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

Interrogación 2 - Total 50 Puntos
El Arco de la Redención

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: No se pegue en los problemas... si se ve atascad@, cámbiese de problema y ello probablemente le ayude a despejarse!.**
- **WARNING 4: 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.**

P1: El Clásico (15 puntos)

Considere el siguiente circuito amplificador:

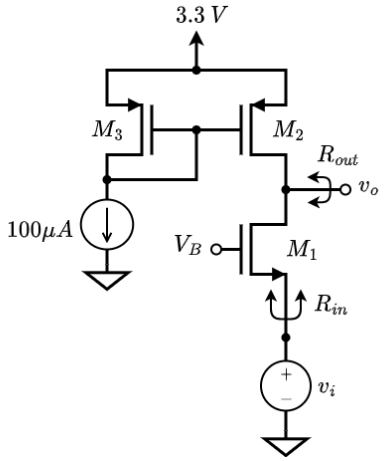


Figura 1: Amplificador

De los componentes del circuito se sabe lo siguiente:

- M1, M2 y M3 son de distinto sabor pero han sido construidos de forma tal que sus curvas $|I_D|$ v/s $|V_{DS}|$ e $|I_D|$ v/s $|V_{GS}|$ son idénticas.
- Los transistores tienen constante de construcción idéntica: $\mu_n C_{ox}(\frac{W}{L}_n) = \mu_p C_{ox}(\frac{W}{L}_p) = \mu C_{ox}(\frac{W}{L}) = 4[\frac{mA}{V^2}]$
- Los transistores tienen $|V_{th}| = 0.8$[V] y $|V_A| = 20$ [V]
- El voltaje de entrada v_i es una señal sinusoidal pequeña sin componente DC; y V_B es un voltaje DC de polarización.

A continuación responda:

a) ¿Qué tipo de amplificador constituye M1? (CS, CS-Deg, CD o CG)

b) Si los transistores M3 y M2 son idénticos constructivamente hablando, ¿qué puede decir de sus voltajes V_{DS} si la corriente I_D por ellos es la misma?.

c) Determine el valor de los voltajes V_{GS} y V_{DS} de los transistores M3 y M2 y compruebe que ambos están en modo activo. Desprecie el efecto de V_A para este cálculo.

d) Determine el voltaje V_B requerido para que el transistor M1 esté polarizado con una corriente I_D de 100 [μA], y luego verifique que está en modo activo. No desprecie el efecto de V_A para este cálculo.

e) Dibuje el circuito de pequeña señal con el mínimo número de componentes (eliminando los dispositivos/componentes que no tienen relevancia en los cálculos de pequeña señal), y determine los parámetros de pequeña señal g_m y r_o de los dispositivos relevantes.

f) Determine el valor de R_{in}, vista desde v_i

g) Determine el valor de R_{out}, vista desde v_o

h) Calcule la ganancia $\frac{v_o}{v_i}$

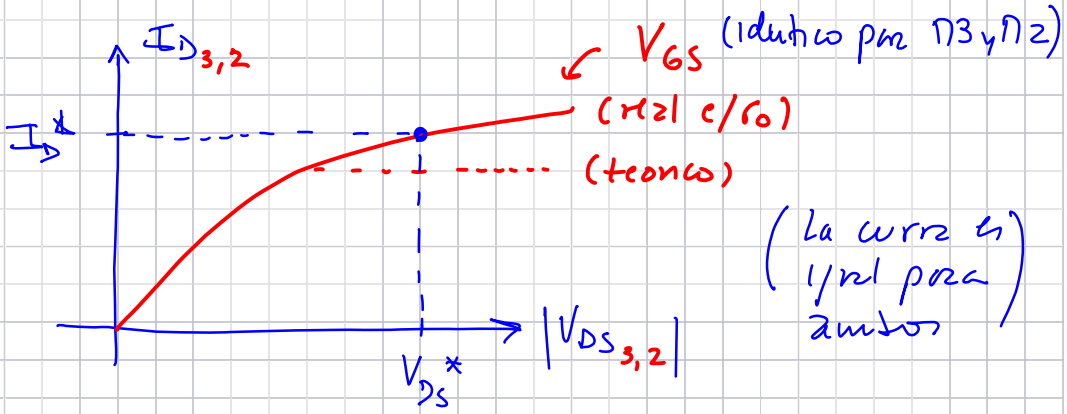
Pauta I2

P1

a) El amplificador es de tipo CG $\left\{ \begin{array}{l} \text{IN: SOURCE (S)} \\ \text{OUT: DRAIN (D)} \\ \text{COM: GATE (G)} \end{array} \right.$

b) Dado que M3 y M2 son idénticos en todo aspecto, es de esperar que para el mismo I_D e igual V_{GS}, V_{DS} es el mismo.

→ Si tiene la duda, vea el gráfico:



→ Si tiene la duda, vea en la ecuación

$$I_{D_3} = I_{D_2}$$

$$\frac{1}{2} k_3 \left(|V_{GS_3}| - |V_{th_3}| \right)^2 \left(1 + \lambda_3 |V_{DS_3}| \right) = \frac{1}{2} k_2 \left(|V_{GS_2}| - |V_{th_2}| \right)^2 \left(1 + \lambda_2 |V_{DS_2}| \right)$$

↳ $|V_{GS_3}| = |V_{GS_2}|$; $|V_{th_3}| = |V_{th_2}|$; $\lambda_3 = \lambda_2$; $k_3 = k_2$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{|V_{DS_3}| = |V_{DS_2}|}$$

c) $I_{D_3} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \left(|V_{GS_3}| - |V_{th_3}| \right)^2$

$100\,\mu A = 2000 \frac{\mu A}{V^2} \left(|V_{GS_3}| - 0.8 \right)^2$

↳ $|V_{GS_3}| = \begin{cases} 1.023 > |V_{th}| \ \checkmark \\ 0.5 < |V_{th}| \ \times \end{cases}$

$|V_{DS_3}| = |V_{DS_2}| = |V_{GS_3}| = 1.023$

Ambos transistores en modo activo!

d) Se pide V_B

↳ $I_{D_1} = \frac{1}{2} k \left(V_{GS_1} - V_{th_1} \right)^2 \left(1 + \lambda V_{DS_1} \right)$

Pero $V_{DS_1} = V_{DD} - |V_{DS_2}| = 3.3 - 1.023 = 2.277\,[V]$

↳ $100\,\mu A = 2000 \frac{\mu A}{V^2} \left(V_B - 0.8 \right)^2 \left(1 + 0.05 \cdot 2.277 \right)$

↳ $V_B = \begin{cases} 0.588 < V_{th} \ \times \\ 1.011 > V_{th} \ \checkmark \end{cases} \Rightarrow V_{GS_1} = 1.011$

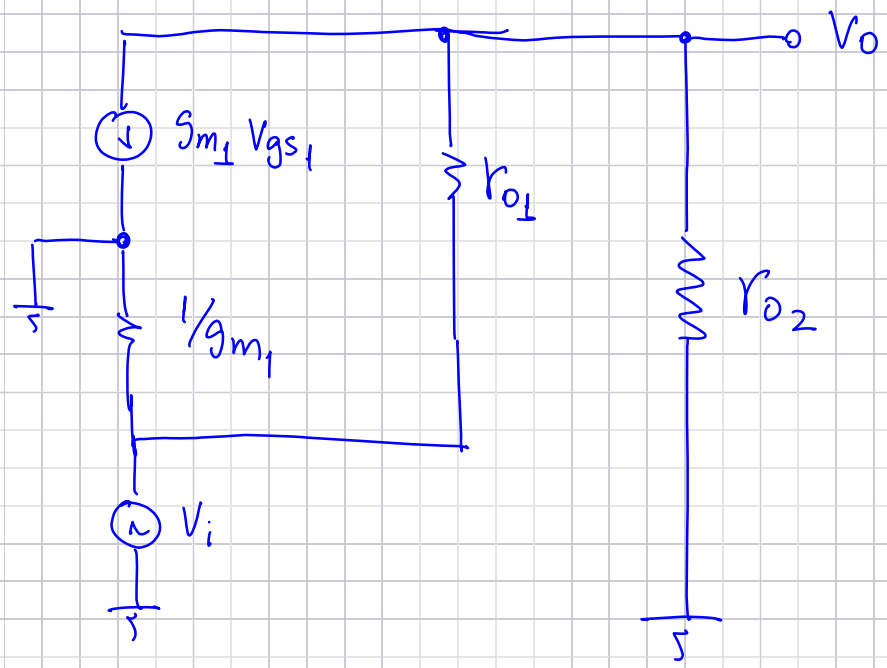
$V_{DS_1} = 2.277$

El transistor opera en modo activo!

