

EXAMEN DE ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL
23/12/2020

Resolver cada problema en hojas separadas.

Duración de la prueba: 3 horas. En todas las partes se deberá fundamentar claramente la deducción que conduce al resultado para que el mismo sea considerado.

La prueba es **sin** material.

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

PROBLEMA 1 (40 puntos)

En el amplificador de la Figura 1, las fuentes VBIAS y v_{in} se colocan para polarizar la etapa de entrada y para generar una señal a la entrada del amplificador, respectivamente.

- Determine VBIAS para que M1 tenga una corriente de polarización de $I_D = 1$ mA. Indique claramente en qué zona opera cada transistor.
- Halle la corriente en continua por M3.
- Determine la ganancia v_{out}/v_{in} en banda pasante incluyendo su signo. Explique por qué el signo resultante es el hallado.

Datos:

$R_L = 6.8$ k Ω , $R_F = 3.3$ M Ω , $C_{inf} = \infty$, $V_{DD} = 15$ V.

Para todos los transistores: $V_{tn} = |V_{tp}| = 1$ V, $\beta_n = \beta_p = 4$ mA/V², $V_A = 30$ V, $\delta = 0$.

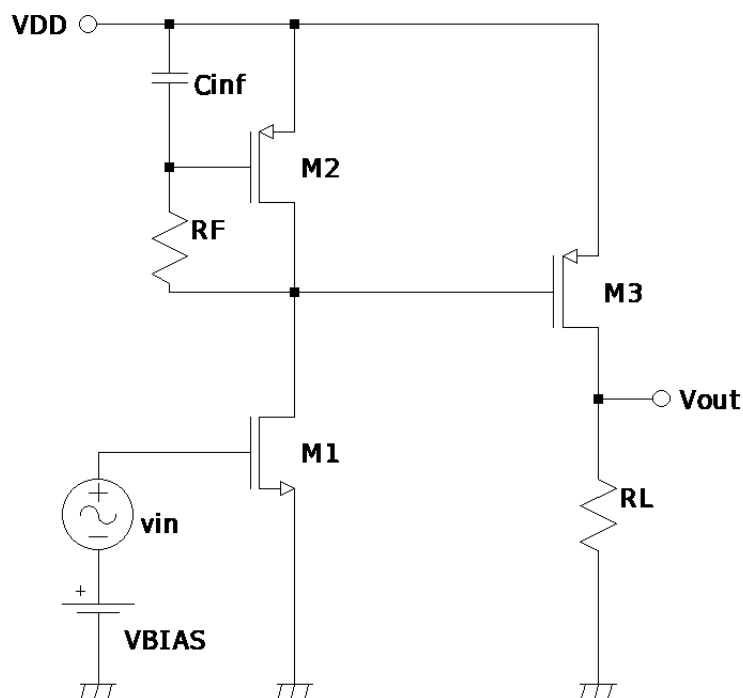
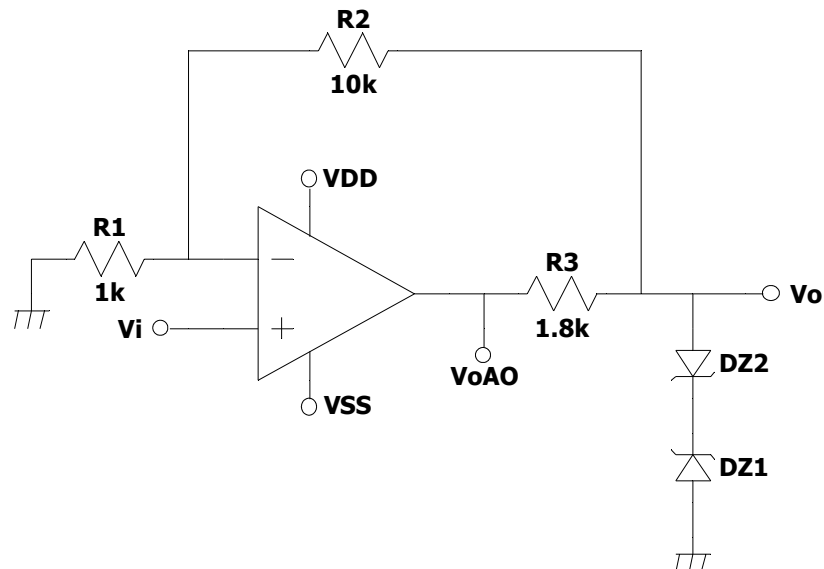


Figura 1

PROBLEMA 2 (40 puntos)

El circuito de la figura es un amplificador cuya salida v_o se busca que esté en un rango limitado.



