

EXAMEN DE ELECTRÓNICA FUNDAMENTAL
08/02/2021

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)

- a) Se implementa una llave con un transistor MOS como se muestra en la Fig. 1, la cuál se opera con una tensión entre 0 y V_{DD} en el gate. Deducir la máxima tensión V_{sw} que podemos tener a la entrada de la llave para que la misma pueda funcionar. Dar el resultado analítico y el resultado numérico para los datos que se indican al final.
- b) Si se desea que la resistencia de la llave sea menor o igual a 10Ω , indicar cuál es la máxima tensión V_{sw} que podemos aplicar en este caso.
- c) Usando la llave de la Fig. 1 se implementa el integrador con reset de la Fig. 2. Si el amplificador operacional tiene los datos que se indican al final, se supone que la tensión de entrada a integrar $V_{in} = V_{ref} - 1 \text{ V}$ y se desea que la llave opere en las condiciones de la parte b), determinar:
 - c.i Si luego de descargar el condensador, el integrador integra durante 0.5 ms, determinar en que rango puede estar V_{ref} .
 - c.ii Si V_{ref} vale 2 V, calcular el máximo tiempo que puedo integrar luego de descargar el condensador con la llave.

$$V_{DD} = 5 \text{ V}, R = 1 \text{ k}\Omega, C = 1 \text{ }\mu\text{F},$$

$$\text{Transistor MOS: } V_{t0} = 1 \text{ V}, \delta = 0.3, \beta = 100 \text{ mA/V}^2$$

Operacional:

Rango de modo común de entrada: 0.75 V a 4 V.

Excursión a la salida (output swing): 0.5 V a 4.5 V.

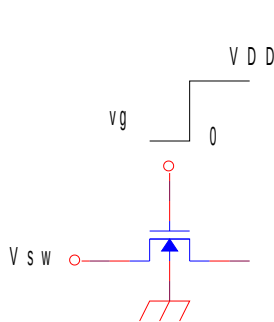


Figura 1

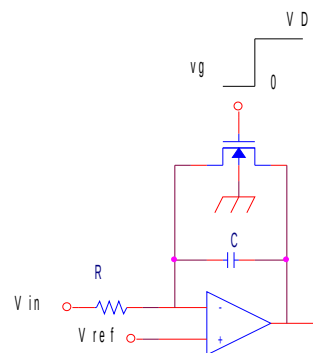
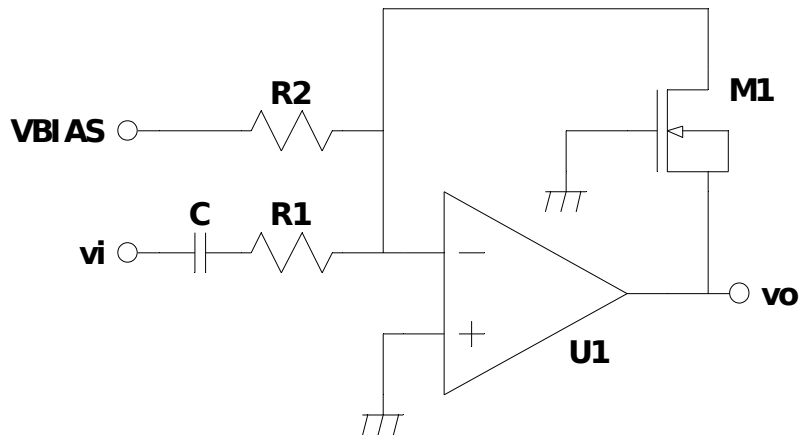


Figura 2

PROBLEMA 2 (40 puntos)

El circuito de la figura muestra un amplificador de ganancia variable que, cuando se modifica el voltaje DC VBIAS, el circuito amplifica las señales en la entrada v_i con diferentes ganancias. El voltaje VBIAS es tal que M1 opera en saturación. Se supondrá que v_i tiene amplitud tal que se puede considerar que es una pequeña señal a los efectos del análisis de la operación de M1.



