

**EXAMEN DE ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL**

Resolver cada **problema en hojas separadas** y **escribiendo de un solo lado de la hoja**.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

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, determinar:

- La corriente de drain de polarización de todos los transistores. Verificar la zona de operación para todos los transistores.
- La ganancia  $V_{out}/V_{in}$  a frecuencias medias.
- La resistencia de entrada del amplificador a frecuencias medias.
- La frecuencia de corte inferior.

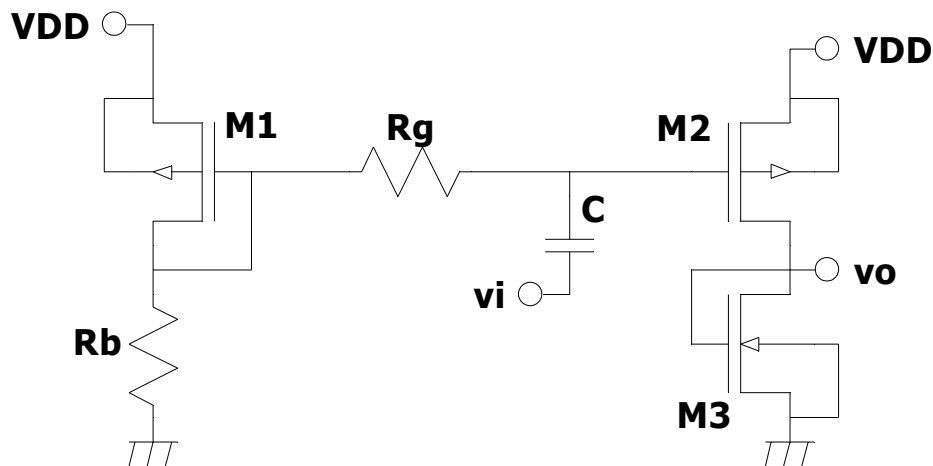
**Datos:**

Transistor M1:  $|V_{t0}| = 1\text{ V}$ ,  $\beta = 1\text{ mA/V}^2$ ,  $\delta = 0$ , Tensión de Early infinita.

Transistor M2:  $|V_{t0}| = 1\text{ V}$ ,  $\beta = 4\text{ mA/V}^2$ ,  $\delta = 0$ , Tensión de Early infinita.

Transistor M3:  $V_{t0} = 1\text{ V}$ ,  $\beta = 1\text{ mA/V}^2$ ,  $\delta = 0$ , Tensión de Early infinita.

$R_b = 6.8\text{ k}\Omega$ ,  $R_g = 1\text{ M}\Omega$ ,  $C = 10\text{ nF}$ ,  $V_{DD} = 9\text{ V}$ .



**PROBLEMA 2 (40 puntos)**

El circuito de la Figura 1 busca aplicar la señal de entrada amplificada entre los terminales Vo+ y Vo- en bornes de la resistencia RL.

La señal de entrada es  $v_1 = V_{ip} \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$  con  $V_{ip} = 0.1 \text{ V}$  y  $f = 1 \text{ MHz}$ .

