

EXAMEN DE ELECTRONICA 1
11/02/16

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

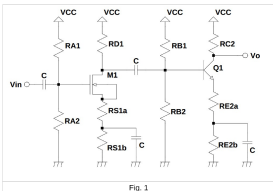
La prueba es **sin** material.

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

PROBLEMA 1 (40 puntos)

Para el amplificador de dos etapas de la Fig. 1 calcule

- La corriente de polarización de los transistores M1 y Q1.
- La ganancia V_o/V_{in} en banda pasante.
- La resistencia de entrada R_{in} del circuito.
- La excursión de salida, asumiendo que la misma está limitada por la segunda etapa.



Datos:

M1: $\beta = 1\text{mA/V}^2$, $\delta = 0$, $V_{tp} = 1\text{V}$.

Q1: $\beta = 100$, $V_{be(sat)} = 0.7\text{V}$, $V_{CE(sat)} = 0.3\text{V}$.

Resistencias: $R_{A1} = 12\text{k}\Omega$; $R_{A2} = 5.6\text{k}\Omega$; $R_{D1} = 5.6\text{k}\Omega$; $R_{S1a} = 5000\Omega$; $R_{S1b} = 1\text{k}\Omega$;

$R_{B1} = 68\text{k}\Omega$; $R_{B2} = 27\text{k}\Omega$; $R_{C2} = 47\text{k}\Omega$; $R_{E2a} = 4.7\text{k}\Omega$; $R_{E2b} = 27\text{k}\Omega$;

Tensión de alimentación $V_{cc} = 15\text{V}$.

Los condensadores pueden considerarse de valor infinito.

PROBLEMA 2 (40 puntos)

El optocoplador HCNR201 está especialmente diseñado para aislar galvánicamente señales analógicas. Para ello cuenta con un LED y dos fotodiodos PD1 y PD2 como se indica en la Fig. 1.

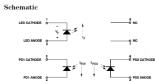


Fig. 1

El dispositivo está diseñado de modo que ambos fotodiodos reciban aproximadamente la misma intensidad luminica (por tanto se supondrá que $I_{PD1} = I_{PD2}$). Por otro lado se sabe que por construcción del optocoplador y los componentes que lo componen $I_{PD1} = I_{PD2} = K \cdot I_{LED}$, con $K = 5e-3$.

Al ser $I_{PD1} = I_{PD2}$, el principio de uso del optocoplador es el siguiente: usar el fotodiodo PD1 (que está del lado NO aislado, es decir del lado del LED) para fijar, por un lazo de realimentación la corriente por el LED de modo que en PD1 se tenga la corriente deseada, vinculada a la señal de entrada. Luego esta corriente es replicada en PD2 del lado aislado y a partir de ella se obtiene la señal aislada de salida. Para esto se utiliza el circuito de la Fig. 2.

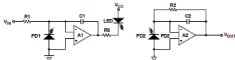


Fig. 2

Datos:

$V_{CC} = 5V$, $R_1 = 20k\Omega$, $R_3 = 330\Omega$, $R_2 = 80k\Omega$, tensión directa en el LED se asumirá constante para todo el rango de corriente de operación resultante de los datos del problema e igual a 1.4V.

En el circuito de la Fig. 2 se supone que V_{IN} es una señal continua, cuyo valor puede variar en todo el rango entre 0.1V y 1V. Asumir A1 y A2 son ideales salvo donde se indique lo contrario. Se pide:

- Determinar en que rango varía V_{OUT} , cuando V_{IN} varía entre 0.1V y 1V.
- Si A1 y A2 son operacionales reales, indicar para cada uno de ellos en qué rango debe poder excursionar su salida para que el circuito funcione correctamente. En caso que se utilice para ambos el mismo modelo de amplificador de operacional, qué rango de excursión de salida debe tener el modelo elegido.

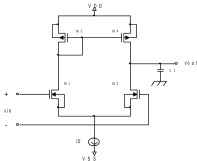
- c) ¿Qué condición debe cumplir el rango de entrada de modo común de A1 y A2 para que el circuito funcione correctamente?
- d) Si A1 y A2 tienen tensión de offset máxima $V_{offset}=10\text{mV}$, corriente de polarización gate máxima $I_{bias}=1\mu\text{A}$ y corriente de offset máxima $I_{offset}=200\text{nA}$, determinar cuál es el máximo rango en que puede variar VOUT en el peor caso cuando VIN varía entre 0.1 V y 1V. Se supondrá que el comportamiento de PD1 y PD2 no cambia al cambiar la tensión que tienen aplicada.
- e) Si a la salida VOUT se conecta una compuerta lógica cuyos parámetros V_{IH} , V_{IL} , V_{OH} y V_{OL} . ¿Qué se debe imponer a estos parámetros para asegurar que cuando $V_{IN} = 0.1\text{V}$ la compuerta lógica reconozca un 0 con margen de ruido de 0.5V y cuando $V_{IN}=1\text{V}$ la compuerta lógica reconozca un 1 con margen de ruido de 0.5V? Para esta parte se considerarán nuevamente A1 y A2 ideales.