- a)
- a.i. Determine la componente continua (DC) de la corriente de drain de M1 I_{D1} y la componente de señal (AC) de esta corriente i_{d1} .
 - a.ii. Determine la componente DC de la tensión de salida (V_O) y la componente de señal de la tensión de salida (v_o).
- b) Determine el rango necesario en VBIAS para que el amplificador tenga una ganancia en la banda pasante $|v_o/v_i|$ variable en el rango entre 5 y 20.
- c) Muestre que en el rango hallado de VBIAS, M1 efectivamente está saturado en el punto de polarización (es decir para $v_i = 0$).
- d) ¿Cuál es la máxima excursión que se puede tener en v_o , cuando:
- d.i. $|v_o/v_i| = 5$
 - d.ii. $|v_o/v_i| = 20$?
- e) Si U1 tiene tensión de offset máxima $V_{offsetmax}$ ¿qué valor de ganancia se podría tener para el VBIAS que fijaría la ganancia en $|v_o/v_i| = 20$?

Datos:

$R1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R2 = 20 \text{ k}\Omega$, $C = \infty$.

M1: $V_{t0} = 0.6 \text{ V}$, $\beta = 100 \text{ uA/V}^2$, $\delta = 0$, Tensión de Early infinita.

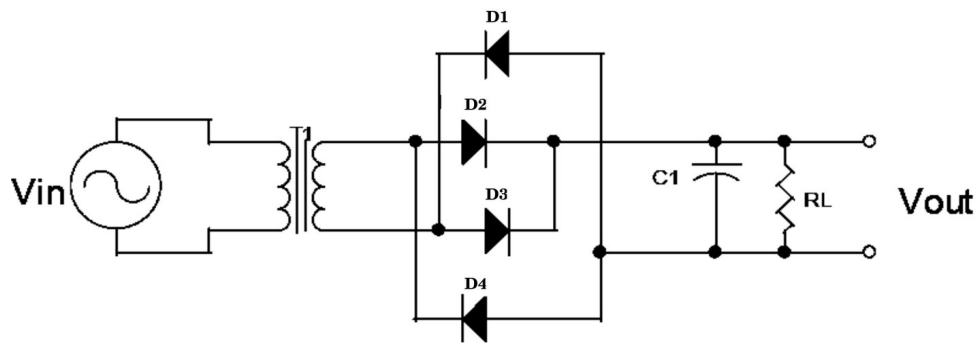
U1: Está alimentado entre $\pm 5 \text{ V}$ y tiene una excursión de salida entre -4 V y $+4 \text{ V}$.

$V_{offsetmax} = 20 \text{ mV}$.

PREGUNTA (20 puntos)

En la fuente de alimentación de la figura, la tensión en el secundario del transformador es sinusoidal con amplitud de pico V_{acp} y frecuencia f y los diodos tienen voltaje umbral V_{γ} . Asumiendo que el ripple es pequeño, se pide:

- Dibujar en los mismos ejes en función del tiempo: la tensión en el secundario del transformador y la tensión V_{out} , indicando el estado de cada diodo en cada instante de tiempo. No es necesario calcular los tiempos de cambio de conducción con precisión, sí indicar claramente la relación entre ambas formas de onda.
- Dar una estimación del valor del ripple de la fuente, explicando las aproximaciones realizadas para su cálculo.



Electrónica Fundamental - Examen febrero 2021

a) Necesitamos que la llave no corte cuando $V_G = V_{DD}$:

$$V_S < V_P \Rightarrow V_{sw} < \frac{V_{DD} - V_{t0}}{1 + \delta} \Rightarrow V_{sw} < \frac{5V - 1V}{1 + 0,3} = \boxed{3,08V}$$

b) En zona lineal: $I_D = \beta V_{DS} \left(V_{GB} - V_{t0} - (1 + \delta) \left(\frac{V_{DB} + V_{SB}}{2} \right) \right)$

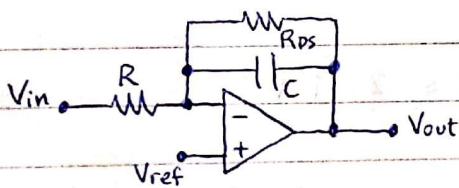
$$g_{ds} = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} \right|_{V_{DS}=0} = \beta \left(V_{GB} - V_{t0} - (1 + \delta) V_{SB} \right)$$

$$R_{DS} = \frac{1}{g_{ds}} = \frac{1}{\beta (V_{GB} - V_{t0} - (1 + \delta) V_{SB})} \leq 10 \Omega$$

$$\Rightarrow V_{DD} - V_{t0} - (1 + \delta) V_{sw} \geq \frac{1}{(10 \Omega) \beta}$$

