Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Eléctrica
IEE2413 – Electrónica

Interrogación 2 - Total 50 Puntos
Alan Brito y su Especial de Halloween

Escriba sus respuestas en expresiones de baja entropía. Si para responder alguna de las preguntas necesita el resultado de una pregunta anterior que no ha podido responder, asuma una respuesta genérica (e.g., V en el caso de un voltaje, R en el caso de una resistencia, etc.). **Sólo se aceptarán preguntas de enunciado a viva voz y rige tanto el Código de Honor UC como las reglas de entrega del curso.**

- **WARNING 0: Póngale nombre a todas sus hojas de desarrollo.**
- **WARNING 1: Respalde sus respuestas con los cálculos o conceptos que correspondan; de no hacerlo o haber respuestas mágicas, no tendrá todo el puntaje tras la corrección de los ayudantes.**
- **WARNING 2: Preocúpese de que la letra de la interrogación sea legible para la postcorrección. Un ayudante que corrige contento, corrige mejor, y en otro caso habrá descuento de nota.**
- **WARNING 3: Sólo puede usar formulario de elaboración propia y calculadora científica. Está estrictamente prohibido el uso de celulares, Solvers y cualquier otra herramienta no autorizada explícitamente para resolver problemas.**

- Observaciones a la Prueba en Rendición - P1: Se ajusta el puntaje del inciso d) de 3 pt. a 2 pt. de forma que la pregunta sume 10 puntos totales.
- Observaciones a la Prueba en Rendición - P2: Se ajusta el puntaje de los incisos d) y e) desde 2 pt. a 2.5 pt. cada uno para que la pregunta sume 15 puntos totales.

P1: Otro de Luces (10 puntos)

Durante las vacaciones, Alan Brito Delgado se encuentra buscando circuitos que le faciliten su vida hogareña, asociados a luces y control. Entre su búsqueda, encontró este:

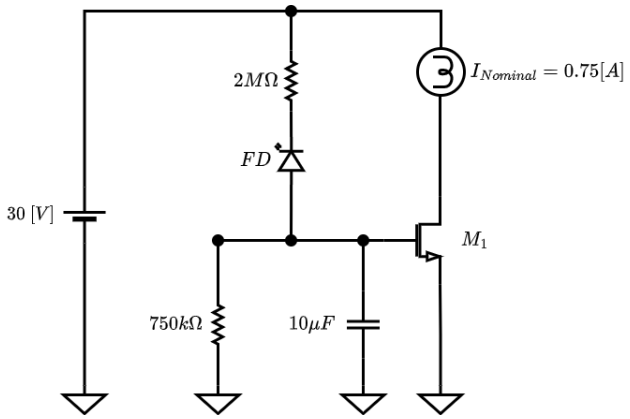


Figura 1: Circuito del Problema 1.

Las notas asociadas al circuito indican lo siguiente:

- FD es un Fotodiodo con voltaje en conducción despreciable y M1 es un Transistor con V_{th} despreciable.
- La ampolleta produce un brillo nominal, cuando por ella pasa una corriente de 0.75 [A].
- La fuente de la cual Alan extrajo el circuito dice "Soft ON". Alan asocia esto a la ampolleta.

Alan quiere usar este circuito tanto para probarlo en su casa, observando como evoluciona su comportamiento de noche a día, como al mismo tiempo para estudio personal en su incansable búsqueda del conocimiento electrónico. Para esto decide usar el transistor 2N7002 que tiene las siguientes curvas relevantes:

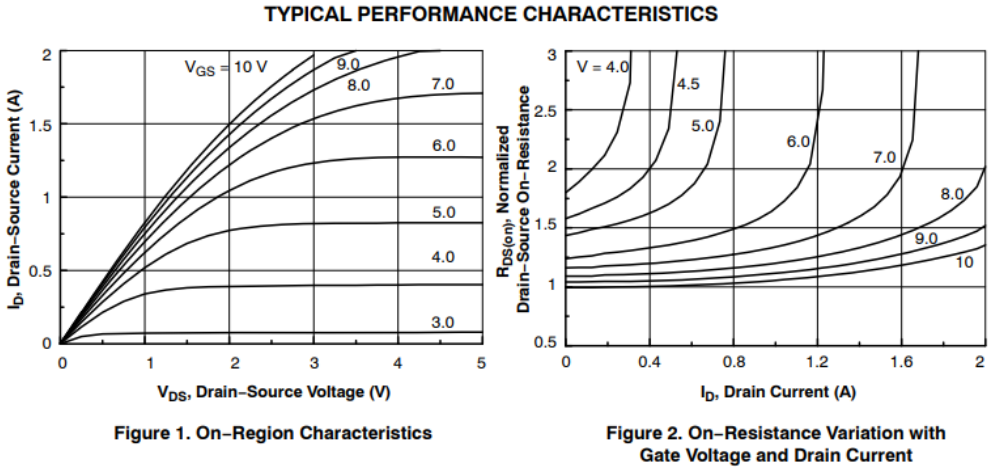


Figura 2: Especificaciones del Transistor 2N7002.