e) Para efectos de solucion-prueba, usamos modelo T. El modelo π debe dar la misma solución

De todo lo componentes solo quedan M_1 y r_{o_2}

El circuito queda:



Donde:

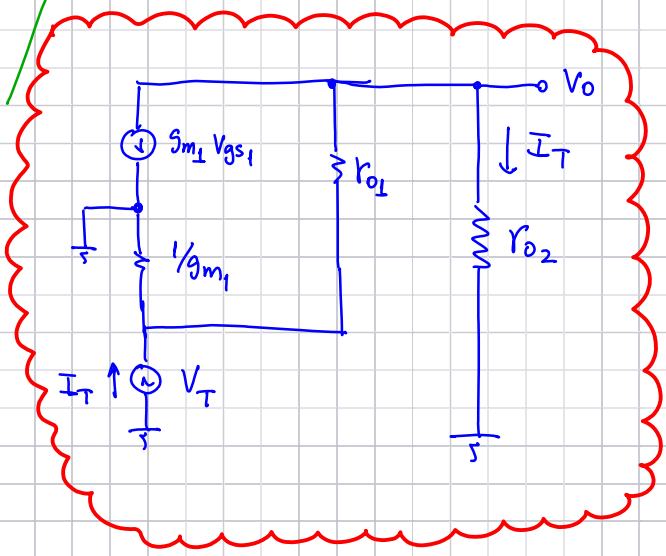
$$g_{m_1} = \frac{2 \cdot I_D}{V_{OV}} = 0.947 \frac{mA}{V} \; ; \; r_{o_1} = r_{o_2} = r_o = \frac{V_A}{I_{D_1}} = 200[k\Omega]$$

A continuación, para el cálculo de las variables solicitadas lo haremos vía algebraica de forma de reducir el error de arrastre numérico.

f) Para R_{in}, reemplazamos V_{in} por V_T y planteamos las ecuaciones respectivas:

(1) $\dfrac{V_T}{\frac{1}{g_{m_1}}} + \dfrac{V_T - V_o}{r_{o_1}} = \dfrac{V_o}{r_{o_2}}$

(2) $\dfrac{V_o}{r_{o_2}} = I_T$



De (1):

$$\frac{V_T}{\frac{1}{g_{m_1}}} + \frac{V_T}{r_{o_1}} = \frac{V_o}{r_{o_1}} + \frac{V_o}{r_{o_2}}$$

$$V_o = r_{o_2} \cdot I_T$$

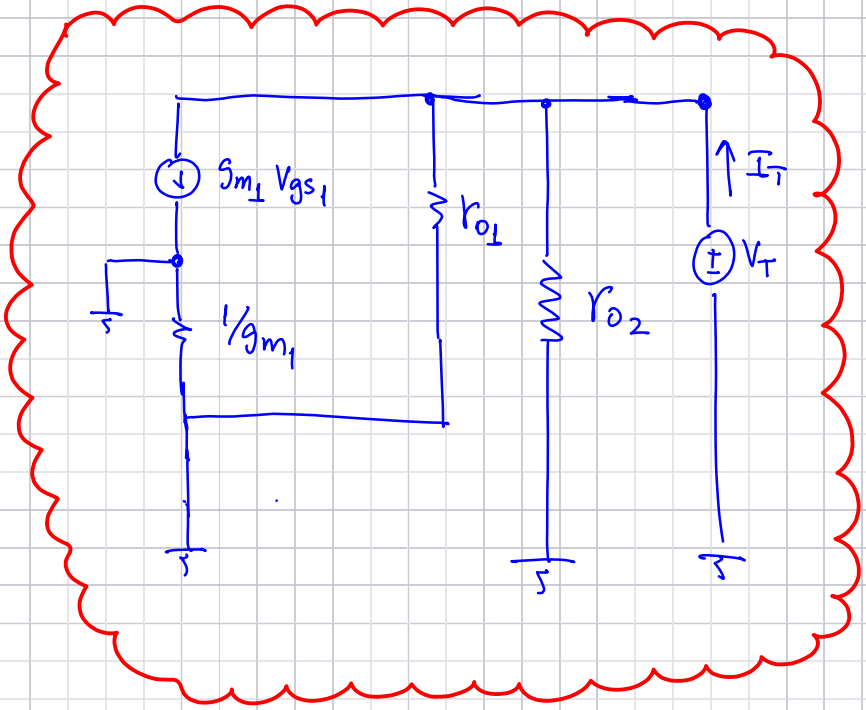
$$\frac{V_T}{\frac{1}{g_{m_1}} /\!/ r_{o_1}} = \frac{V_o}{r_{o_1} /\!/ r_{o_2}} \Rightarrow \frac{V_T}{V_o} = \frac{\frac{1}{g_{m_1}} /\!/ r_{o_1}}{r_{o_1} /\!/ r_{o_2}} \Rightarrow \frac{V_T}{I_T} = r_{o_2} \cdot \frac{\frac{1}{g_{m_1}} /\!/ r_{o_1}}{r_{o_2} /\!/ r_{o_1}}$$

Siendo $r_{o_2} = r_{o_1} = r_o$

$$\boxed{\frac{V_T}{I_T} = R_{in} = 2 \cdot \left(\frac{1}{g_{m_1}} /\!/ r_o \right) = 2 \cdot 1 [k\Omega]}$$

g) Para R_{OUT}, apagam V_{in} y conectam una fuente de prueba al nodo V_o.

Siguiente Página



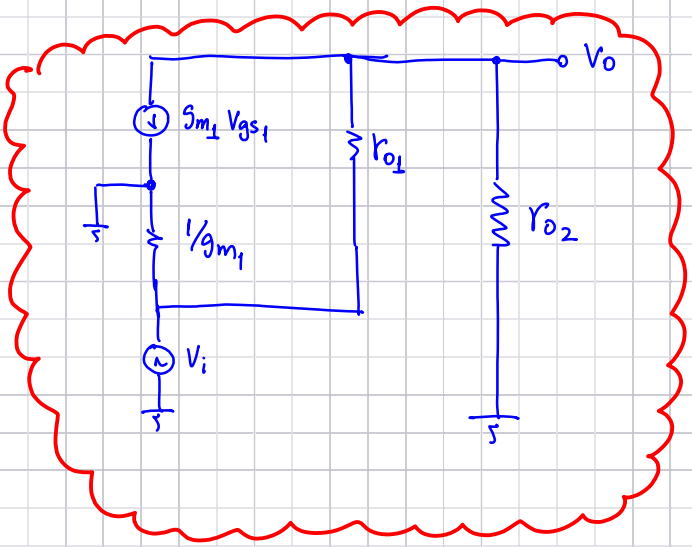
La resistencia $1/g_{m_1}$ está cortocircuitada, por lo que $V_{GS_1} = 0$ y se abre la fuente de corriente del Mosfet, dejando únicamente

$$R_{OUT} = r_{o1} \,//\, r_{o2} = \frac{r_o}{2} = 100\,k\Omega$$

h) Para la ganancia, usamos el circuito original de pequeña señal.