$$\Rightarrow V_{sw} \leq \frac{V_{DD} - V_{t0} - \frac{1}{(10 \Omega) \beta}}{1 + \delta} \Rightarrow V_{sw} \leq \frac{5V - 1V - \frac{1}{(10 \Omega)(100 \text{ mA/V}^2)}}{1 + 0,3} = \boxed{2,31V}$$

c) i) Condición inicial: llave cerrada



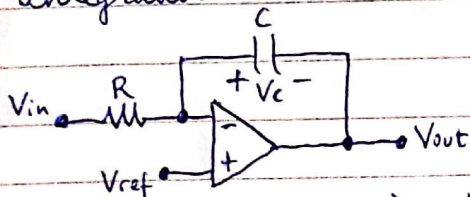
En régimen,

$$V_{out} = -\frac{R_{DS}}{R} V_{in} + \left(1 + \frac{R_{DS}}{R} \right) V_{ref} \approx V_{ref}$$

$$\Rightarrow V_{CO} = V_{ref} - V_{out} = \left(\frac{R_{DS}}{R} \right) (V_{in} - V_{ref}) \approx 0$$

Integrador:

$$I_C = C \frac{dV_C}{dt} = C \frac{d(V_{ref} - V_{out})}{dt} = -C \frac{dV_{out}}{dt}$$



$$I_C = I_R = \frac{V_{in} - V_{ref}}{R}$$

$$\Rightarrow \frac{dV_{out}}{dt} = \frac{V_{ref} - V_{in}}{RC} \Rightarrow V_{out} = V_{ref} + \left(\frac{V_{ref} - V_{in}}{RC} \right) t$$

$$V_{in} = V_{ref} - 1V \Rightarrow \boxed{V_{out} = V_{ref} + \left(\frac{1V}{RC} \right) t}$$

* Rango de V_{ref} para cumplir con el ICMR:

$$V_{CM} = V_{ref} \Rightarrow ICMR_{min} \leq V_{ref} \leq ICMR_{max}$$

$$\Rightarrow \boxed{0,75V \leq V_{ref} \leq 4V}$$

* Rango de V_{ref} para que la llave opere en las condiciones de la parte b ($R_{OS} \leq 10 \Omega$):

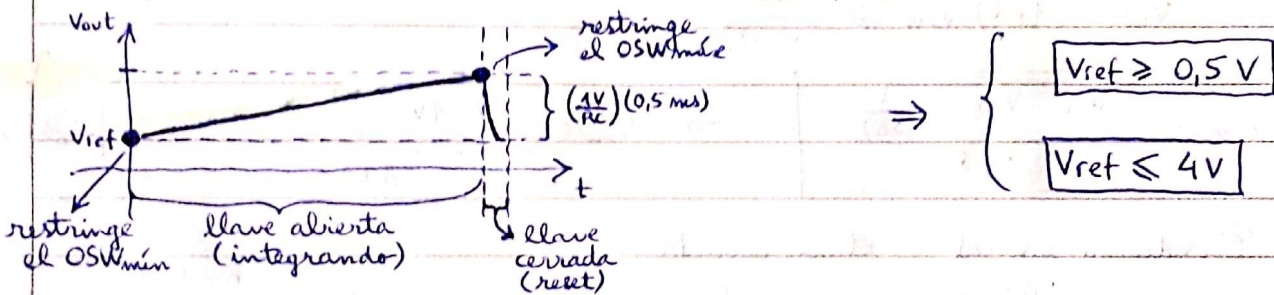
$$V_{ref} = V_{sw} \Rightarrow \boxed{V_{ref} \leq 2,31 V}$$

* Rango de V_{ref} para cumplir con la excursión de salida:

$$OSW_{mín} \leq V_{out} \leq OSW_{máx} \quad \forall t \in [0; 0,5 \text{ ms}]$$

$$OSW_{mín} \leq V_{ref} + \left(\frac{1V}{RC}\right)t \leq OSW_{máx}$$

$$\begin{cases} V_{ref} \geq OSW_{mín} - \left(\frac{1V}{RC}\right)t & \xrightarrow{\text{más restrictiva para } t=0} \\ V_{ref} \leq OSW_{máx} - \left(\frac{1V}{RC}\right)t & \xrightarrow{\text{más restrictiva para } t=0,5 \text{ ms}} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_{ref} \geq OSW_{mín} \\ V_{ref} \leq OSW_{máx} - \left(\frac{1V}{RC}\right)(0,5 \text{ ms}) \end{cases}$$



$$\Rightarrow \text{Entonces tenemos } \boxed{0,75 V \leq V_{ref} \leq 2,31 V}$$

c) ii) Luego de descargar el condensador con la llave, $V_{out} = V_{ref} = 2V$

$$V_{out} = 2V + \left(\frac{1V}{RC}\right)t \Rightarrow \text{restringe el } OSW_{máx}$$

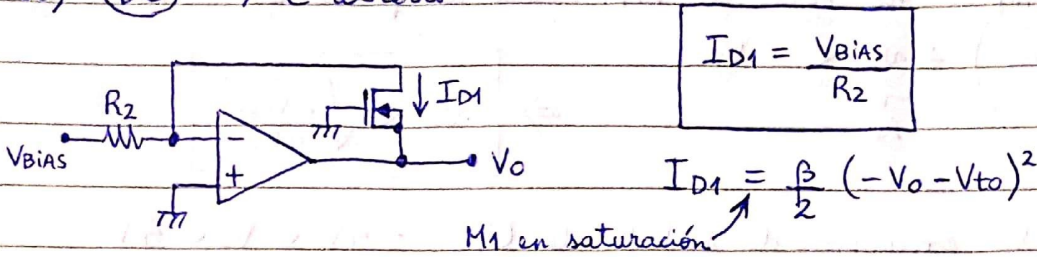
$$2V + \left(\frac{1V}{RC}\right)t \leq OSW_{máx}$$

$$\Rightarrow t \leq (OSW_{máx} - 2V) \left(\frac{RC}{1V}\right) = 2,5 \text{ ms}$$

$$\rightarrow \boxed{t_{máx} = 2,5 \text{ ms}}$$

Electrónica Fundamental - Examen febrero 2021

a) (DC) \Rightarrow C abiertos

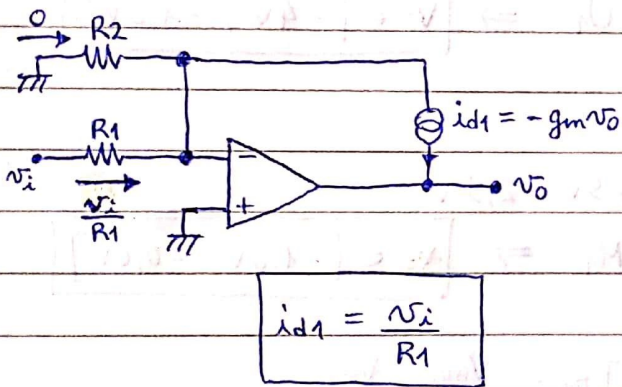


$$V_o + V_{to} = \pm \sqrt{\frac{2I_{D1}}{\beta}} \Rightarrow V_o = -V_{to} \pm \sqrt{\frac{2I_{D1}}{\beta}}$$

No corte de M_1 : $V_s < V_p \Rightarrow V_o - V_o < \frac{0 - V_o - V_{to}}{1 + \delta} \Rightarrow V_o < -V_{to}$

$$\Rightarrow V_o = -V_{to} - \sqrt{\frac{2I_{D1}}{\beta}} \Rightarrow \boxed{V_o = -V_{to} - \sqrt{\frac{2V_{BIAS}}{\beta R_2}}}$$

(AC) \Rightarrow C cortocircuitos (en banda pasante) y $V_{BIAS} = 0$



Nudos: $\frac{v_i}{R_1} = -g_m v_o = i_{d1}$

$$\Rightarrow v_o = \frac{-v_i}{g_m R_1} = \frac{-v_i}{\sqrt{\frac{2\beta V_{BIAS}}{R_2}} R_1}$$

$$g_m = \sqrt{2\beta I_{D1}} = \sqrt{\frac{2\beta V_{BIAS}}{R_2}}$$

b) $\left| \frac{v_o}{v_i} \right| = \frac{1}{R_1 \sqrt{\frac{2\beta V_{BIAS}}{R_2}}} \Rightarrow \frac{1}{5} \geq R_1 \sqrt{\frac{2\beta V_{BIAS}}{R_2}} \geq \frac{1}{20}$

$$\Rightarrow \left(\frac{R_2}{2\beta} \right) \left(\frac{1}{5R_1} \right)^2 \geq V_{BIAS} \geq \left(\frac{R_2}{2\beta} \right) \left(\frac{1}{20R_1} \right)^2 \Rightarrow \boxed{4V \geq V_{BIAS} \geq 0,25V}$$