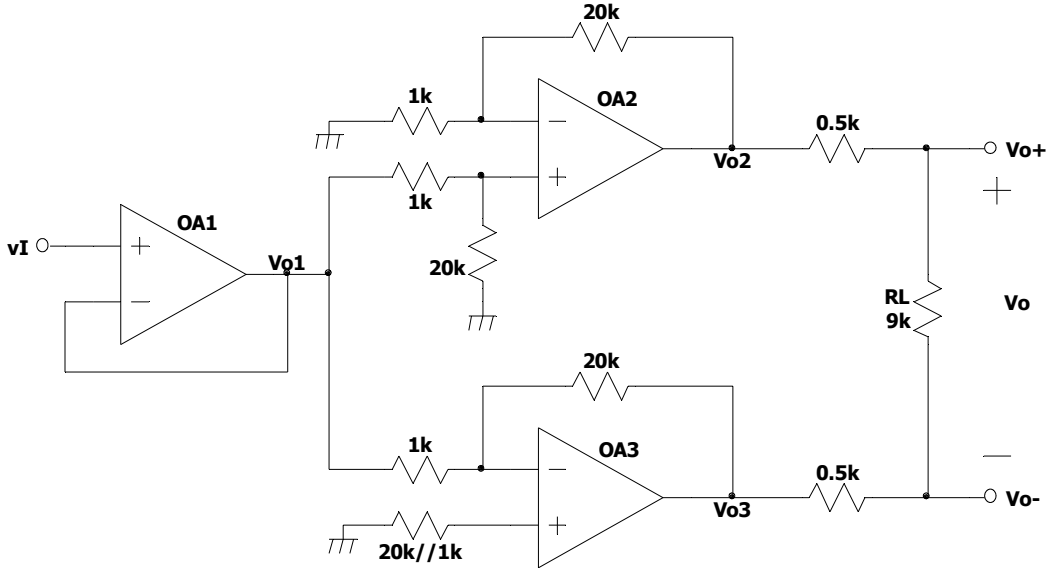


Figura 1

a) Determinar la amplitud de pico de la señal Vo (entre Vo+ y Vo-) asumiendo que todos los amplificadores operacionales son ideales. ¿Cuánto vale el modo común de la señal en Vo+, Vo-?

b) Se desean elegir los amplificadores operacionales, usando un modelo para OA1 y otro para OA2 y OA3. Determinar para cada uno de estos amplificadores (el de OA1 y el de OA2 y OA3) qué condición deben cumplir los parámetros que se indican para que el circuito funcione de acuerdo a lo hallado en a). Fundamente en todos los casos su respuesta.

- i) Las frecuencias de transición  $f_{TOA1}$  y  $f_{TOA2\_OA3}$ .
- ii) Los slew rates  $SR_{OA1}$  y  $SR_{OA2\_OA3}$ .
- iii) El rango de entrada en modo común  $ICMR_{OA1}$  y  $ICMR_{OA2\_OA3}$ .

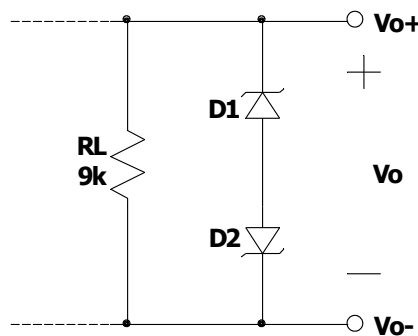
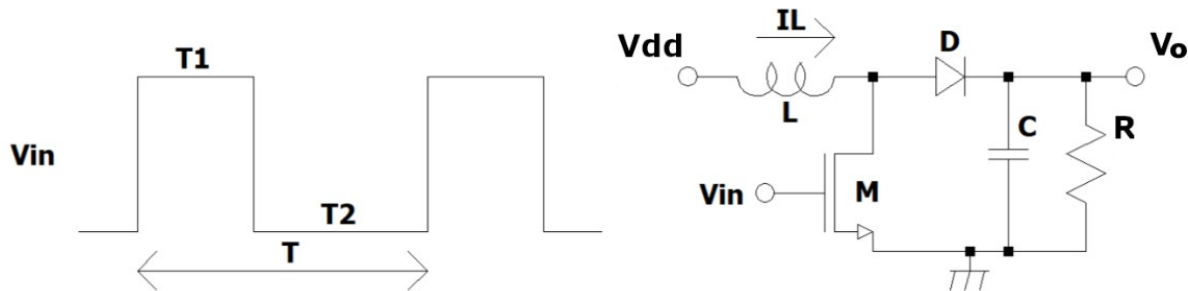


Figura 2

c) Para proteger la carga RL contra sobre-tensiones para el caso en que  $V_{ip}$  crezca en forma no esperada, se colocan dos diodos Zener como se muestra en la Figura 2. Los diodos Zener D1 y D2 tienen como datos:  $V_Z, V_Y, I_{ZT}, r_{ZT} = 0$ . ¿En qué rango podrá variar la tensión en bornes de RL al incluirse este circuito de protección? Fundamente su respuesta.