Responda a las siguientes preguntas fundamentando en todos los casos su respuesta.

- ¿Cuál es el rango al que el circuito limita la salida v_o ?
- Considerar que se tiene una senoide en la entrada v_i con amplitud tal que la salida v_o alcanza la mitad de los límites indicados por el rango hallado en a). ¿Cuánto debería ser el valor de pico de v_i ?
 - Considere en v_i una senoide con el triple de amplitud del valor hallado en b) i). Grafique para un período de la señal en v_i :
 - la forma de onda en función del tiempo en v_o , indicando en cada instante: el estado de los diodos DZ1 y DZ2.
 - la forma de onda en función del tiempo en la salida del amplificador operacional (A.O.), v_{oAO} .
- Si la entrada v_i puede variar como máximo entre VSS y VDD, verificar que la corriente por DZ1 y DZ2 cuando deben operar en la zona Zener es adecuada.
- Si la hoja de datos del A.O. especifica una tensión de offset máxima de 10 mV, al armar uno de estos circuitos, ¿en qué rango puede variar la tensión en la salida v_o con $v_i=0$ V a la entrada?
- Si el A.O. tiene frecuencia de transición f_T de 1 MHz, ¿cuál es el ancho de banda del amplificador de la figura, con entrada en v_i y salida en v_o (operando a amplitudes de entrada v_i menores a la hallada en b) i))?

Datos:

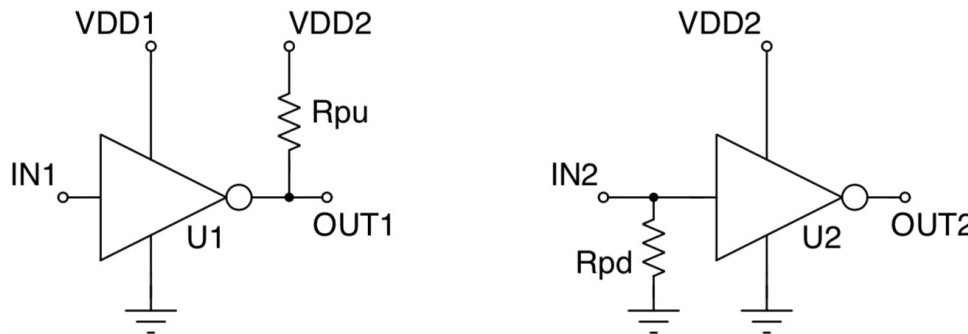
A.O.: ideal salvo donde se indique lo contrario.

DZ1 y DZ2: $V_{ZT} = 2.1$ V, $I_{ZT} = 1$ mA, $P = 0.5$ W, V_F (tensión directa) = 0.7 V.

VDD = - VSS = 15 V

PREGUNTA (20 puntos)

Un diseñador de un circuito digital decide colocar una resistencia de “pull-down”, R_{pd} , en la entrada IN2 del inversor CMOS U2 a los efectos de que el nivel lógico en esta entrada quede bien definido aún cuando no se conecte otro circuito a dicha entrada. U2 tiene los datos del VOL, VOH, VIL, VIH indicados en la sección de datos, con el subíndice 2.



Se considera el caso en que la entrada IN2 se conecta a la salida OUT1 de la compuerta U1. U1 es un inversor con salida “open-drain” que utiliza una resistencia de “pull-up”, R_{pu} , a los efectos de pasar de niveles lógicos con fuente de alimentación VDD1 a niveles lógicos con fuente de alimentación VDD2. Con esa resistencia de “pull-up” U1 tiene V_{OL} que se podrá suponer 0.

a) ¿ Qué valor tiene que tener R_{pd} para que el margen de ruido en nivel alto en la entrada de U2 sea de 0.5 V? ¿ Cuánto vale la tensión en OUT1 en nivel alto en este caso? En lo que sigue se supondrá que R_{pd} tiene el valor aquí hallado.

b) ¿ Cuánto vale el margen de ruido en nivel bajo en la entrada de U2 ?

c) ¿ Qué condición se requiere sobre los parámetros de los transistores que forman el inversor CMOS U2 para que, despreciando corriente de fugas y subumbral, el consumo estático de U2 con OUT1 en nivel alto sea nulo ?

d) Se considera que U2 tiene una capacidad de entrada C_i (entre IN2 y tierra) no nula y que se tiene una entrada ideal en U1 (IN1 con tiempo de bajada nulo). En estas condiciones indique en un diagrama de tiempo cómo se hallaría el tiempo de propagación t_{pLH} de U1 (cuando la salida pasa de nivel bajo (L) a alto (H)). Indique claramente el valor de los puntos relevantes.

Datos: $V_{DD1} = 5\text{ V}$, $V_{DD2} = 3.3\text{ V}$, $R_{pu} = 10\text{ k}\Omega$, Datos de U2 (@ $V_{DD2} = 3.3\text{ V}$): $V_{OL2} = 0\text{ V}$, $V_{OH2} = V_{DD2}$, $V_{IL2} = 1.1\text{ V}$, $V_{IH2} = 2.2\text{ V}$

Problema 1:

a)

(Ecs referidas al sustrato*)

$$I_{D1} = \frac{\beta}{2(1+\delta)} [V_{Bias} - V_{t0} - (1+\delta)V_S]^2 = \frac{\beta}{2} (V_{Bias} - V_{t0})^2 = 1 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow V_{Bias} = \sqrt{\frac{2I_{D1}}{\beta}} + V_{t0} = 1,7 \text{ V}$$

$$\left. \begin{array}{l} I_{D1} = I_{D2} \\ \beta_1 = \beta_2 \\ V_{L01} = V_{L02} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} V_{G1} = V_{G2} = 1,7 \text{ V} \\ \text{y } V_{P1} = V_{P2} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{t0} = 1 \text{ V} \\ \beta = 4 \text{ mA/V}^2 \\ V_A = 30 \text{ V} \\ \delta = 0 \\ V_{DD} = 15 \text{ V} \\ R_F = 3,3 \text{ M}\Omega \\ R_L = 6,8 \text{ k}\Omega \end{array} \right\}$$

$$V_{D2} = V_{G2} = 1,7 \text{ V} \Rightarrow V_{D2} = V_{DD} - V_{D2} = 13,3 \text{ V}$$

$$V_{P1} = V_{P2} = \frac{V_G - V_{L0}}{1+\delta} = 0,7 \text{ V}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{D2} > V_{P1} \\ V_{S2} < V_{P1} \\ V_{G1} > V_{t02} + (1+\delta)V_{S2} = V_{t02} \end{array} \right\} M_1 \text{ en Saturación}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{D2} > V_{P2} \\ V_{S2} < V_{P2} \\ V_{G2} > V_{t02} + (1+\delta)V_{S2} = V_{t02} \end{array} \right\} \Rightarrow M_2 \text{ en Saturación}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{G2} = V_{G3} \\ \beta_2 = \beta_3 \\ V_{t02} = V_{t03} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} I_{D2} = I_{D3} = 1 \text{ mA} \\ V_{P2} = V_{P3} = 0,7 \text{ V} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{D3} = V_{DD} - R_L \cdot I_{D3} = 8,2 \text{ V} > V_{P3} \\ V_{S3} < V_{P3} \text{ y } V_{G3} > V_{t03} + (1+\delta)V_{S3} = V_{t03} \end{array} \right\} \Rightarrow M_3 \text{ en Saturación}$$

b)

$$I_{D3} = 1 \text{ mA}$$

c)

$$r_o = \frac{V_A}{I_D} = 30 \text{ k}\Omega$$

$$g_m = \sqrt{2\beta I_D} = 2,83 \text{ mA/V}$$

Desprecia $r_o \gg R_F$

$$\frac{V_{g3}}{V_{in}} = -g_{m1} \left(r_{o1} \parallel r_{o2} \right) = -42,5 \text{ V/V}$$