Como siempre, Alan busca a alguien que le ayude a entender el circuito y llega a usted de pura casualidad. En pos de ayudarle, responda las siguientes preguntas:

a) **(2 pt.)** - Dada la información anterior, analice el circuito y explique cómo se comporta en la transición noche a día. Asuma que el capacitor parte descargado y sea explicito en relacionar el estado de conducción del fotodiodo con el circuito R-C, el transistor y la ampolleta. Apóyese con los conceptos, ecuaciones y figuras que estime pertinentes.

b) **(2 pt.)** - Apoyándose en los gráficos del fabricante y los datos del circuito, determine V_{DS} y r_{DS} del transistor en operación de régimen permanente, considerando que la ampolleta encendida se operará a potencia nominal.

c) **(3 pt.)** - Esboce la evolución temporal de V_{GS}, V_{DS} e I_D considerando los estados del fotodiodo. De ser necesario, puede hacer aproximaciones lineales para facilitar los dibujos, pero en cualquier caso debe especificar puntos relevantes como el inicio de la conducción, límites extremos de voltaje y corriente, etc...

d) **(2 pt.)** - Esboce la trayectoria del punto de operación Q del circuito en el gráfico $I_D - V_{DS}$ desde que el fotodiodo está en corte y hasta que el circuito se estabiliza. Explicite el punto de inicio y el punto de término (o de estabilización del circuito) e indique los modos de operación por los que pasa el transistor en el proceso.

e) **(1 pt.)** - Si se asume que un circuito de este tipo se considera en régimen permanente luego de transcurridas cinco constantes de tiempo, ¿cuánto tiempo le toma a este circuito establecerse?. **Hint: Tenga cuidado al calcular la constante de tiempo... Thévenin podría serle útil.**

Pauta I2

P1

a) El circuito es muy similar al del control 7, la diferencia es la disposición del Fotodiodo y el circuito RC anexo.

⇒ Mientras no hay luz solar (noche)

⇒ FD está abierto, $V_{GS} = 0$ y la ampolleta está apagada. pues el transistor no conduce.

⇒ Con luz solar (día)

⇒ FD para a cortocircuito, V_{GS} comienza a subir lentamente gracias a la carga de C y la ampolleta se enciende lentamente gracias a que el transistor incrementa I_D. La ampolleta queda encendida cuando C se carga a 8V.

2) El valor de V_{DS} y R_{DS} se determinan con las curvas:

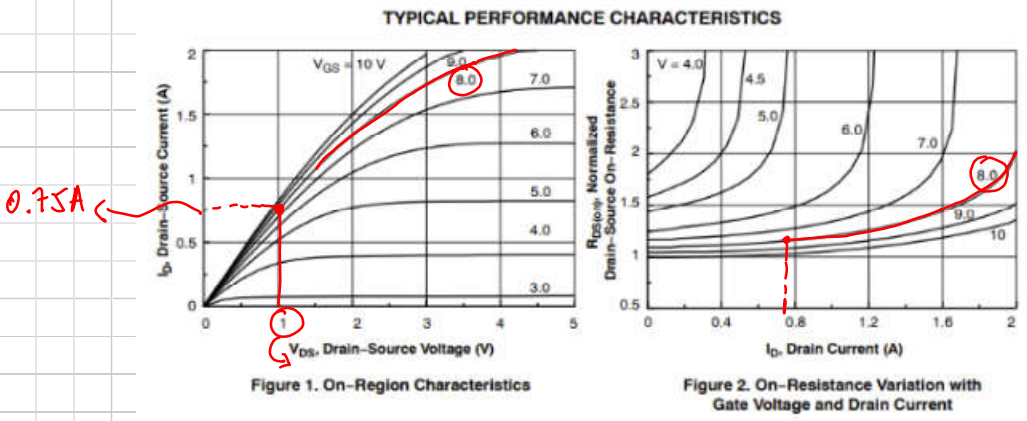


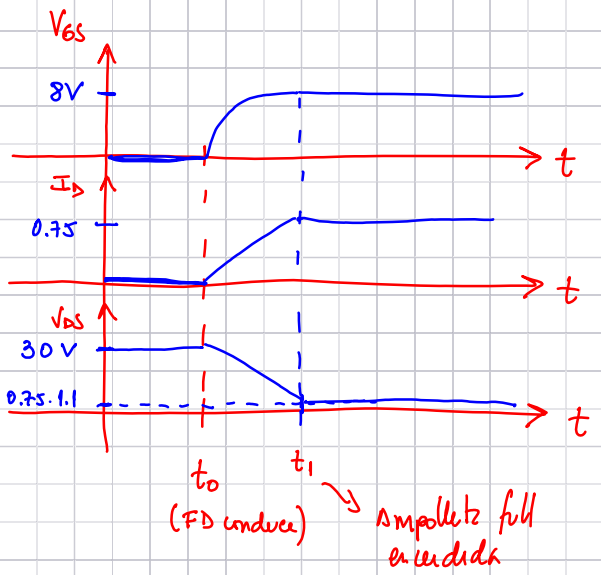
Figure 1. On-Region Characteristics

Figure 2. On-Resistance Variation with Gate Voltage and Drain Current

V_{GS} es 8V cuando la ampolleta queda full encendida.

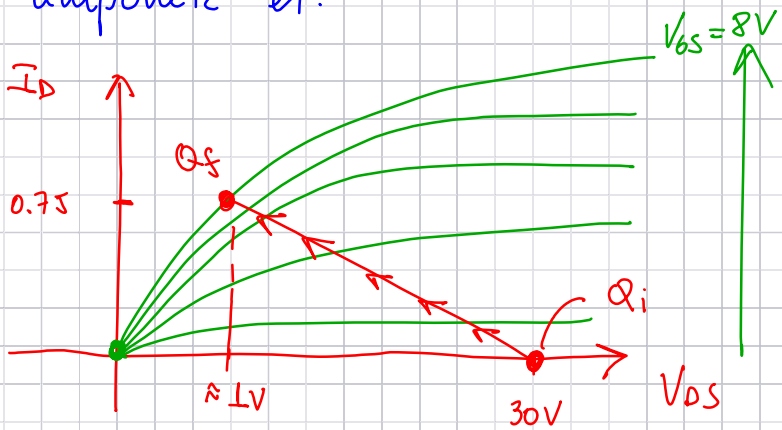
$V_{DS} \approx 1V$ // $r_{ds} \approx 1.1\,\Omega$ //