**PREGUNTA (20 puntos)**

El circuito de la Figura es un tipo sencillo de conversor DC-DC del tipo Step-Up. Con éste se obtiene una tensión DC regulada a la salida de valor superior a la de entrada. Se asume que el condensador de filtrado de salida es infinito (la tensión en bornes del condensador es prácticamente constante). Se debe tener en cuenta que la ecuación del condensador ( $i=C.dv/dt$ ) que ahora pierde sentido al tender  $C$  a infinito, debe sustituirse por la condición de que en régimen la integral de la corriente por el condensador en un ciclo debe ser nula (es decir que en régimen, en un ciclo entra al condensador la misma cantidad de carga que sale).



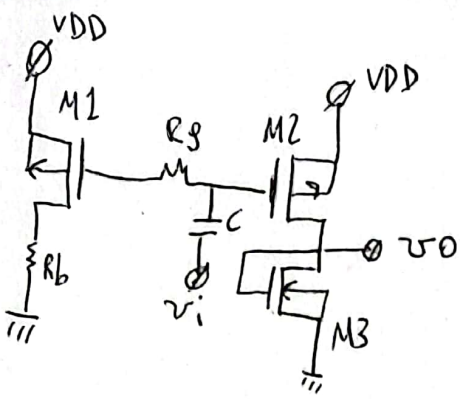
En contraposición al diseño de un Step-Up convencional, en esta aplicación en particular se manejará el Step-Up utilizando un régimen de conducción discontinua, es decir, existe una parte del ciclo en la cual la corriente por el inductor ( $L$ ) se anula. Se supone que la inductancia es ideal y que el transistor funciona como llave.

Datos:

M:  $R_{DS(ON)}=0 \Omega$ ,  $R_{DS(OFF)}=inf.$ , D:  $V_f=0$ ,  $T=4 \mu s$ ,  $T_1=T/2$ ,  $C=inf$ ,  $V_{dd}=10 V$ ,  $R=1.5 k\Omega$ .

Se desea mantener sobre  $R$  una tensión  $V_o=25 V$ .

- Dibujar la forma de onda de la corriente por el inductor, indicando en qué momento conduce el diodo  $D$ . Determinar en qué tiempo, medido a partir del comienzo de  $T_1$ , se anula la corriente por el inductor.
- ¿Cuál es el valor del Inductor  $L$  necesario para obtener el funcionamiento deseado del Step-up?



1)  $I_{D1}, I_{D2}, I_{D3}$ ? Análisis DC:

M1: Asumiendo saturación:

$$I_{D1} = \frac{\beta_1}{2(1+\delta)} (V_{G1} - v_{t01} - (1+\delta) V_{BS1})^2 = \frac{V_{G1}}{R_B}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{BS1} = 0 \\ V_{G1} = V_{DD} - V_{G2} \end{array} \right\} \frac{\beta_1}{2} (V_{DD} - V_{G1} - v_{t0})^2 = \frac{V_{G1}}{R_B}$$

Resolviendo la ec. de segundo grado, se obtiene:  $\rightarrow V_{G1} = \underline{6,6V}$

$\rightarrow V_{G1} = 9,7V \rightarrow$  Absurdo ( $V_{DD} = 9V$ )

$$I_{D2} = \frac{V_{G1}}{R_B} = \boxed{0,97mA}$$

M2: Asumiendo saturación:

$$I_{D2} = \frac{\beta_2}{2(1+\delta)} (V_{G2} - v_{t02} - (1+\delta) V_{BS2})^2$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{G2} = V_{G1} \\ V_{BS2} = 0 \\ v_{t01} = v_{t02} \end{array} \right\}$$

$$I_{D2} = \frac{\beta_2}{2} (V_{G1} - v_{t0})^2 = 4 \cdot I_{D1} = \boxed{3,88mA}$$

$\downarrow$   
 $\beta_2 = 4 \cdot \beta_1$

$$I_{D3} = I_{D2} = \boxed{3,88mA}$$

Verifico zona de saturación:

M1: 1)  $V_{BD} > V_P = \frac{V_{BG} - v_{to}}{1 + S} \Rightarrow$  Como  $V_{BD} = V_{BG}$ , se cumple siempre ✓

2)  $V_{BS} < V_P \Leftrightarrow 0 < \frac{V_{BG} - v_{to}}{1 + S} = \frac{V_{DD} - V_{G1} - v_{to}}{1} = 1,4V$  ✓

M2:

1)  $V_{BD} > V_P \Leftrightarrow V_{DD} - \underbrace{V_{D2}}_{V_{G3} \text{ (hablado a parte)}} > \frac{V_{DD} - \overbrace{V_{G2}}^{V_{G1}} - v_{to}}{1 + S} \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow 5,2 > 1,4V$  ✓

2)  $V_{BS} < V_P \Leftrightarrow 0 < 1,4V$  ✓

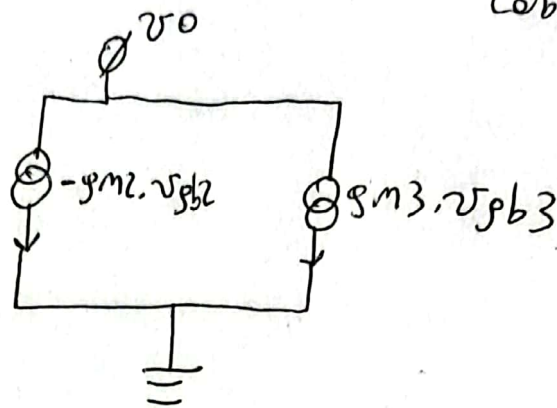
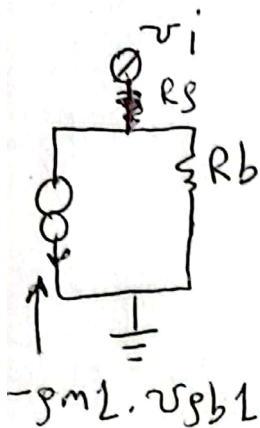
M3: 1)  $V_{DB} > V_P = \frac{V_{GB} - v_{to}}{1 + S} \Rightarrow$  Como  $V_{DB} = V_{GB}$ , se cumple siempre ✓

2)  $V_{SB} = 0 < V_P \Leftrightarrow V_{GB3} > v_{to}$

$V_{GB3} = \sqrt{\frac{2 \cdot I_{D3}}{\beta_3}} + v_{to} = 3,8V > v_{to}$  ✓

b) ¿ $v_o/v_i$  en banda pasante?

El modelo de pequeña señal es: \* Considero C como cable



$$-g_{m2} \cdot \underbrace{v_{g2}}_{v_i} = g_{m3} \cdot \underbrace{v_{gb3}}_{v_o}$$

$$\Rightarrow \frac{v_o}{v_i} = -\frac{g_{m2}}{g_{m3}} = -\sqrt{\frac{\beta_2 I_{D2}}{1+\beta_2}} \cdot \sqrt{\frac{1+\beta_3}{\beta_3 I_{D3}}} \stackrel{I_{D2}=I_{D3}}{=} -\sqrt{\frac{\beta_2}{\beta_3}}$$

$$v_o/v_i = -\sqrt{4} = \boxed{-2 \text{ V/V}}$$

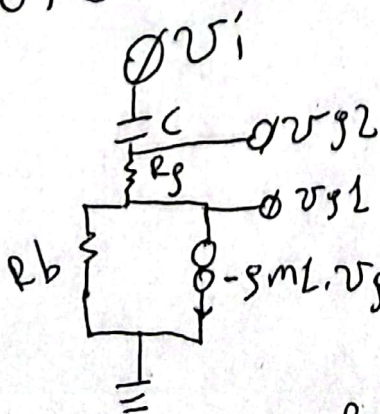
c) ¿ $R_{in}$  a frecuencias medias?

Del circuito de la parte b), se obtiene:

$$R_{in} = R_S + (R_b \parallel 1/g_{m2}) \approx R_S = \boxed{1 \text{ M}\Omega}$$

d) ¿frec. de corte inferior?

por parte anterior



$$v_{g2} = \frac{v_i \cdot R_{in}}{1/C\omega + R_{in}}, \quad v_o = -v_{g2} \cdot \frac{g_{m2}}{g_{m3}}$$

$$\Rightarrow v_o = -v_i \cdot \frac{R_{in}}{R_{in} + 1/C\omega} \cdot \frac{g_{m2}}{g_{m3}}$$

$$\text{polo en } \frac{1}{2\pi C R_{in}} = \boxed{15,9 \text{ Hz}}$$