Solo necesitamos una ecuación:

$$\frac{V_{in}}{1/g_{m_1}} + \frac{V_{in} - V_o}{r_{o_1}} = \frac{V_o}{r_{o2}}$$



Desarrollando:

$$\frac{V_{in}}{1/g_{m_1}} + \frac{V_{in}}{r_{o_1}} = \frac{V_o}{r_{o_1}} + \frac{V_o}{r_{o2}} \iff \frac{V_{in}}{\frac{1}{g_{m_1}} \,//\, r_{o_1}} = \frac{V_o}{r_{o_1} \,//\, r_{o2}}$$

$$\hookrightarrow \boxed{\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{r_{o_1} \,//\, r_{o2}}{1/g_{m_1} \,//\, r_{o_1}} = \frac{r_o/2}{1/g_{m_1} \,//\, r_o} = 95.23 \left[\frac{V}{V}\right]}$$

P2: ¿Quien fue Clarence Zener? (10 puntos)

Considere el siguiente circuito:

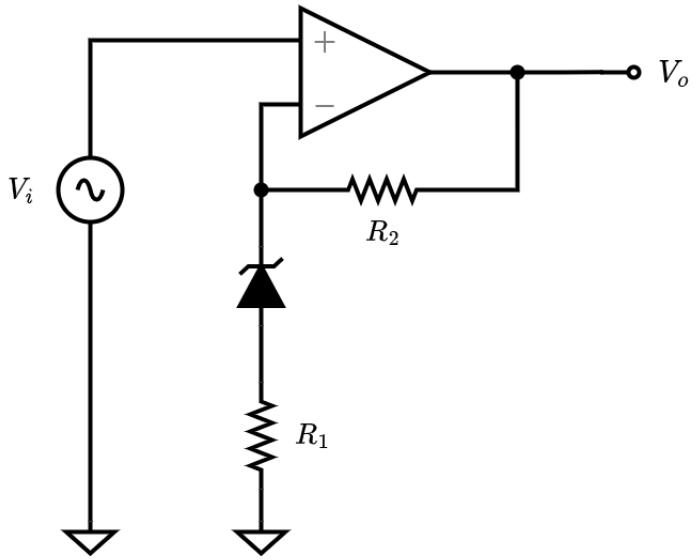


Figura 2: Circuito con Diodo Zener

Del circuito se sabe que:

- El OpAmp es ideal.
- Las resistencias R_1 y R_2 son finitas y no nulas.
- El diodo zener cuando conduce en forma inversa toma un voltaje constante de magnitud V_Z y cuando conduce en forma directa toma un voltaje constante de magnitud V_D. Considere que, en magnitud, V_Z es mayor a V_D.
- V_i es un voltaje que puede tener cualquier forma.

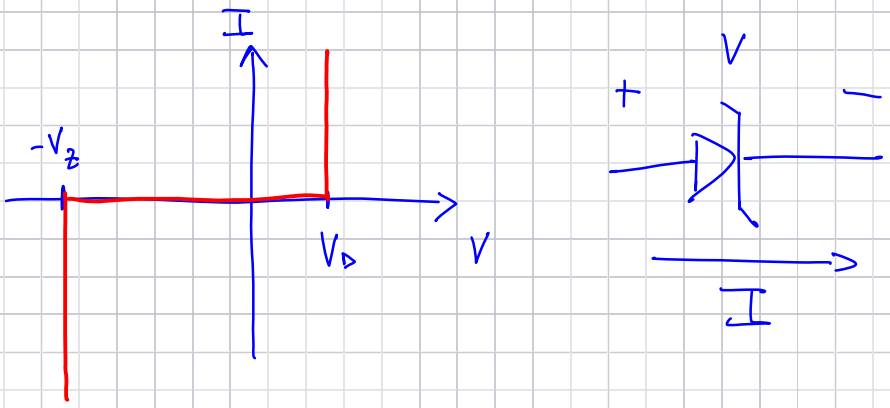
A continuación:

a) Determine la expresión que define el voltaje de salida V_o en función de las resistencias R_1 y R_2, los voltajes de conducción zener y el voltaje de entrada V_i.

b) Esboce la curva de transferencia V_o v/s V_i, explicitando puntos relevantes (quiebres de curva) y pendientes.

c) Si el diodo zener tiene $V_Z = 2.2[V]$ y $V_D = 0.7[V]$ y las resistencias tienen valores $R_1 = 1[k\Omega]$ y $R_2 = 4[k\Omega]$, esboce el voltaje de salida V_o que se obtiene cuando V_i es una señal triangular de $10[Vpk-pk]$ y frecuencia f sin componente DC.

P2 | a) Se pide la expresion que define el voltaje de salida (V_o) del circuito. Para esto debemos tener en cuenta como opera el diodo zener por sí solo:



(Modelación Zener Ideal)

Comenzemos el analisis:

I) El opamp siempre esta en realimentacion negativa.

$$V_+ = V_- \text{ en todo instante.}$$

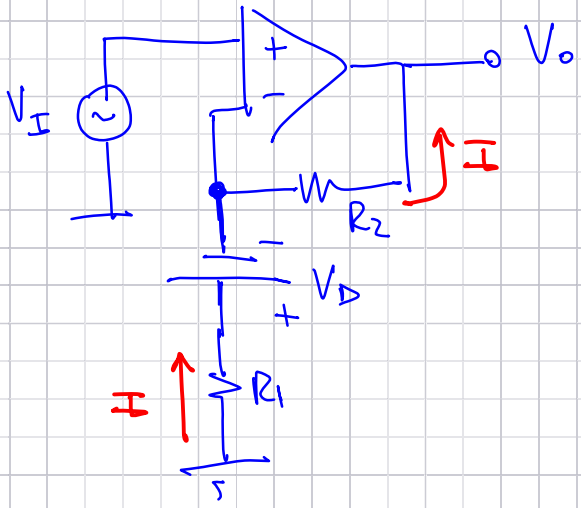
* Si el zener esta abierto, el circuito es un buffer, con R_2 cerrando el lazo $\Rightarrow$ $V_o = V_I$

* Si el zener conduce, tambien se mantiene el lazo.

II) Evidentemente el estado de conduccion del diodo zener depende de la magnitud de V_I, por cuanto V_I se replica en V_- y alimenta la rama zener – R_1.

Así las cosas podemos definir casos:

↳ $V_I < -V_D$



En este caso el diodo zener conduce en directa. El loop es:

$$0 - R_1 \cdot I - V_D = V_I$$

$$\hookrightarrow I = -\frac{V_I + V_D}{R_1}$$

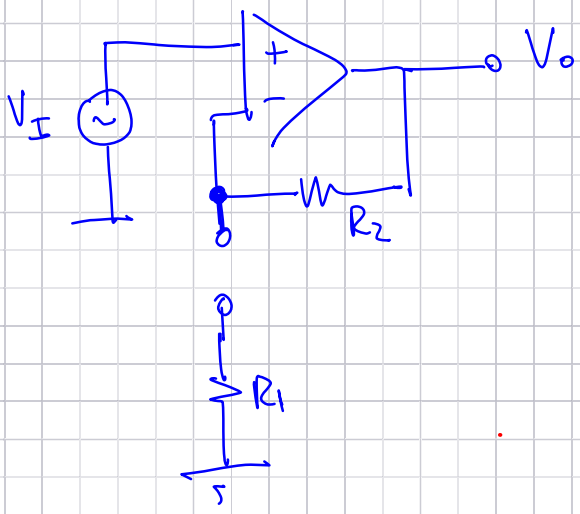
y V_o es negativo respecto a tierra.