\downarrow
 $\left| \frac{v_o}{v_i} \right| = 5V/V$

\downarrow
 $\left| \frac{v_o}{v_i} \right| = 20V/V$

c) No corte de M_1 : $V_s < V_p \Rightarrow V_o - V_o < \frac{0 - V_o - V_{to}}{1 + \delta} \Rightarrow V_o < -V_{to}$

$$-V_{to} - \sqrt{\frac{2V_{BIAS}}{\beta R_2}} < -V_{to} \Rightarrow \sqrt{\frac{2V_{BIAS}}{\beta R_2}} > 0 \Rightarrow \text{se cumple para todo } V_{BIAS} > 0$$

en particular para V_{BIAS} entre 0,25V y 4V

No zona lineal de M_1 : $V_o > V_p \Rightarrow 0 - V_o > \frac{0 - V_o - V_{to}}{1 + \delta}$

$$\Rightarrow V_{to} > 0 \Rightarrow \text{se cumple trivialmente}$$

Electrónica Fundamental - Examen febrero 2021

d) Se tiene que cumplir no corte de M_1 . De la parte c): $V_o < -V_{to}$

$$\underbrace{\left(-V_{to} - \sqrt{\frac{2V_{BIAS}}{\beta R_2}}\right)}_{DC} + \underbrace{v_o}_{AC} < -V_{to} \Rightarrow \boxed{\hat{v}_o < \sqrt{\frac{2V_{BIAS}}{\beta R_2}}}$$

Se tiene que cumplir la excursión de salida de U_1 : $-4V < V_o < 4V$

$$-4V < -V_{to} - \sqrt{\frac{2V_{BIAS}}{\beta R_2}} + v_o < 4V$$

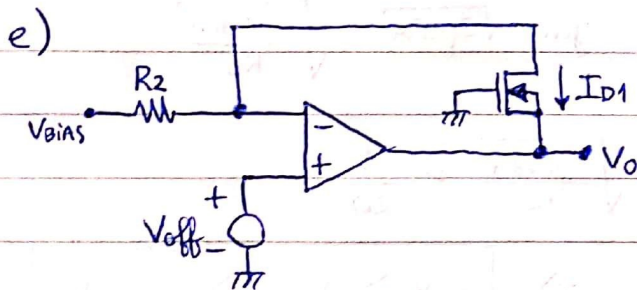
$$\begin{cases} v_o > -4V + V_{to} + \sqrt{\frac{2V_{BIAS}}{\beta R_2}} \\ v_o < 4V + V_{to} + \sqrt{\frac{2V_{BIAS}}{\beta R_2}} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \hat{v}_o < 4V - V_{to} - \sqrt{\frac{2V_{BIAS}}{\beta R_2}} \\ \hat{v}_o < 4V + V_{to} + \sqrt{\frac{2V_{BIAS}}{\beta R_2}} \end{cases} \text{ siempre es más restrictiva}$$

i) $V_{BIAS} = 4V \Rightarrow \begin{cases} \hat{v}_o < 2V \\ \hat{v}_o < 4V - 0,6V - 2V = 1,4V \end{cases}$

$$\Rightarrow \boxed{\hat{v}_o < 1,4V} \text{ restringe el OSW de } U_1 \Rightarrow \boxed{V_o \in [-4V; -1,2V]}$$

ii) $V_{BIAS} = 0,25V \Rightarrow \begin{cases} \hat{v}_o < 0,5V \\ \hat{v}_o < 4V - 0,6V - 0,5V = 2,9V \end{cases}$

$$\Rightarrow \boxed{\hat{v}_o < 0,5V} \text{ restringe el corte de } M_1 \Rightarrow \boxed{V_o \in [-1,6V; -0,6V]}$$



$$I_{D1} = \frac{V_{BIAS} - V_{off}}{R_2}$$

$$\left| \frac{v_o}{v_i} \right| = 20 \text{ V/V} \Rightarrow V_{BIAS} = 0,25V$$

* Si $V_{off} = V_{offetmax}$:

$$\left| \frac{v_o}{v_i} \right| = \frac{1}{R_1 \sqrt{\frac{2\beta(V_{BIAS} - V_{offetmax})}{R_2}}} = \boxed{20,85 \text{ V/V}}$$

* Si $V_{off} = -V_{offetmax}$:

$$\left| \frac{v_o}{v_i} \right| = \frac{1}{R_1 \sqrt{\frac{2\beta(V_{BIAS} + V_{offetmax})}{R_2}}} = \boxed{19,25 \text{ V/V}}$$