c) Se pide la evolución temporal de V_{GS}, I_D y V_{DS}



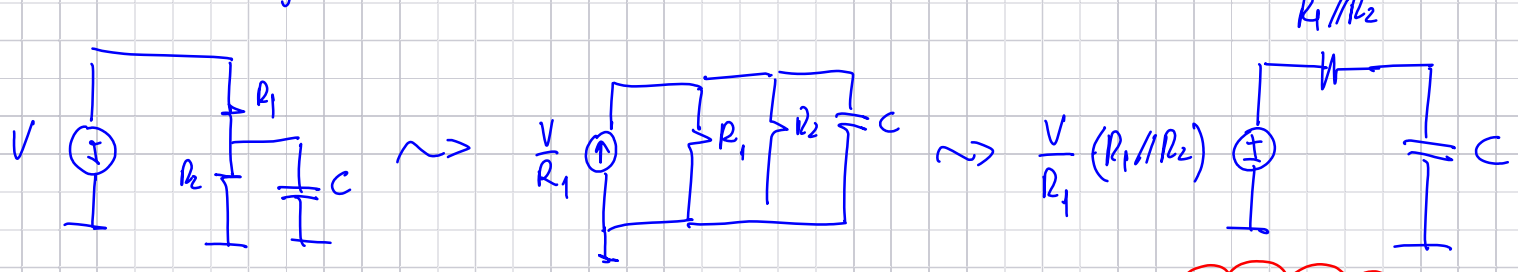
Gráfico

d) La trayectoria del punto Q desde que comienza a encender la ampolleta es.



El transistor parte en Corte, pasa por región activa en cuanto V_{GS} baja hasta llegar a $V_{GS}=8$ con una curva en Triodo.

e) La constante de tiempo del circuito se calcula usando la Capacitancia y la resistencia total que le ayuda a cargarse.



$\Rightarrow \tau = (R_1//R_2)\cdot C \Rightarrow$ En ckt $\begin{cases} R_1 = 2M\Omega \\ R_2 = 0.75M\Omega \\ C = 10\mu F \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \tau = 5.45\ seg \\ 5\tau = 27.2\ seg \end{cases}$

P2: ¿Vietnam? (15 puntos)

Para cierta aplicación, Alan Brito Delgado requiere fabricar una fuente de voltaje regulada de 12V. Buscando por ahí, encontró el siguiente circuito:

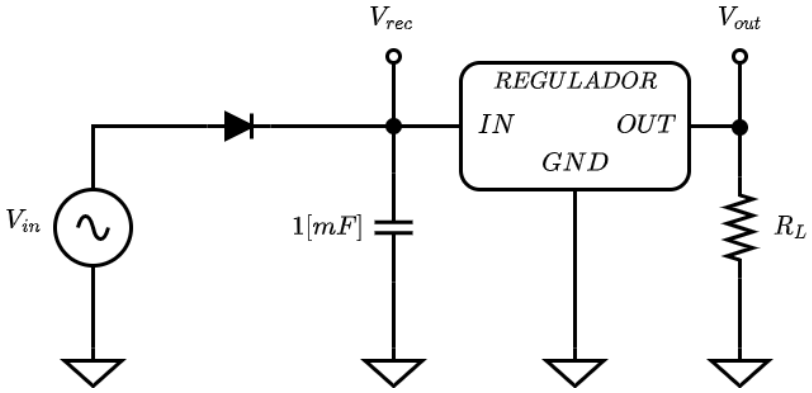


Figura 3: Circuito del Problema 2.

En su diseño particular, el va a utilizar los siguientes componentes:

- V_{in} proviene del secundario de un transformador conectado a la red eléctrica de 220 [V_{RMS}] / 50 [Hz], tal que produce un voltaje sinusoidal de amplitud 18 [V] y frecuencia 50 Hz.
- Un diodo rectificador con caída constante en conducción de 0.7[V].
- Un regulador de voltaje LM7812, que es capaz de producir en su salida un voltaje de 12 [V], sin rizado, mientras el voltaje en su entrada sea mayor a 14.6 [V], con una corriente despreciable desde su pin de tierra.
- R_L es una resistencia que representa la carga que se alimentará desde la fuente regulada.

Alan quiere verificar los límites de correcta operación del circuito y le tiene las siguientes preguntas, las cuales cree que podrá ser más fácil de analizar usando gráficos.

a) **(3 pt.)** - Bosqueje la forma de onda en el tiempo y régimen permanente del voltaje de los nodos signados como V_{in}, V_{rec} y V_{out}, **asumiendo que se respetan al límite todos los requisitos de operación.** Indique puntos relevantes, y , sin valores, establezca las regiones temporales de conducción del diodo y descarga del capacitor.

b) **(4 pt.)** - Explique como afecta la corriente de carga en la forma de onda V_{rec} considerando la interacción diodo-capacitor y cómo se provee corriente a la carga; luego determine el rango de valores de R_L que mantiene al nodo de salida sin rizado y la máxima corriente de carga asociada. **Hints: Recuerde la ecuación de corriente en un capacitor.**