Luego I pasa por R_2, lo que nos deja:

$$\frac{V_I - V_o}{R_2} = I \Rightarrow V_o = V_I - R_2 \cdot I = V_I + \frac{R_2}{R_1} V_I + \frac{R_2}{R_1} V_D$$

$$\Rightarrow V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_I + \frac{R_2}{R_1} V_D \quad \left(V_I < -V_D\right)$$

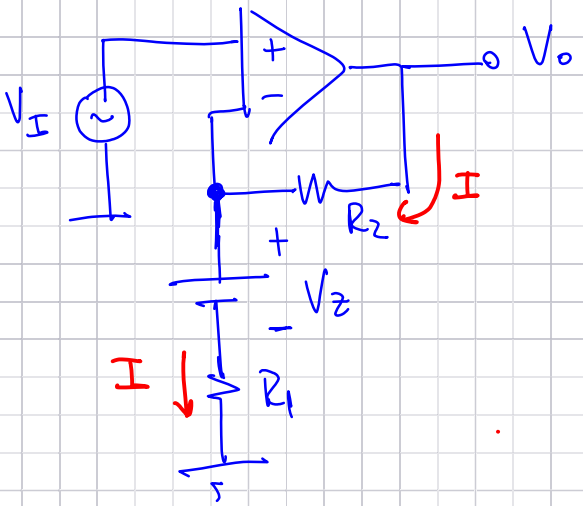
↳ $-V_D < V_I < V_z$



En este caso el diodo zener no tiene como conducir. Y el circuito es un simple buffer:

$$V_o = V_I \quad (-V_D < V_I < V_z)$$

↳ $V_I > V_z$



En este caso el diodo zener conduce, pero en inversa.
Calculamos su corriente con el loop:

$$V_I - V_z - I \cdot R_1 = 0$$

$$\Rightarrow I = \frac{V_I - V_z}{R_1}$$

Y V_o es positivo respecto a tierra.

I viene desde la salida del opamp, y pasa por R_2, así:

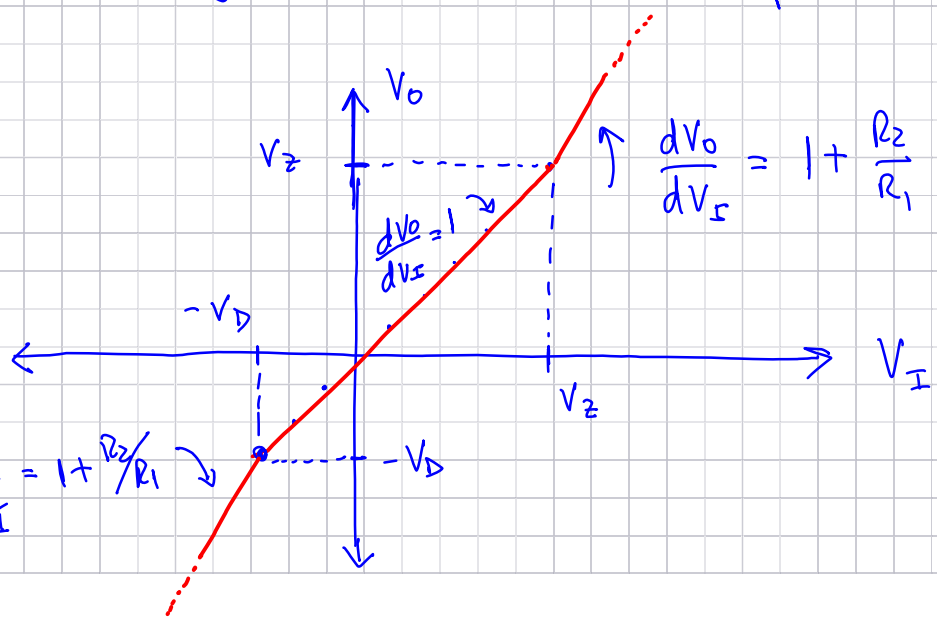
$$\frac{V_0 - V_I}{R_2} = I = \frac{V_I - V_Z}{R_1} \Rightarrow V_0 = \frac{R_2}{R_1} V_I + V_I - \frac{R_2}{R_1} V_Z$$

$$\Rightarrow \boxed{V_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_I - \frac{R_2}{R_1} V_Z \quad , \quad V_I > V_Z}$$

Solo para dejar una expresión concreta escribimos la función de V_0:

$$\boxed{V_0 = \begin{cases} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_I + \frac{R_2}{R_1} V_D & , \quad V_I < -V_D \\ V_I & , \quad -V_D < V_I < V_Z \\ \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_I - \frac{R_2}{R_1} \cdot V_Z & , \quad V_I > V_Z \end{cases}}$$

b) Se pide dibujar la curva de transferencia V_0/V_i



c) Para $|V_z| = 2.2\ [V]$, $|V_D| = 0.7\ [V]$ | $R_1 = 1\ [k\Omega]$, $R_2 = 4\ [k\Omega]$ → $R_2/R_1 = 4$, $1 + R_2/R_1 = 5$

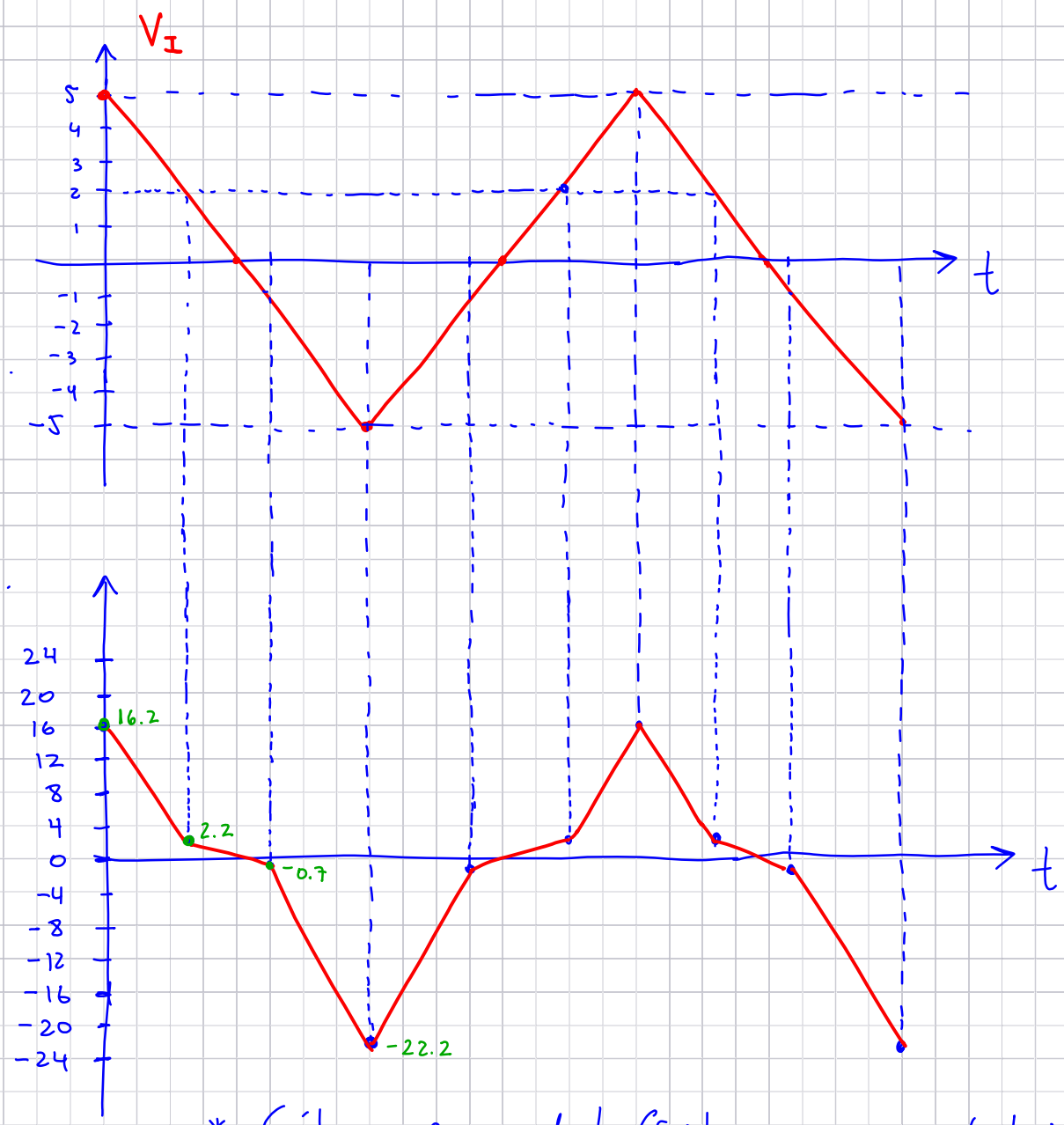
La función V_o queda definida numéricamente:

$$V_o = \begin{cases} 5 \cdot V_I + 2.8 & , \quad V_I < -0.7 \\ V_I & , \quad -0.7 < V_I < 2.2 \\ 5 \cdot V_I - 8.8 & , \quad V_I > 2.2 \end{cases}$$