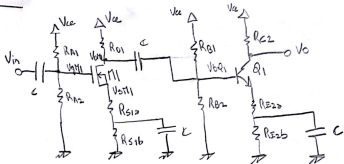
PREGUNTA (20 puntos)

Para el circuito de la Figura determinar en función de la corriente de polarización I_b :

- La frecuencia de transición f_t .
- El Slew Rate.
- ¿Cuál es la máxima amplitud de pico que puede tener una señal sinusoidal de frecuencia f_t a la entrada para que no sea distorsionada por el slew rate?
- El rango de entrada en modo común si la fuente de corriente para operar correctamente precisa una tensión mínima en bornes de V_{min} .

DATOS: Los transistores nMOS y pMOS tienen igual β e igual tensión umbral V_{th} (en valor absoluto $V_{th} = V_{thn} = |V_{thp}|$)





$$\textcircled{2} \quad V_{G1} = \frac{R_{B2}}{R_{B2} + R_{B1}} \cdot V_{CC} ; \quad V_{S1} = I_{D1} \cdot (R_{S1a} + R_{S1b})$$

$$I_0 = \frac{\beta n}{2(1+\beta)} (V_{G1} - V_{BE1} - V_{to})^2 = \frac{V_{S1}}{R_{S1a} + R_{S1b}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0 = \underbrace{1}_{a} V_{S1}^2 - 2 \underbrace{\left[\frac{(1+\beta)}{\beta n (R_{S1a} + R_{S1b})} + (V_{G1} - V_{to}) \right]}_b V_{S1} + \underbrace{(V_{G1} - V_{to})^2}_c$$

$$V_{S1} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \rightarrow \left. \begin{array}{l} V_{S1} = 2,1 \text{ V} \\ V_{S1} = 6,8 \text{ V} \end{array} \right\} \Rightarrow V_{S1} = 2,1 \text{ V}$$

($V_{G1} = 4,8 \text{ V}$)

$$\Rightarrow I_{D1} = \frac{V_{S1}}{R_{S1a} + R_{S1b}} = 1,4 \text{ mA}$$

$$V_{BQ1} = \frac{R_{B2}}{R_{B2} + R_{B1}} V_{CC}$$

$$\text{mla: } \frac{I_{CQ1}}{\beta_{Q1}} \ll \frac{V_{CC}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad \checkmark$$

2

$$I_{CQ1} = \frac{V_{BQ1} - V_{BE(on)}}{R_{E2a} + R_{E2b}} \Rightarrow I_{CQ1} = 112 \mu\text{A}$$

$$\textcircled{b} \quad g_{mT1} = \sqrt{\frac{2\beta I_{D1}}{1+s}}; \quad g_{mQ1} = \frac{I_{CQ1}}{V_T}; \quad r_{\pi Q1} = \frac{\beta V_T}{I_{CQ1}}$$

$$R_{\text{teq}} = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel R_{E2} \parallel [r_{\pi Q1} + \beta (R_{E2a} + R_{E2b})]$$

$$\text{Ganancia primer etapa } \frac{V_{o1}}{V_{i1}} = \frac{-g_{mT1} \cdot R_{\text{teq}}}{g_{mT1} \cdot R_{S1a} + 1} = -4 \text{ V/V}$$

$$\text{" segunda " } \frac{V_o}{V_{i2}} = \frac{-g_{mQ1} R_{E2}}{g_{mQ1} R_{E2a} + 1} = -9,53 \text{ V/V}$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_{i1}} = 38 \text{ V/V}$$

$$\textcircled{c} \quad R_{in} = R_{B1} \parallel R_{B2} = 3,8 \text{ k}\Omega$$

*) Excursion premier étape

$$N_{OH1(max)} = \min \left\{ V_{ce} - V_{OH1}, \frac{V_{OH1} - V_{SH1} - V_{OSsat}}{1 + 1/A_{premier\text{-}etape}} \right\}$$

$$\text{donc } V_{OSsat} = \frac{(V_{SH1} - V_{SH1} - V_{to})}{1 + \delta}, \quad A_{premier\text{-}etape} = \frac{N_{OH1}}{N_{SH1}}$$