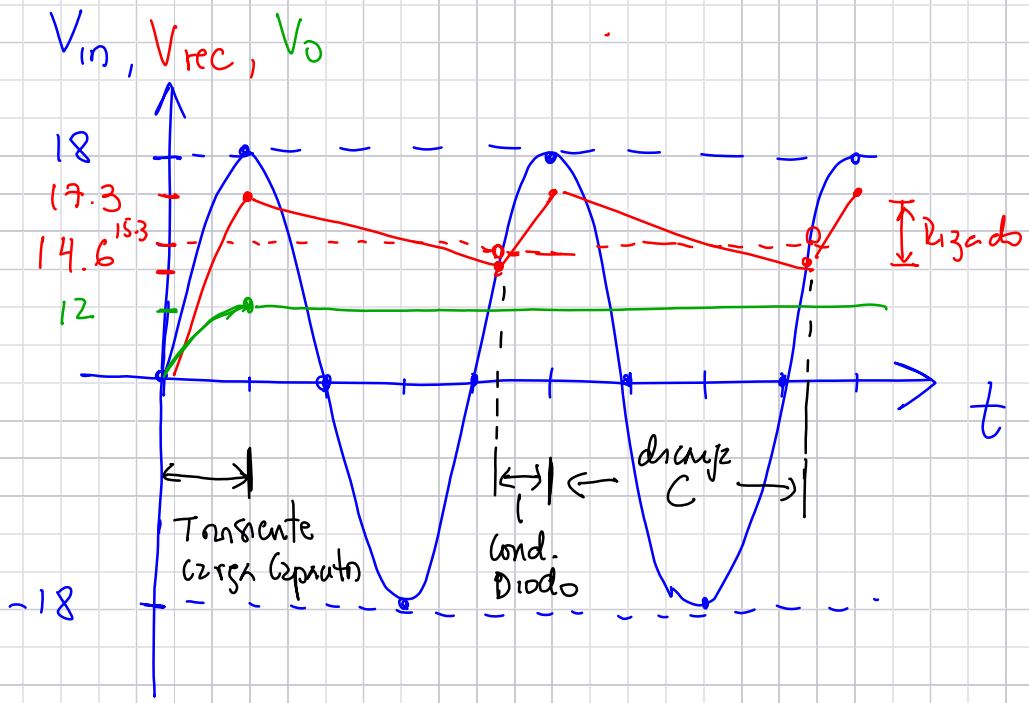
c) **(3 pt.)** - Determine el **peor caso** de PIV (Voltaje Peak Inverso) al que se ve sometido el diodo. ¿A qué resistencia R_L corresponde este caso?

d) **(2.5 pt.)** - Calcule la potencia promedio disipada por el diodo, en un ciclo de entrada, cuando R_L es el valor mínimo operacional.

e) **(2.5 pt.)** - Estime la potencia promedio disipada por el regulador, en un ciclo de entrada, cuando R_L es el valor mínimo operacional.

P2|

a) Los graficos, segun la condicion solicitada son:



Periodo V_{in} = 20 mseg.

Rizado = 2.7 V.

b) Se pide explicar como afecta la corriente de carga en el nodo V_{REC}

↳ 1) El Diodo solo opera en el tiempo definido entre $V_{REC_{MIN}}$ y $V_{REC_{MAX}}$ para abastecer la carga y cargar C. Este tiempo es pequeño

2) El capacitor entrega corriente a la carga cuando esta cargado en su peak y se descarga segun la corriente solicitada Io

↳ $I_c = C \cdot \frac{dV_c}{dt} \Rightarrow I_o = C \cdot \frac{V_{REC}^{MAX} - V_{REC}^{MIN}}{(\Delta t_{DESCARGA})}$

$I_c = I_o$ con diodo apagado

(Negativo en descarga)

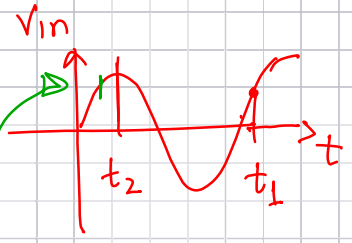
Mientras mayor es la corriente I_o, la pendiente de descarga crece y el Ripple Aumenta (V_{REC}^{MIN}, baja más).

Ahora la pregunta de límites.

↳ El límite superior para $R_L = \infty$, pues $I_o = 0$ y no habría descarga del capacitor. $\left(\frac{dV_c}{dt} = 0\right)$

↳ El límite inferior para R_L se calcula con la ecuación del capacitor y determinando el tiempo de descarga para $V_{REC}^{MIN} = 14.6$

$$\Delta t_{DESCARGA} = t_1 - t_2 = \left(\frac{Arcsin\left(\frac{15.3}{18}\right)}{100\pi} + 20m\right) - \frac{Arcsin\left(\frac{18}{18}\right)}{100\pi}$$



V_{in} 15.3V $= V_{rec}$ 14.6V ; V_{in} 18V $= V_{rec}$ 17.3V

$= 18.2\,[ms]$

Por tanto el diodo solo está activo 1.8 ms

$18 \cdot \sin(100\pi \cdot t_1) = 15.3$ // $18 \cdot \sin(100\pi \cdot t_2) = 18$

↳ No detecta la primera vez que pasa por 14.6

↳ No detecta el instante donde alcanza el peak

Así:

$$I_0 = \frac{V_0}{R_{MIN}} = C \cdot \frac{V_{REC_{PK}} - V_{REC_{MIN}}}{\Delta t_{descarga\ cap.}}$$

$$\Rightarrow R_{MIN} = \frac{V_0 \cdot \Delta t_{descarga\ cap}}{C\left(V_{REC_{PK}} - V_{REC_{MIN}}\right)}$$

$V_0 \rightarrow 12V$; $\Delta t_{descarga\ cap} \rightarrow 18.2\ ms$; $C \rightarrow 1mF$; $\Delta V = 2.7V$

$$\Rightarrow R_{MIN} = 81\ [\Omega]$$

$$I_{max} = \frac{12}{81} = 148.1\ mA \approx 150\ mA$$

c) El peor caso de PIV se da, si el capacitor retiene el voltaje peak sin descargarse ($R_L = \infty$)

$$\text{PIV} = V_{cap}^{PK} - V_{IN_{MIN}} = 17.3 - (-18) = 35.3[V]$$

d) La potencia promedio disipada por el diodo en un ciclo de conducción es:

$$\langle P \rangle = V_D \cdot \langle I_D \rangle = V_D \cdot I_0$$

V_D: Voltaje Diodo Conducción

$\langle I_D \rangle$: Corriente media del diodo en conducción

$R_L = 81\ \Omega$

$$\langle P_D \rangle = 0.7 \cdot \left(\frac{12}{81}\right) = 103.7\ mW$$

e) La potencia promedio disipada por el regulador

$$\langle P_{REG} \rangle = \langle V_{REG} \rangle \cdot I_0 = \left(\langle V_{REG}^{IN} \rangle - V_0\right) \cdot \frac{V_0}{R_{MIN}} = \left(\frac{17.3 + 14.6}{2} - 12\right)\frac{12}{81}$$

$$= 0.585\ W \approx 0.6\ W$$

P3: El Separador... (10 puntos)