Con esto podemos ver que para con la señal triangular

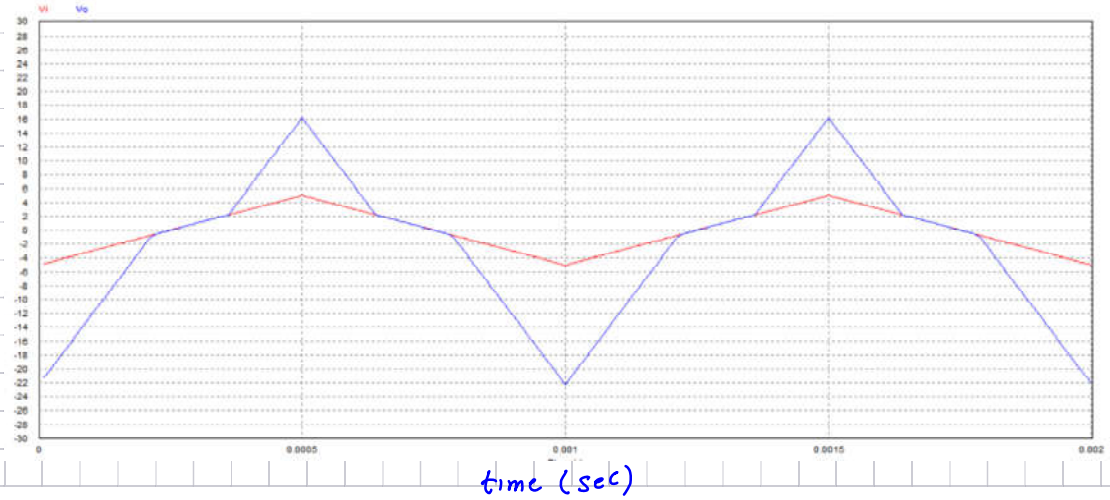
↳ Lo dibujamos al otro lado

Con más espacio!



* Gráfico aproximado! Escalas no son perfectas!

La solución según software de simulación:



V_I tiene una frecuencia de 1kHz!

P3: El Proyecto (10 puntos)

Como recordará, el corazón del proyecto del curso es el rectificador. A partir de él, usted debiera ser capaz de generar voltaje bipolar de forma de pasar luego por la etapa de regulación. La idea de este problema es acercarlo a los cálculos de diseño básicos, que todos en el grupo de trabajo deben conocer.

Considere la siguiente topología, que permite generar un voltaje DC bipolar y no regulado:

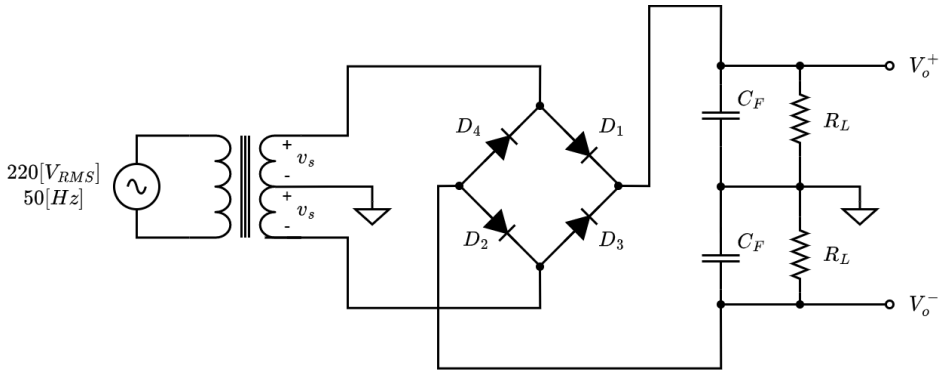


Figura 3: Rectificador

En el circuito:

- Los diodos son de tipo rectificador y tienen una caída constante de 1 [V] en conducción.
- El transformador es ideal, con la única función de reducir el voltaje de la red eléctrica a un valor secundario definido, y dividido en 2 partes iguales denominadas v_s.
- C_F es el capacitor de filtro y R_L es la carga, igual para ambas salidas.

La idea es que este circuito cumpla con las siguientes especificaciones:

- El voltaje de salida sea $\pm 16[V]$, medido como el punto medio entre el peak y el mínimo de la onda de salida.
- El rizado sea 1 [Vpeak-peak] para cada fuente.
- La corriente capaz de entregar cada fuente sea 500 [mA], sin salir de las especificaciones.

A continuación:

a) Explique como funciona el circuito rectificador en esta fuente y la forma en que se generan rieles bipolares. Apoye su respuesta indicando explícitamente el/los diodo/s involucrado/s en la generación de cada riel según la polaridad del secundario total.

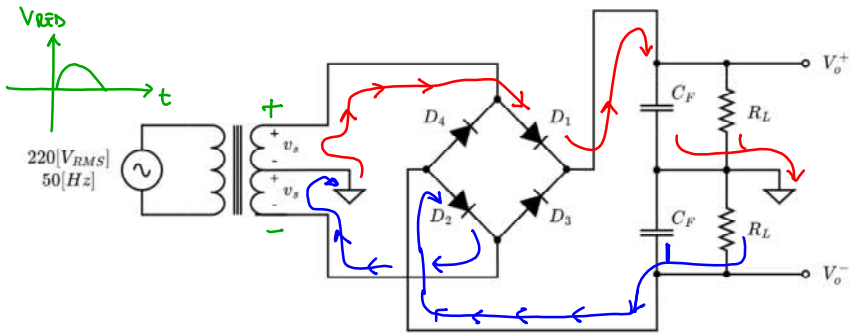
b) Bosqueje la forma de onda en el tiempo y régimen permanante del voltaje de los nodos signados como $V_{secundario-total}$, V_o^+ y V_o^-, asumiendo que se respetan al límite todos los requisitos de operación. Considere la caída de voltaje debida a la conducción del/os diodo/s según corresponda.

c) Diseñe la fuente de forma que cumpla con las especificaciones. Su cálculos deben proveer:

- Voltaje v_s requerido para cada fuente, secundario total $(2 \cdot v_s)$ del transformador y su razón de vueltas primaria a secundaria total.
- Capacitor de Filtro (C_F) requerido.
- Voltaje Peak Inverso (PIV) de los diodos rectificadores y la corriente continua en un ciclo de entrada que deben manejar. Hint: Considere el aporte de los diodos a la corriente de carga en un ciclo.

P3| a) Para explicar este circuito es mejor graficar en el mismo la conducción y repetir caso de semiciclos de V_{RED}.

V_{RED} en semiciclo positivo:

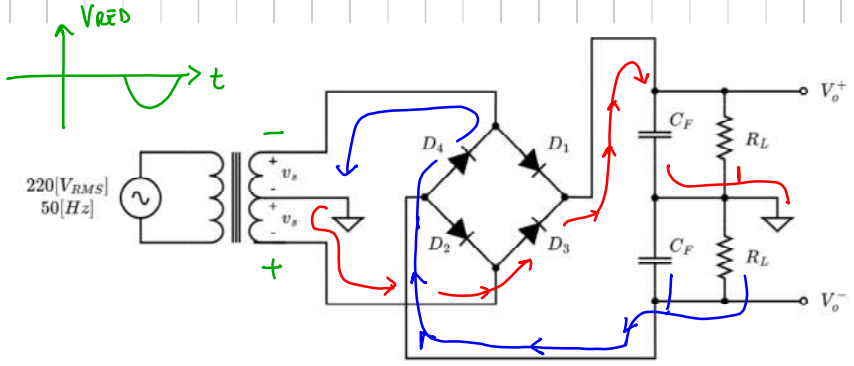


Ojo: En este caso el secundario tiene polaridad en fase al primario, como se indica en la figura.

