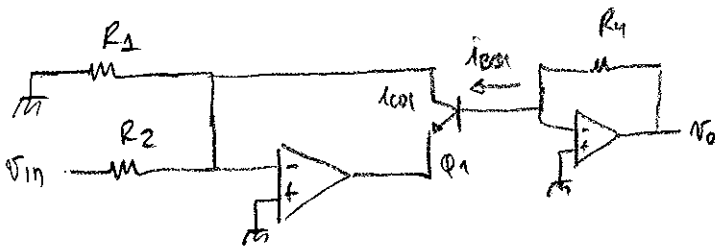
a) Analysis DC:



$$\left. \begin{aligned} \frac{V-0}{R_1} &= I_{CQ1} \\ I_{CQ1} &= \beta_{DC} I_{BQ1} \\ \frac{V_0}{R_4} &= I_{BQ1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{V}{R_1} = \beta_{DC} \frac{V_0}{R_4} \Rightarrow \boxed{\beta_{DC} = \frac{R_4 V}{R_1 V_0}}$$

Analysis Ac:

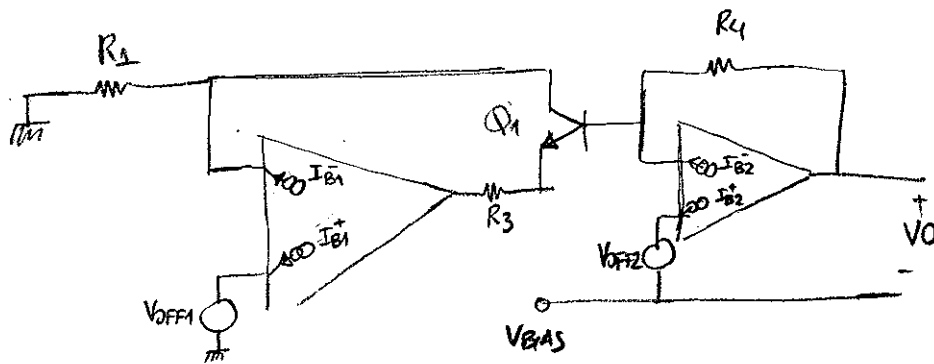


$$\left. \begin{aligned} \frac{V_{in}}{R_2} &= I_{CQ1} \\ I_{CQ1} &= \beta_{AC} I_{BQ1} \\ \frac{V_0}{R_4} &= I_{BQ1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\beta_{AC} = \frac{R_4 \cdot V_{in}}{R_2 \cdot V_0}}$$

+

(b)



Aplica superposición y calcula el aporte a la salida de cada fuente.

- I_{B2}^+ y I_{B1}^+ no aporten nada a la salida. $\Rightarrow V_O = 0$

- V_{OFF1} :

$$-\frac{V_{OFF1}}{R_1} = I_{CQ1} = \beta_{ac} I_{BQ1} = \beta \frac{V_O}{R_4} \Rightarrow V_O = \frac{-R_4}{\beta R_1} V_{OFF1}$$

- V_{OFF2} : $V_O = V_{OFF2}$

$$-I_{B1}^-: I_{B1}^- = I_{CQ1} = \beta_{ac} I_{BQ1} = \beta \frac{V_O}{R_4} \Rightarrow V_O = \frac{R_4 I_{B1}^-}{\beta_{ac}}$$

- I_{B2}^- : $V_O = -R_4 I_{B2}^-$

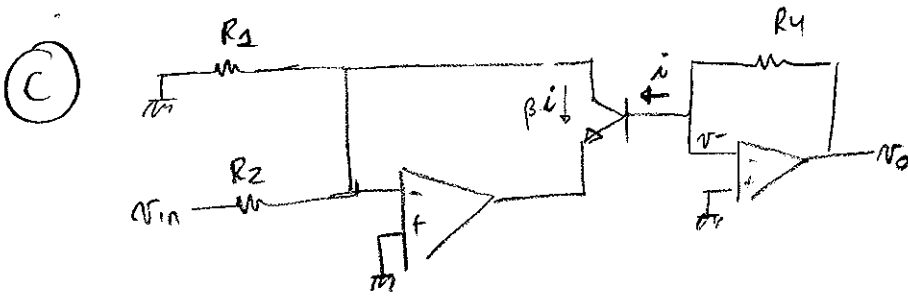
El peor caso se da si todos los aportes van con el mismo signo:

$$V_O = \frac{-R_4}{\beta_{ac} R_1} V_{OFF1} - V_{OFF2} + \frac{R_4 I_{B1}^-}{\beta_{ac}} - R_4 I_{B2}^- \Rightarrow V_O = -(V_{OFF2} + R_4 I_{B2}^-) \Rightarrow$$

si $\beta_{ac} \gg 1$

$$\Rightarrow V_O = -(V_{OFF2} + R_4 (I_{OS2} + I_{BIAS2}))$$

[Handwritten signature]



$$\bullet \frac{V_{in}}{R_2} = \beta_{ac} i \Rightarrow \frac{i}{V_{in}} = \frac{1}{\beta_{ac} R_2} \quad (*)$$

$$\bullet V_0 = A(s) \cdot (v^+ - v^-) = -A(s) v^- \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \Rightarrow V_0 = -A(s) \cdot (V_0 - R_4 i) \Rightarrow$$

$$\frac{V_0 - v^-}{R_4} = i \Rightarrow v^- = V_0 - R_4 i$$

$$\Rightarrow V_0 (1 + A(s)) = A(s) \cdot R_4 i \Rightarrow \frac{V_0}{i} = \frac{R_4 A(s)}{1 + A(s)} \quad \begin{array}{l} (*) \\ \Rightarrow \frac{V_0}{V_{in}} = \frac{R_4}{\beta_{ac} R_2} \cdot \frac{A(s)}{1 + A(s)} \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$A(s) = \frac{A_0}{1 + s/\omega_p}$$

$$\Rightarrow \frac{V_0}{V_{in}} = \frac{R_4}{\beta_{ac} R_2} \cdot \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_p} + A_0} \quad \begin{array}{l} A_0 \gg 1 \\ \downarrow \\ \approx \frac{R_4}{\beta_{ac} R_2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{s}{A_0 \omega_p}} \end{array}$$

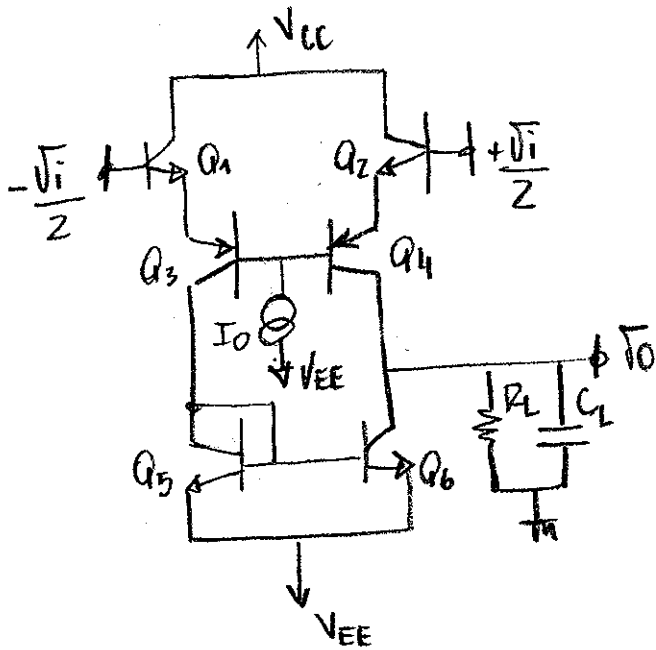
$$\omega_T = A_0 \omega_p \quad \downarrow \quad \Rightarrow \boxed{\frac{V_0}{V_{in}} = \frac{R_4}{\beta_{ac} R_2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_T}}}$$

La frecuencia máxima de la señal de entrada vin es:

$$\boxed{f_{max} = f_T}$$

J.