Considere el siguiente circuito:

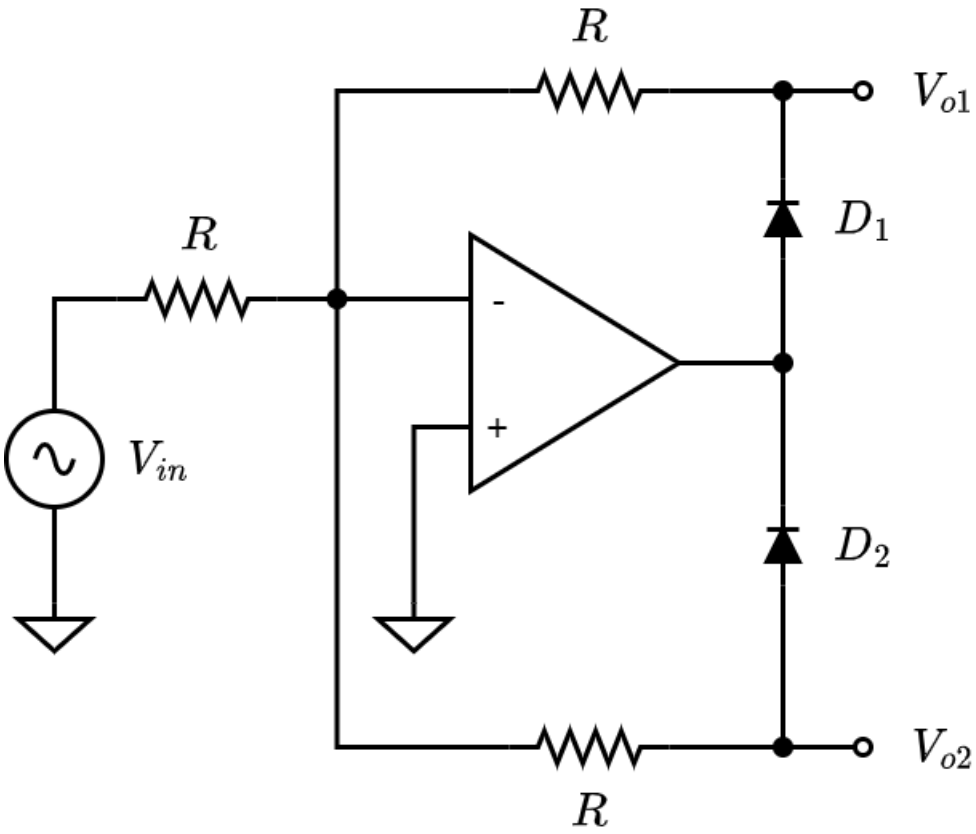


Figura 4: Circuito del problema 3

A éste circuito se le conoce como separador de polaridad. Del circuito se sabe que:

- El OpAmp es ideal.
- Los diodos D_1 y D_2 son ideales.

A continuación, y en una forma de entender el funcionamiento del circuito, responda las siguientes preguntas.

a) **(5 pt.)** - Determine las curvas de transferencia V_{o1} v/s V_{in} y V_{o2} v/s V_{in} y con ellas explique cómo funciona la separación de polaridad.

b) **(3 pt.)** - Esboce las formas de onda de V_{in}, V_{o1} y V_{o2} cuando V_{in} es una sinusoide pura de amplitud 5[V] y frecuencia f.

c) **(2 pt.)** - ¿Qué circuito debe agregar a cada salida para obtener una separación de polaridad coherente, y ganancia de magnitud 2? Considere que tiene a disposición OpAmps Ideales y elementos pasivos. Dibuje el circuito completo incluyendo éstos bloques coherentes.

P3)

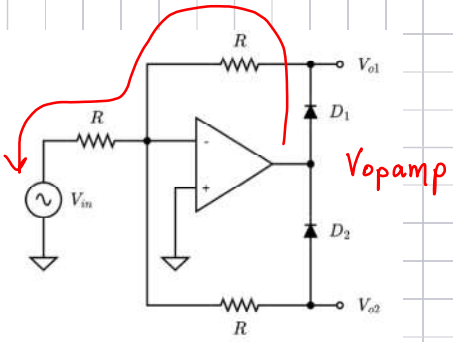
a) Analizar brevemente el circuito no ayuda mucho.

↳ Los lazos de realimentación se cierran cuando los diodos respectivos conducen al menos alternado

⇒ El que cierre, produce un buffer inverso con V_{in}.

↳ Ambos lazos de realimentación se cierran simultáneo si $V_{OUT}^{opamp} = 0$ y $V_{in} = 0$. ⇒ $V_{o1} = V_{o2} = 0$.

⇒ Cuando cierra D_1? y Cuando cierra D_2?