* D_1 permite generar el voltaje positivo V_o^+
* D_2 permite generar el voltaje negativo V_o^-

Si no lo ve, fíjese que V_o^+ empuja corriente a tierra y V_o^- recibe corriente desde tierra.

V_{RED} en semiciclo negativo:



Ojo: En este caso, el secundario tiene la polaridad invertida, según marca el dibujo!

* D_3 permite generar el voltaje positivo V_o^+
* D_4 permite generar el voltaje negativo V_o^-

Si no lo ve, fíjese que V_o^+ empuja corriente a tierra y V_o^- recibe corriente desde tierra.

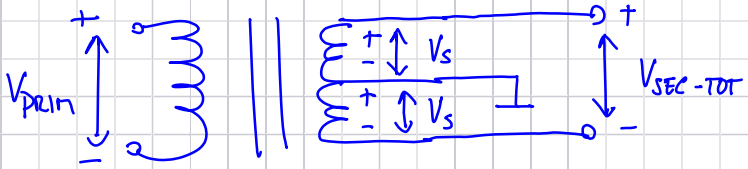
Esto tiene 3 implicancias:

↳ El rectificador para cada nivel opera como onda completa.

↳ Sólo un diodo conduce en cada semiciclo por cada nivel generado.

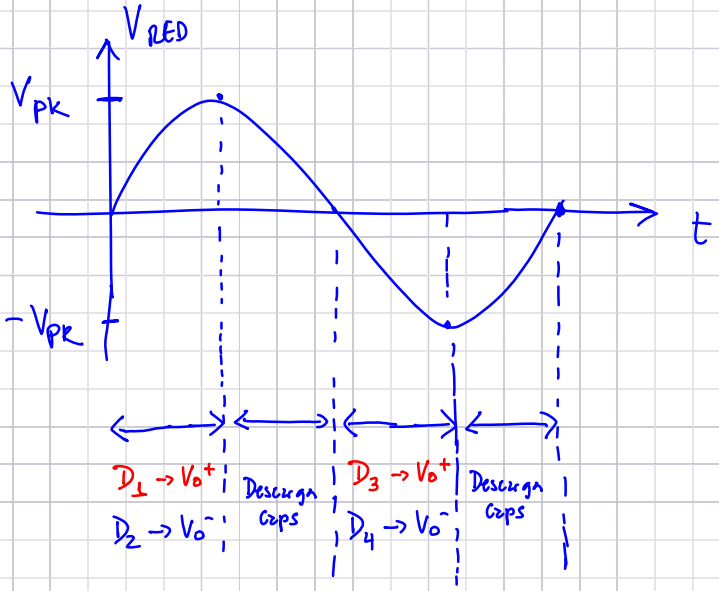
↳ Lo enredado es el transformador. El secundario total está en fase con el primario, pero está dividido en 2, con punto medio a tierra.

Esto implica que:



Para $V_{SEC-TOT}^{PK}$, $V_S^{PK} = \frac{1}{2} V_{SEC-TOT}^{PK}$ pero esto implica que respecto a tierra se genera por arriba V_S^{PK} y por abajo $-V_S^{PK}$. Lo que hace que $V_{SECTOT}^{PK-PK} = 4 V_S^{PK}$

Y cada medio secundario genera una ~ pero con polaridad invertida respecto a tierra.

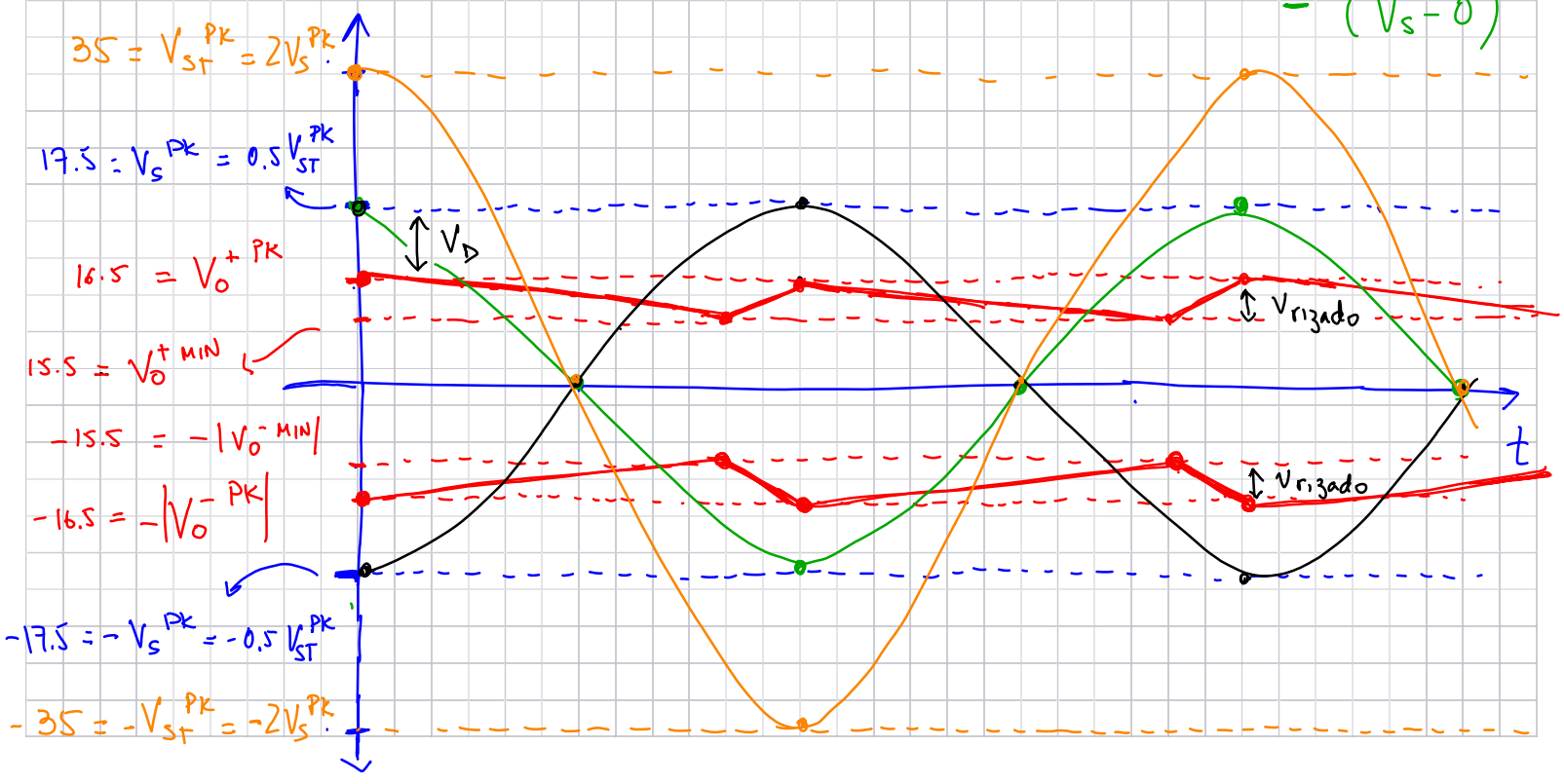


* Los diodos actúan sólo para cargar los capacitores al voltaje peak (V_{pk}) ya sea positivo o negativo según sea el nivel!

b) Se pide la forma de onda $V_{SEC-TOT}(V_{ST})$, V_o^+ y V_o^-. Vamos a hacer un gráfico completo, y condensado y no muy buena escala:

$-(0-V_S)$

$-(V_S-0)$



Con el dibujo anterior es facil ver que cada V_S se rectifica completo generando la clásica onda de $|\sin|$.