Problema 2



(a) Analisis DC

$$I_{B3} = I_{B4} = \frac{I_0}{2} \rightarrow I_{C3} = I_{C4} = \beta \frac{I_0}{2}$$

todas las corrientes de colector son iguales $\rightarrow I_C = \frac{\beta I_0}{2} = 500 \mu A$

$$(b) \rightarrow g_m = \frac{I_C}{V_T} = 19 \text{ mS}$$

con entrada diferencial la base de Q3, es tierra en señal \rightarrow modo de pequeña señal

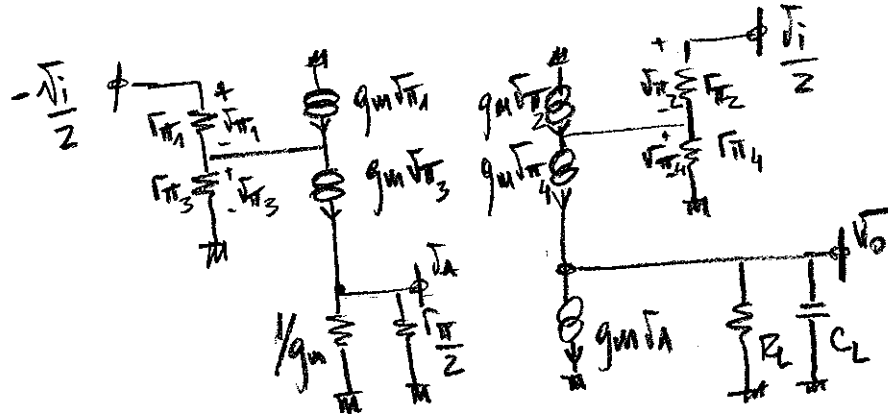
- $\beta = 100, V_{BE} = V_{EB} = 0,7V$
- $V_{CESAT} = V_{ECSAT} = 0,3V, V_A = \infty$

- $V_{CC} = -V_{EE} = 10V$

- $I_0 = 10 \mu A, V_{IOMIN} = 0,5V$

- $C_L = 1,5 \text{ nA}$

- $R_L = 47 \text{ k}\Omega$



$$-V_o = R_L (g_m \frac{V_i}{4} - g_m I_A)$$

$$V_A = \left(\frac{1}{g_m} \parallel \frac{R_T}{2} \right) - g_m \frac{V_i}{4} \approx -\frac{V_i}{4}$$

$$\Rightarrow A_o = \frac{g_m R_L}{2}$$

$$\boxed{A_o = 446 \text{ V/V}}$$

$$-f_T = A_o f_{3dB} = \frac{g_m R_L}{2} \cdot \frac{1}{2\pi R_L C_L}$$

$$\Rightarrow f_T = \frac{g_m/2}{2\pi C_L} \rightarrow \boxed{f_T = 1 \text{ MHz}}$$

$$-R_{DIF} = 4R_T \rightarrow \boxed{R_{DIF} = 21 \text{ k}}$$

(c) $V_{CM MIN} > V_{EE} + V_{IOMIN} + 2V_{BE} = -8,1V$
 $V_{CM MIN} > V_{EE} + V_{CESAT} + 2V_{BE} = -8,3V$

es la mas restrictiva $\rightarrow I_{CM} = (-8,1V; 10,4V)$

$$V_{CM MAX} < V_{CC} - V_{CESAT} + V_{BE} = 10,4V$$

(d) (1) $Q_5 = Q_6, I_0 \text{ ideal} \Rightarrow \boxed{A_{cm} = 0}$

(2) $Q_5 \neq Q_6, I_0 \text{ ideal} \Rightarrow$ como I_0 es ideal no circula corriente en señal por las ramas de transistores por lo que aunque haya error en la copia, no va a haber señal a la salida.

(3) $Q_5 \neq Q_6, I_0 \text{ REAL} \Rightarrow \boxed{A_{cm} \neq 0}$

$\rightarrow A_{cm} = 0$