$V_{opamp} > V_{o1}$

Si $V_{in} < 0$ y D_1 está cerrado

↳ $V_{opamp} = V_{o1} = -V_{in}$

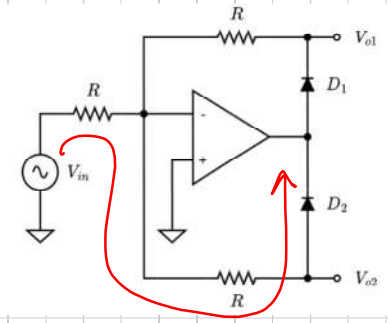
↳ $V_{o1} > 0$ ✓✓

Si $V_{in} > 0$ y D_1 está cerrado

↳ $V_{opamp} = V_{o1} = -V_{in}$

↳ $V_{o1} < 0$ XX

Para $V_{in} > 0$, $V_{o1} = 0$



$V_{opamp} < V_{o2}$

Si $V_{in} < 0$ y D_2 está cerrado

↳ $V_{opamp} = V_o = -V_{in}$

↳ $V_{o2} > 0$ XX

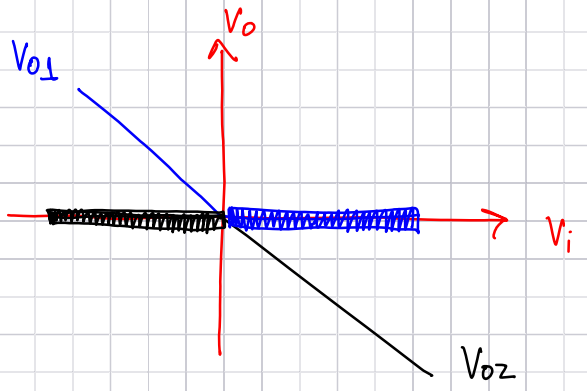
Para $V_{in} < 0$, $V_{o2} = 0$

Si $V_{in} > 0$ y D_2 está cerrado

↳ $V_{opamp} = V_{o2} = -V_{in}$

↳ $V_{o2} < 0$ ✓✓

Ahora es facil hacer las curvas pedidas:



Cuando $V_{in} > 0$
$V_{o1} = 0$
$V_{o2} = -V_{in}$
Cuando $V_{in} < 0$
$V_{o1} = -V_{in}$
$V_{o2} = 0$

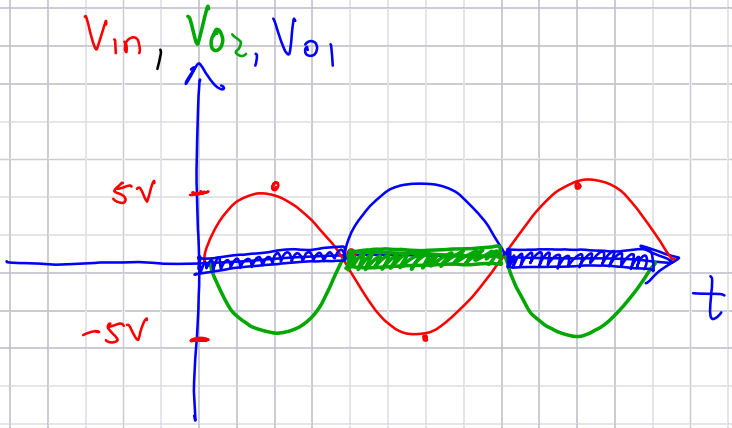
$\Rightarrow$ Basicamente el circuito separa las componentes positiva y negativa de la señal V_{in} y las entrega invertidas en

$V_{o1} = -$ (Parte negativa de V_{in}) (Resultado > 0)

$V_{o2} = -$ (Parte positiva de V_{in}) (Resultado < 0)

b) Si $V_{in} = 5 \cdot \sin(2\pi f t)$

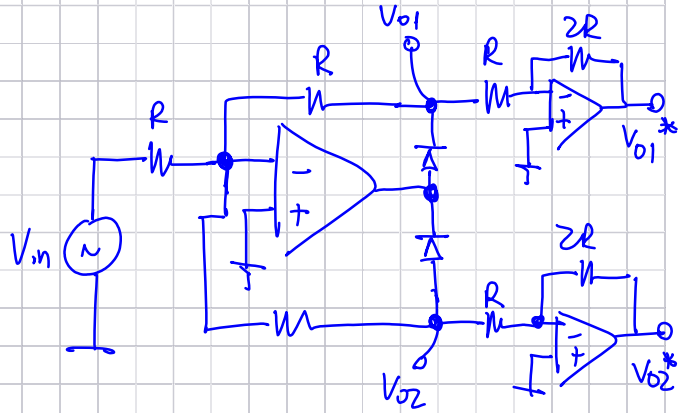
↳



El circuito en V_{o1} y V_{o2} es una especie de Rectificador de media onda pero inversor.

c) Lo mas facil es agregar un Amplificador inversor a cada salida y con Razón resistiva 2 y sus salidas serán coherentes

$\Rightarrow$ $V_{o1}^* =$ Parte negativa V_{in}
$V_{o2}^* =$ Parte positiva V_{in}



P4: El Clásico (15 puntos)

Considere el siguiente circuito amplificador:

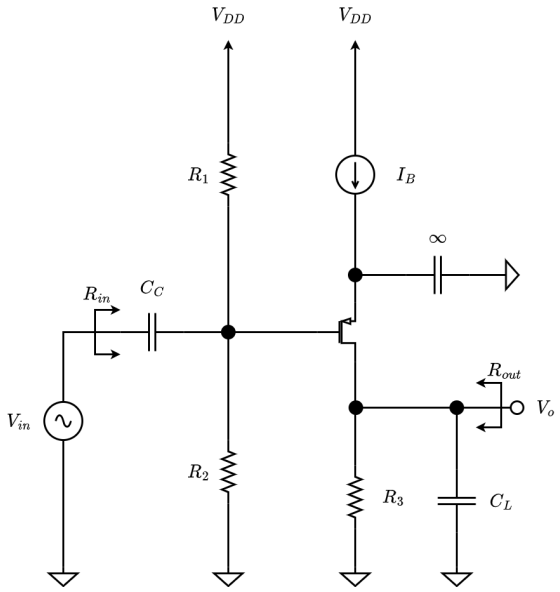


Figura 5: Circuito del problema 4

Del circuito se sabe que:

- $V_{DD} = 15[V]$ e $I_B = 2[mA]$
- $R_1 = 10[k\Omega]$, $R_2 = 20[k\Omega]$ y $R_3 = 4[k\Omega]$
- $C_C = 100[nF]$ y $C_L = 10[pF]$
- El transistor tiene $|V_{th}| = 1[V]$ y $|V_A|$ muy grande. Además, para la corriente de polarización definida, opera con $|V_{OV}| = 2[V]$.