c) Ahora calculemos los valores solicitados. El gráfico facilita mucho este proceso:

$$V_S^{PK} = V_{CARGA} + 0.5 \cdot V_{RIZADO} + V_D = 17.5\ [V]$$

$$\hookrightarrow \boxed{V_S^{RMS} = \frac{17.5}{\sqrt{2}} = 12.41\ [V].}$$

$$V_{ST}^{PK} = 2\,V_S^{PK} = 35\ V$$

$$\hookrightarrow \boxed{V_{ST}^{RMS} = \frac{35}{\sqrt{2}} = 24.82\ [V].}$$

$$\text{Razon de Vueltas: } \frac{N_{PRIM}}{N_{SECTOT}} = \frac{V_{PRIM}^{RMS}}{V_{ST}^{RMS}} = \frac{220}{24.82} = 8.86$$

El capacitor de filtro sale usando la ecuacion de capacitor:

$$I_{C_F} = C_F \cdot \frac{dV_{CF}}{dt}$$

$$0.5\ A = C_F \cdot \frac{V_{RIZADO}}{\frac{T}{2}}, \text{ donde } T \text{ es el periodo de la onda. en este caso } 20\ ms.$$

$$\frac{0.5 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{1} = C_F = 5\ mF = 5000\ \mu F$$

Ojo: Lo anterior es una aproximación bastante cercana a la realidad
Ver el Apunte de Rectificadores si tiene dudas.

El voltaje PIV de los diodos es fácil de determinar considerando que sólo un diodo conduce para cargar el capacitor de rizel en cada semiciclo:

Para semiciclo positivo, D_1 conduce y carga C_F del rizel positivo y D_2 conduce para cargar C_F del rizel negativo, dejando D_3 abierto. En tal caso:

↳ $$PIV_{D_3} = -V_S^{PK} - V_O^{+\,PK} = -17.5 - 16.5 = 34\,[V]$$



(revíselo!)

Y este PIV es el mismo para todos los diodos constituyentes.

La corriente continua por diodo no es trivial en cálculo, pero fácil conceptualmente.

↳ Cada diodo aporta la corriente de carga para recuperar el voltaje del capacitor cuando éste abastece la carga R_L
Como este proceso se hace 2 veces, cada vez con un diodo distinto en un periodo de onda de entrada, la carga total aportada por cada diodo debe ser tal que se abastecen los 500 mA en R_L
⇒ Cada diodo debe aportar 250 mA en ciclo de entrada para mantener la corriente de 500 mA en un ciclo manteniendo el voltaje en C_F "constante" (y correctamente cargado)

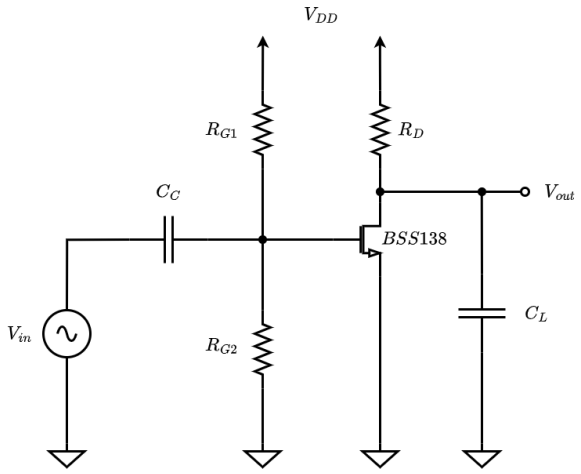
P4: Diseñando con Alan Brito II (15 puntos)

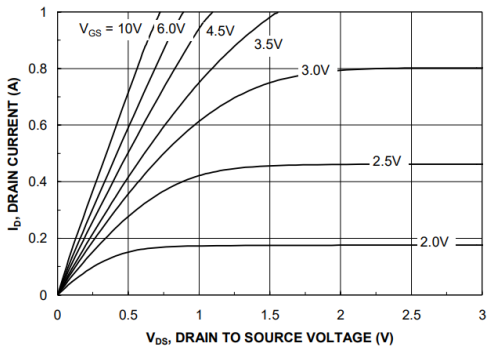
Alan Brito II, para cierta aplicación necesita fabricar un amplificador que cumpla con las siguientes especificaciones:

- El circuito debe usar un transistor, resistores, capacitores y una fuente de alimentación DC de 6[V].
- La señal de entrada V_{in} viene de un generador cuya resistencia es despreciable y debe ser acoplada capacitivamente al amplificador generando una frecuencia de corte 15.9 [Hz] con el mismo.
- La carga del amplificador es capacitiva de 20 [nF]
- Magnitud de Ganancia del Amplificador en pasabanda: 6.25 $[\frac{V}{V}]$, invertida respecto a la entrada.
- Impedancia de Entrada del amplificador debe ser 10$[k\Omega]$, en la banda de interés.
- La polarización del transistor debe ser tal que se produzca una corriente por dren aproximada de 180 [mA].

En una prueba de concepto, Alan propuso usar un transistor BSS138 con una topología CS sin degeneración polarizando el dispositivo por voltaje. Si bien el sabe que no es la mejor opción, quiso partir con un diseño hipotético y simplista para analizar factibilidad.

El circuito y aspectos relevantes del transistor se presentan a continuación:





$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	1.3$[V]$

Figura 4: Circuito del Problema 2.

A continuación:

A) Diseñe el circuito de forma que cumpla con todas las especificaciones listadas, calculando todos los componentes que definió Alan Brito II en su esquemático.

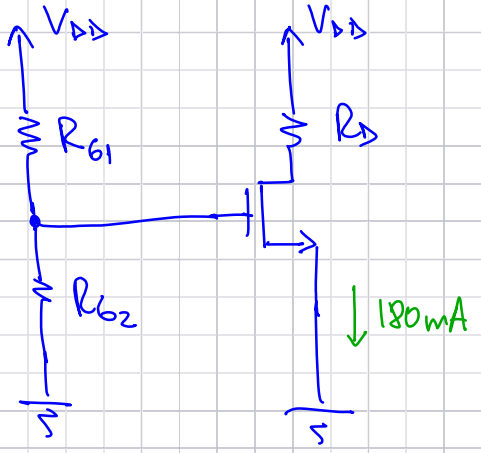
B) Confirme que con los parámetros ya calculados, el transistor opera efectivamente en modo Activo.

C) Esboce el diagrama de Bode de la ganancia $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ -magnitud y fase respecto a la frecuencia en [Hz]- del circuito, incluyendo todos los puntos y pendientes relevantes cuando el amplificador opera con la carga capacitiva C_L.

D) Determine el rango de excursión del voltaje de salida definido entre los voltajes extremos tal que el transistor permanece en zona activa durante la operación del amplificador.

P4| Para resolver este problema necesitamos dibujar el circuito tanto en gran señal como en pequeña señal.

Gran Señal



Según la curva del Mosfet para $I_D = 180\,mA$, se necesita $V_{GS} = 2V$.