Señal en Gate de M_3

$\frac{1}{\frac{1}{r_o} + \frac{1}{R_L}} = 5,5 \text{ k}\Omega$

$$\frac{V_{out}}{V_{g3}} = -g_{m3} \left(r_{o3} \parallel R_L \right) = -15,6 \text{ V/V}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_{out}}{V_{g3}} \cdot \frac{V_{g3}}{V_{in}} = 663 \text{ V/V} \rightarrow \text{positivo por ser no-inversor (concatena dos etapas inversoras)}$$

$$V_G = \begin{cases} V_{GB} & \text{si nmos} \\ V_{BG} & \text{si pmos} \end{cases}$$

$$V_D = \begin{cases} V_{DB} & \text{si nmos} \\ V_{BD} & \text{si pmos} \end{cases}$$

$$V_S = \begin{cases} V_{SB} & \text{si nmos} \\ V_{BS} & \text{si pmos} \end{cases}$$

$$I_D = \begin{cases} \text{corriente de drain a source} & \text{si nmos} \\ \text{" " source a drain} & \text{si pmos} \end{cases}$$

Electrónica Fundamental - Examen Diciembre 2020

a) $v_o = v_{AK2} - v_{AK1}$

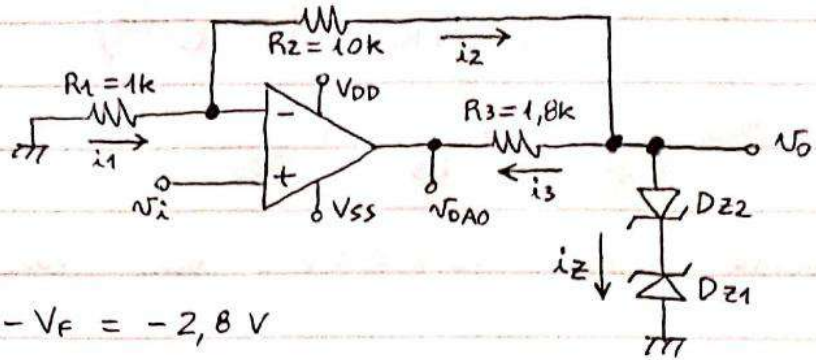
* $i_z > 0$

$\Rightarrow v_o = V_F - (-V_{ZT})$

$v_o = 2,8 V$

* $i_z < 0 \Rightarrow v_o = (-V_{ZT}) - V_F = -2,8 V$

* $-2,8 V < v_o < 2,8 V \Rightarrow i_z = 0$



$\Rightarrow v_o \in [-2,8 V; 2,8 V]$

b) i) Configuración no inversora: $\frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 11 V/V$

También se deduce de $i_1 = i_2 \Rightarrow \frac{-v_i}{R_1} = \frac{v_i - v_o}{R_2} \Rightarrow \frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

Si $\hat{v}_o = \frac{2,8 V}{2} = 1,4 V$, entonces $\hat{v}_i = \frac{1,4 V}{11} \approx 127,3 mV$

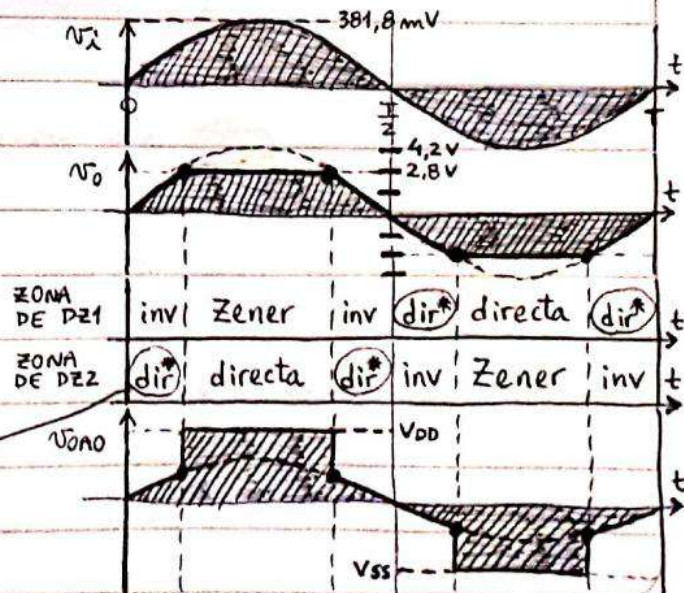
b) ii) * Cuando no actúa la rama de los diodos Zener:

$\frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$; y $\frac{v_{DA0}}{v_i} = 1 + \frac{R_2 + R_3}{R_1}$

* Cuando $i_z > 0$, $v_o = 2,8 V$. Como $v_i > \frac{2,8 V}{11} \Rightarrow v_{DA0} = V_{DD}$

* Cuando $i_z < 0$, $v_o = -2,8 V$. Como $v_i < -\frac{2,8 V}{11} \Rightarrow v_{DA0} = V_{SS}$

$\hat{v}_i = 3 \times \left(\frac{1,4 V}{11} \right) = 381,8 mV$



en zona directa pero conduciendo muy poco (la corriente de fugas del otro diodo)

$$c) \quad i_z = i_2 - i_3 = \left(\frac{-v_o}{R_1 + R_2} \right) - \left(\frac{v_o - v_{oAO}}{R_3} \right)$$

$$i_z = -v_o \left(\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3} \right) + \frac{v_{oAO}}{R_3}$$

* Cuando $i_z > 0$, $v_o = 2,8 \text{ V}$ y $v_{oAO} = V_{DD}$.

$$i_z = 6,52 \text{ mA} \quad (\text{si } V_{DD} = 15 \text{ V})$$

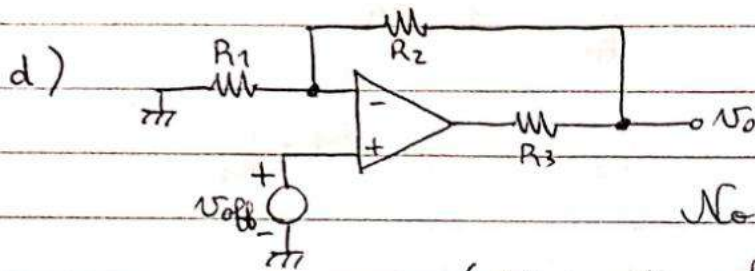
$$i_z = 4,86 \text{ mA} \quad (\text{si } V_{DD} = 12 \text{ V})$$

en ambos casos

$i_z > 1 \text{ mA} \Rightarrow$ zona Zener

$$y \quad P = i_z (2,1 \text{ V}) < 0,5 \text{ W}$$

$$\Rightarrow i_z < \frac{0,5 \text{ W}}{2,1 \text{ V}} = 238 \text{ mA}$$



$$\text{No inversor: } v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_{off}$$

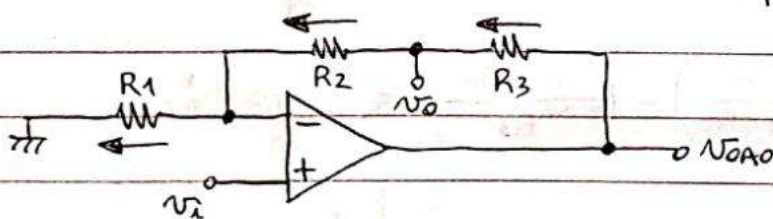
(Misma transferencia que v_o/v_i).

$$\Rightarrow v_o = 11 v_{off}$$

$$\Rightarrow v_o \in [-110 \text{ mV}; 110 \text{ mV}]$$

e) Amplitudes de v_i menores a la hallada en b) i)

\Rightarrow la rama de diodos Zener no opera



asumo $A_o \gg 1 + \frac{R_2 + R_3}{R_1}$

$$\text{Del teórico: } \frac{v_{oAO}}{v_i} \text{ no inversor} \Rightarrow f_p = \frac{f_T}{1 + \frac{R_2 + R_3}{R_1}}$$

$$\text{Nudos: } \frac{v_{oAO} - v_o}{R_3} = \frac{v_o}{R_1 + R_2} \Rightarrow v_o = v_{oAO} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \right)$$

$\Rightarrow v_o$ tiene los mismos polos y ceros que v_{oAO}

$$\Rightarrow \frac{v_o}{v_i} \text{ tiene polo } f_p = \frac{f_T}{1 + \frac{R_2 + R_3}{R_1}} = \frac{(1 \text{ MHz})}{1 + \frac{(10 \text{ k}\Omega) + (1,8 \text{ k}\Omega)}{(1 \text{ k}\Omega)}}$$

$$78,13 \text{ kHz}$$

Notas