A continuación:

a) **(2 pt.)** - Identifique el tipo de Amplificador Básico (CS, CS c/D, CG o CD) que configura el transistor para la señal V_{in}.

b) **(3 pt.)** - Determine el punto de operación DC ($|V_{GS}|$, $|V_{DS}|$, I_D) del transistor usando las ecuaciones de gran señal que correspondan, y explicite el modo de operación del transistor.

c) **(2 pt.)** - Determine el/los parámetros de pequeña señal del transistor que correspondan y dibuje el circuito amplificador en pequeña señal, con la mínima cantidad de componentes.

d) **(3 pt.)** - Determine, **en la banda pasante**, las resistencias de entrada R_{in} y salida R_{out} y la ganancia del circuito definida como $\dfrac{V_o}{V_{in}}$.

e) **(2 pt.)** - Determine la función de transferencia del circuito, definida como $\dfrac{V_o(s)}{V_{in}(s)}$

f) **(3 pt.)** - Determine el diagrama de Bode de magnitud y fase completo del circuito. Su gráfico debe incluir aquellos puntos relevantes además de: la ganancia en banda pasante, la/las frecuencia/s de corte y su/s pendiente/s, y desfases inicial y final

P4| Este circuito es un amplificador con PMOS.

a) La entrada de señal es por GATE
La salida es por DRAIN
El común es SOURCE (gracias al ByPass)
Y no tiene resistencia en SOURCE.

↳ **AMPLIFICADOR CS**

b) Se pide el punto de operación DC

$$I_D = I_B = 2mA$$

$$|V_{GS}| = |V_{OV}| + |V_{TH}| = 2 + 1 = 3\ [V]$$

$|V_{DS}|$ es un poco más complejo:

↳ $V_D = R_3 \cdot I_B = 4k \cdot 2mA = 8[V]$

↳ $V_G = \frac{V_{DD}}{R_1+R_2} \cdot R_2 = \frac{15}{30k} \cdot 20k = 10\ V$

↳ $V_S = V_{SG} + V_G = 3 + 10 = 13\ V$

Así: $|V_{DS}| = |8 - 13| = 5\ [V]$ //.

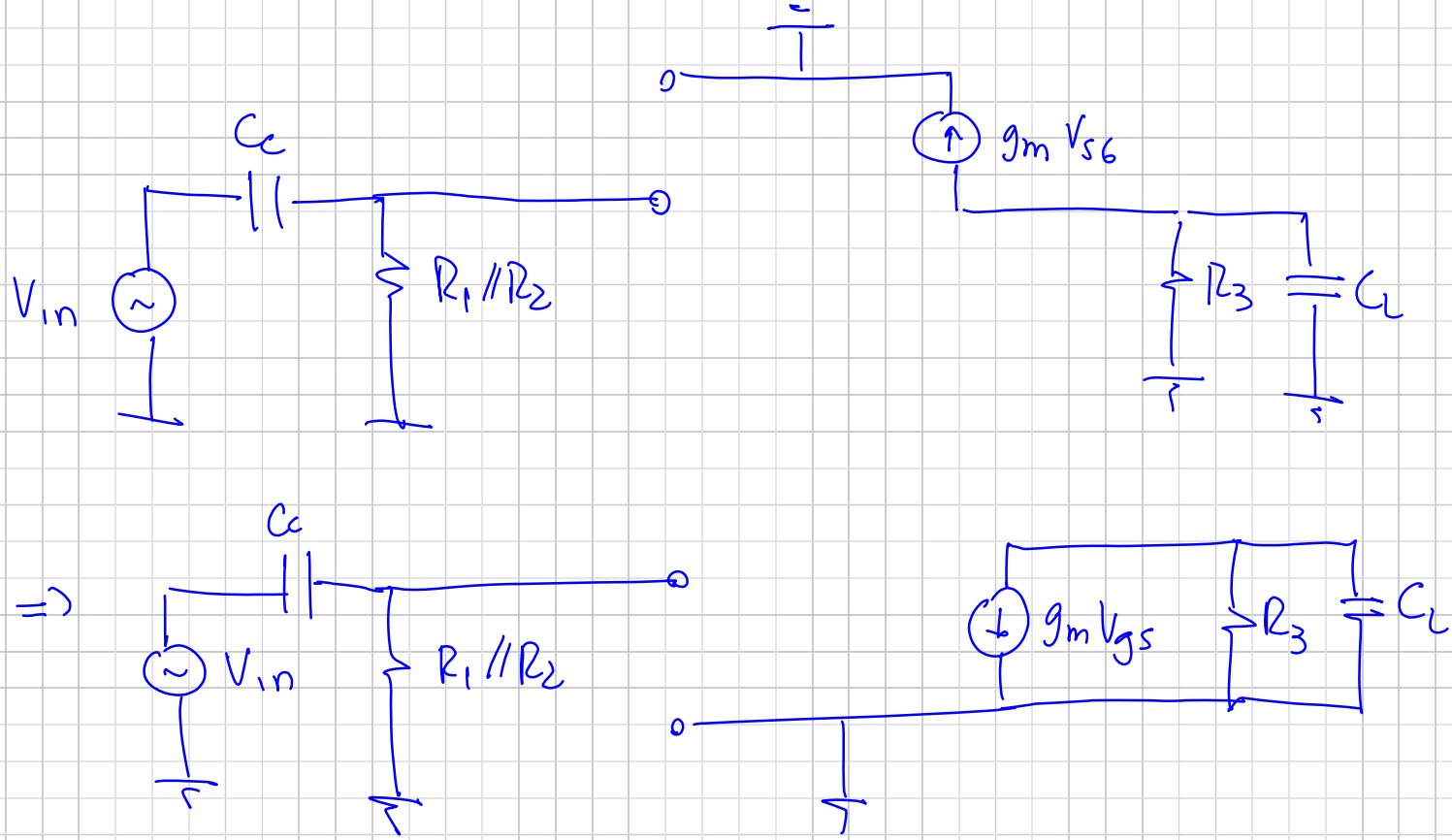
Y luego $|V_{GS}| > |V_{TH}| \iff 3 > 1$ VV
$|V_{DS}| > |V_{OV}| \iff 5 > 2$ VV