*) Excursion seconde étape

$$N_{Op(max)} = \min \left\{ V_{ce} - V_{ce1}, \frac{V_{ce1} - V_{ceq1} - V_{ce sat}}{1 + 1/A_{seconde\text{-}etape}} \right\}$$

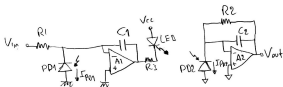
$$A_{seconde\text{-}etape} = \frac{N_{Op}}{N_{ce1}}$$

*) Excursion des étapes =

$$= \min \left\{ N_{Op(max)}, N_{OH1(max)} \cdot A_{seconde\text{-}etape} \right\} \Rightarrow$$

$$N_{Op(max)} = 5,3 \text{ V}$$

(des étapes)



$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned}
 I_{PD1} &= \frac{V_{in}}{R_1} \\
 V_{out} &= R_2 I_{PD2} \\
 I_{PD1} &= I_{PD2}
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_{in}}{R_1} = \frac{V_{out}}{R_2} \Rightarrow \boxed{V_{out} = \frac{R_2}{R_1} V_{in}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned}
 V_{out}^{max} &= \frac{R_2}{R_1} V_{in}^{max} \\
 V_{out}^{min} &= \frac{R_2}{R_1} V_{in}^{min}
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \boxed{V_{out} \in [9,4V; 4V]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned}
 A1: V_{OA1} &= V_{CC} - V_{LED} - R_3 I_F \\
 I_F &= \frac{I_{PD1}}{k}
 \end{aligned} \right\} V_{OA1} = V_{CC} - V_{LED} - \frac{R_3 I_{PD1}}{k}
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow V_{OA1} = V_{CC} - V_{LED} - \frac{R_3 V_{in}}{k R_1} \Rightarrow \boxed{\begin{aligned} OSW_{MAX}^{OA1} &\geq 3,97V \\ OSW_{MIN}^{OA1} &\leq 0,3V \end{aligned}}$$

$$A2: \text{De la parte a)} \quad \boxed{\begin{aligned} OSW_{MAX}^{OA2} &\geq 4V \\ OSW_{MIN}^{OA2} &\leq 0,4V \end{aligned}}$$

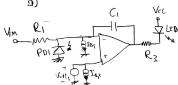
b) Si se use el mismo modelo para ambos \Rightarrow

$$\begin{aligned} OSW_{\text{Máx}} &\geq 4V \\ OSW_{\text{Mín}} &\leq 0,3V \end{aligned}$$

c) Para ambos

$$\begin{aligned} I_{CMR}^{\text{Máx}} &> \emptyset \\ I_{CMR}^{\text{Mín}} &< \emptyset \end{aligned}$$

d)



$$\left. \begin{aligned} I_{PD1} &= \frac{V_{in} \mp V_{off1}}{R_1} - I_{B1} \\ I_{PD2} &= \frac{V_{out}^* \mp V_{off2}}{R_2} - I_{B2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_{in} \mp V_{off1}}{R_1} - I_{B1} = \frac{V_{out}^* \mp V_{off2}}{R_2} - I_{B2}$$

$$\Rightarrow V_{out}^* = \frac{R_2}{R_1} (V_{in} \mp V_{off1}) - (I_{B2} - I_{B1}) R_2 \pm V_{off2}$$

$$I_{B2} - I_{B1} = I_{B1AS} \pm \frac{I_{off1}}{2} - I_{B2AS} \pm \frac{I_{off2}}{2} \Rightarrow I_{B2} - I_{B1} = \pm I_{off}$$

Por caso

$$V_{out}^* = V_{out} \mp \frac{R_2}{R_1} V_{off1} \pm V_{off2} \pm I_{off} R_2$$

$$d) \quad V_{out}^{*max} = V_{out}^{max} + \frac{R_2}{R_1} V_{off} + V_{off} + R_2 I_{off} = 4,07V$$

$$V_{out}^{*min} = V_{out}^{min} - \frac{R_2}{R_1} V_{off} - V_{off} - R_2 I_{off} = 3,33V$$

$$e) \quad \text{Si } V_{in} = 0,9V \Rightarrow V_{out} = 4V \Rightarrow V_{IL} > 0,9V \text{ NML}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{IL} > 0,9V}$$

$$\text{Si } V_{in} = 1V \Rightarrow V_{out} = 4V \Rightarrow V_{IH} < 4V \text{ NML}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{IH} < 3,5V}$$