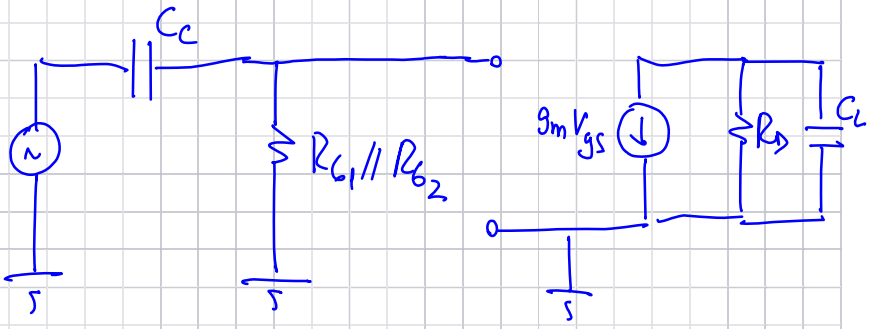
Y $V_{DD} = 6V$ por alimentación.

$$\Rightarrow V_{GS} = \frac{V_{DD}}{R_{G1}+R_{G2}} \cdot R_{G2}$$

$$\Downarrow$$

$$(1)\quad \boxed{\frac{R_{G2}}{R_{G1}+R_{G2}} = \frac{1}{3}}$$

Pequeña Señal (II)



Por inspección sabemos que la R_{in} del amplificador es:

$$R_{in} = R_{G1} // R_{G2} = 10\,k\Omega$$

$$\Downarrow$$

$$(2)\quad \boxed{\frac{R_{G1} \cdot R_{G2}}{R_{G1}+R_{G2}} = 10[k\Omega]}$$

Con (1) y (2) calculamos R_{G1} y R_{G2}

$\searrow R_{G1} = 30k$ y $R_{G2} = 15k$ ✓

Luego se pide que la frecuencia de corte asociada a C_C sea 15.9[Hz]
En este caso, en final ver que este polo sea dominante con R_{in}

$\Rightarrow \quad C_C \cdot R_{in} \cdot \omega_{c_{in}} = 1$ (Recuerde el polo: $s \cdot C_i \cdot R_{in}$)

↳ $$C_C = \frac{1}{R_{in} \cdot \omega_{c_{in}}} = \frac{1}{10k \cdot 2 \cdot \pi \cdot 15.9} = 1 [\mu F].$$

La ganancia del amplificador Cs clásico en pasabanda (C_C = cortockt, C_L = ckt abierto)

$|A_V| = g_m \cdot R_o$, pero en este caso $R_o = R_D$

$$6.25 = g_m \cdot R_D \rightarrow g_m = \frac{2I_D}{V_{OV}} = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_T} = \frac{360\,mA}{0.7\,V}$$

($V_{GS} \downarrow$ 2, $V_T \downarrow$ 1.3)

$$g_m = 0.514 \frac{A}{V}$$

$$R_D = \frac{|A_V|}{g_m} = \frac{6.25}{0.514} [\Omega] = 12.15 [\Omega]$$

Y finalmente, solo para adelantarnos al bode solicitado, la frecuencia de corte gracias a C_L es:

$$C_L \cdot R_{OUT} \cdot \omega_{c_{OUT}} = 1 \Rightarrow C_L \cdot R_D \cdot \omega_{c_{OUT}} = 1$$

$$f_{c_{OUT}} = \frac{1}{2\pi \cdot C_L \cdot R_D} = \frac{1}{2\pi (20 \cdot 10^{-9}) \cdot 12.15} \approx 654 [kHz]$$

Cabe notar que: C_C y R_{in} hacen un filtro pasa altos de corte en $15.9\,[Hz]$.
C_L y R_{out} hacen un filtro pasa bajos de corte en $654\,[kHz]$

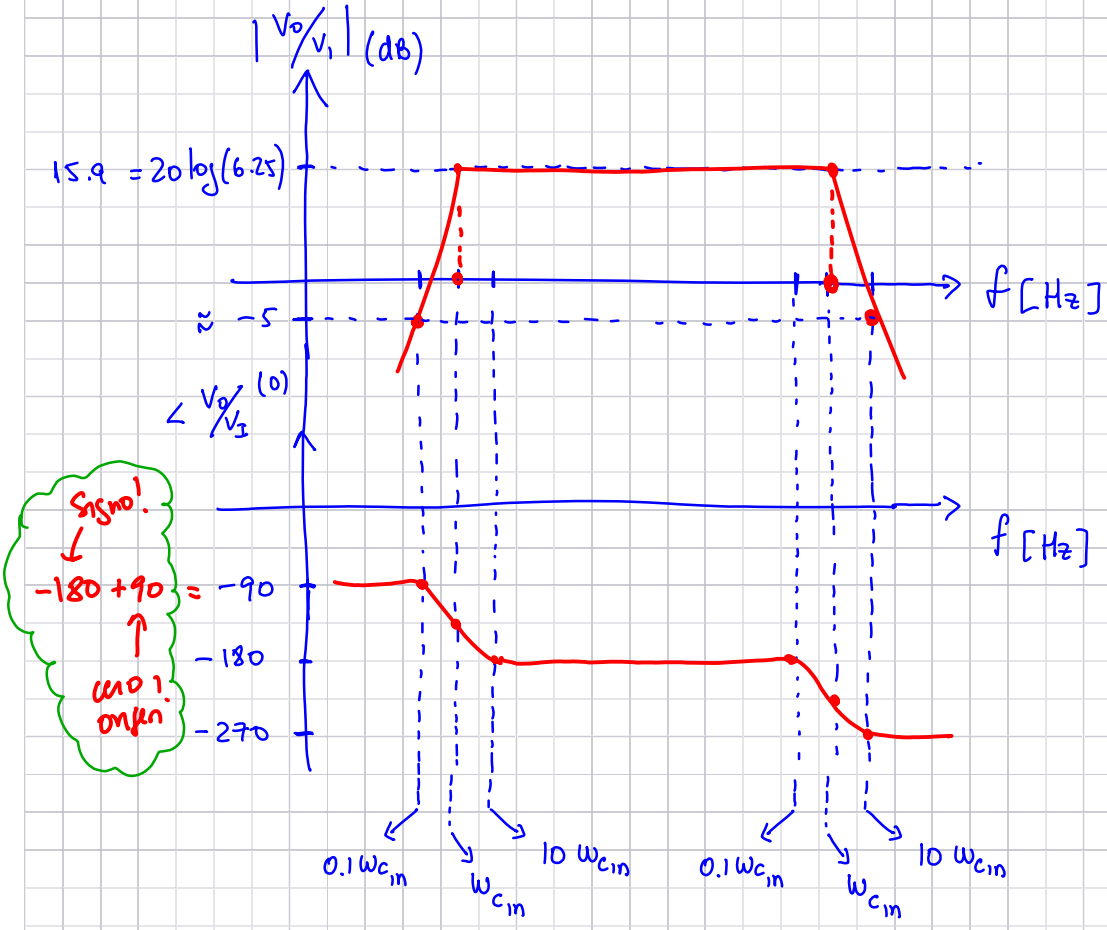
↳ Pasabanda entre $15.9\,[Hz]$ y $654\,[kHz]$ //.

b) Confirmamos que el transistor opera en modo activo con circuito gran señal:

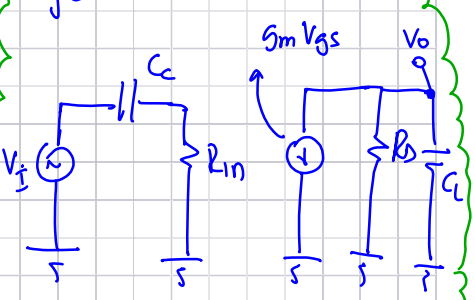
↳
$V_{GS} = 2\,[V]$
$V_{OV} = V_{GS} - V_T = 2 - 1.3 = 0.7\,[V]$
$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D = 6 - 0.18 \cdot 12.15 = 3.813 > V_{OV}$

ACTIVA ✓✓

c) El diagrama de bode sale facil de esbozar con el análisis previo



Ojo:



↳ $V_{gs} = \dfrac{V_I}{\frac{1}{sC_C} + R_{in}} \cdot R_{in}$

$$\frac{V_{gs}}{V_I} = \frac{sC_C \cdot R_{in}}{1 + sC_C R_{in}}$$

Y luego:

$$\frac{0 - V_o}{R_D \,//\, C_L} = g_m V_{gs}$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_I} = -g_m \cdot \frac{s \cdot C_C R_{in} \cdot R_D}{(1 + sC_C \cdot R_{in})(1 + sC_L R_D)}$$

d) El transistor permanece en Región Activa si:

↳ $V_{ov} < V_o < V_{DD}$

$$\boxed{0.7 < V_o < 6}$$

Ojo: Esto implica que la señal sólo puede excursionar entre 0 y 5.3 V ($V_{DD} - V_{ov}$) que es el delta disponible entre ambos extremos de V_o!