} ACTIVA

c) Como $|V_A| = \infty$, $r_o = \infty$, por lo que solo necesitamos g_m.

↳ $$g_m = \frac{2I_D}{|V_{OV}|} = \frac{2 \cdot 2mA}{2V} = 2\frac{mA}{V} = 2mS$$

Y como estamos ante un amplificador CS lo mejor es usar modelo π:



d) ¿Qué pasa con los capacitores C_c y C_L en banda media?

↳ C_c debe dejar pasar la señal para tener ganancia
↳ Cortocircuito

↳ C_L debe estar abierto para no llevar la salida a tierra.
↳ Circuito Abierto

Del circuito R_{in} y R_{OUT} salen por inspección:

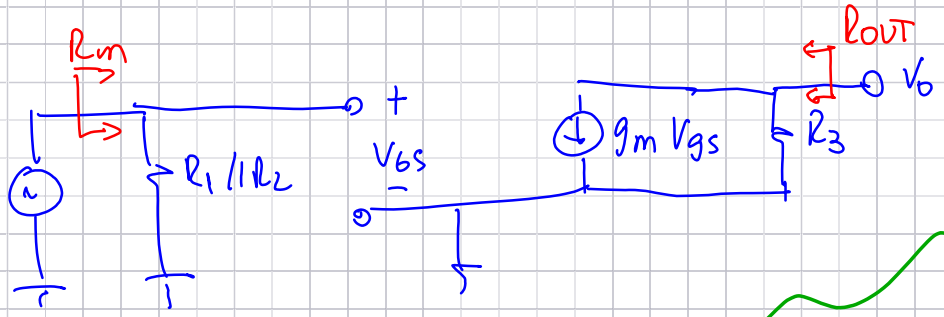
↳ $R_{in} = R_1 // R_2 = \frac{20}{3} k\Omega = 6.\bar{6}\ k\Omega$

↳ $R_{OUT} = R_3 = 4 k\Omega$

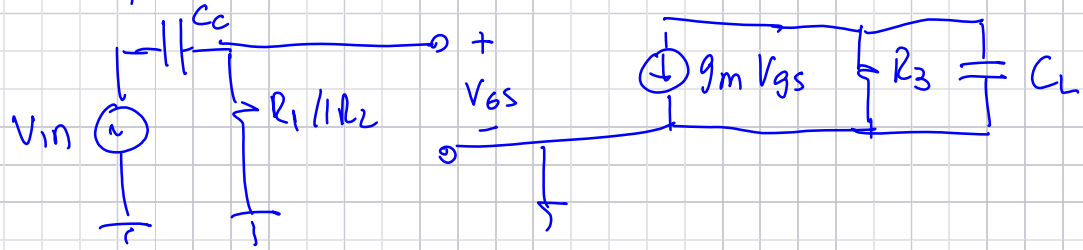
Y la ganancia es: $\frac{V_o}{V_i} = -g_m \cdot R_3 = -2\,mS \cdot 4k = -8\,\frac{V}{V}$

El circuito en banda pasante es:

↳



e) La función de transferencia, implica calcular el comportamiento del circuito para todas las frecuencias incluyendo el efecto de C_L y C_C.



↳ $V_{GS} = \frac{V_{IN}}{Z_{CC} + R_1 // R_2} \cdot R_1 // R_2 \Rightarrow \frac{V_o}{V_{GS}} = -g_m (R_3 // Z_{C_L})$

Así:

$$\frac{V_o}{V_{IN}} = -\frac{g_m (R_3 // Z_{C_L})(R_1 // R_2)}{Z_{C_C} + R_1 // R_2} = -\frac{\left[g_m \cdot R_3 \cdot (R_1 // R_2) \cdot C_C\right] \cdot s}{(1 + s C_C (R_1 // R_2))(1 + s C_L R_3)}$$

Aplicando valores:

$$K = g_m R_3 \cdot (R_1 // R_2) \cdot C_c = 5.\overline{3} \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{K \cdot s}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}$$

$$\tau_1 = C_c (R_1 // R_2) = 6.\overline{6} \cdot 10^{-4}$$

$$\rightarrow \boxed{P_1\,(Hz) = \frac{1}{2\pi\tau_1} \approx 239\ Hz}$$

→ 1 cero en origen

2 polos $\left(\frac{1}{\tau_1} \text{ y } \frac{1}{\tau_2}\right)$

$$\tau_2 = C_L \cdot R_3 = 4 \cdot 10^{-8}$$

→ Distancia en décadas $\approx$ 4 décadas

$$\rightarrow \boxed{P_2\,(Hz) = \frac{1}{2\pi\tau_2} \approx 4\ MHz}$$

f) Con lo anterior, el diagrama de bode queda:

