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

Interrogación 1 - Total 50 Puntos
Made with ChatGPT (NOOT!)

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 Futurista (10 puntos)

En clases vimos los ampificadores de voltaje estándar, como fuentes ideales dependientes que toman un voltaje en la entrada y lo amplifican a la salida. La realidad difiere un poco con ese concepto simplificado, pues las fuentes independientes como elementos circuitales son sólo una abstracción y lo más cercano a ellas es el transistor que es un elemento no lineal a revisar más adelante en el curso. Dicho esto, considere el siguiente circuito amplificador basado en un transistor (Elemento T):

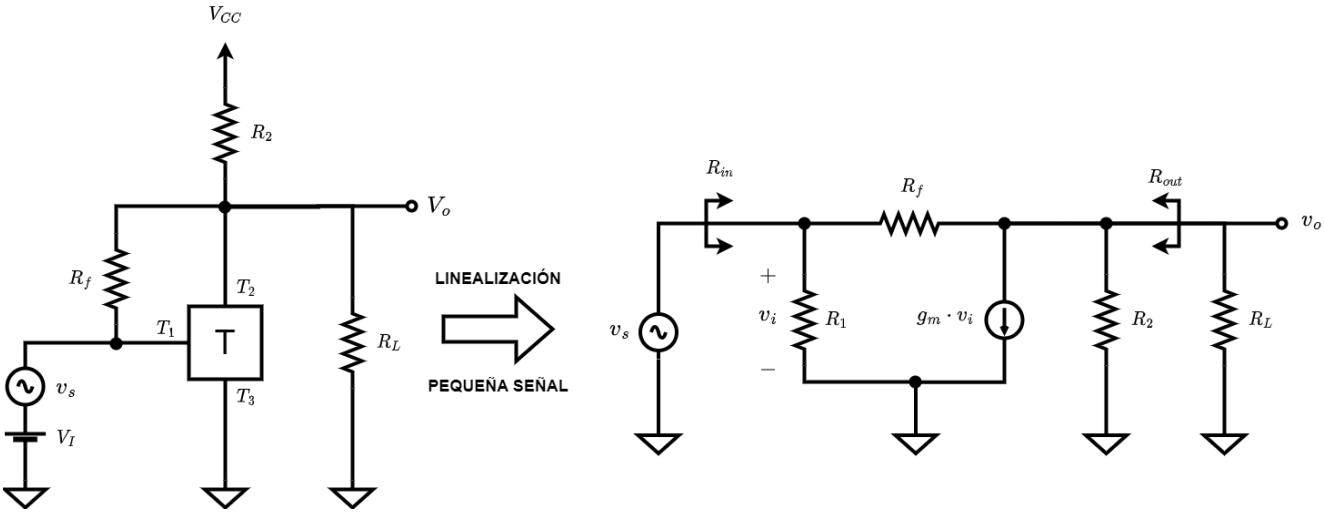


Figura 1: Circuito del Problema 1 - Izquierda: Circuito Completo ; Derecha: Circuito Linealizado

Este circuito modela un amplificador de voltaje fabricado con un transistor (T) y elementos pasivos finitos y no nulos. Como puede ver hay 2 fuentes, una DC (V_I) que permite fijar el punto de operación del circuito, y una AC (V_s) que representa la señal a amplificar.

A continuación, usando el circuito linealizado:

A) Identifique los terminales T_i en el circuito linealizado.

B) Determine la ganancia del circuito definida por $\frac{v_o}{v_s}$, incluida la carga R_L.

C) Determine la resistencia de entrada R_{in} del circuito, incluida la carga R_L

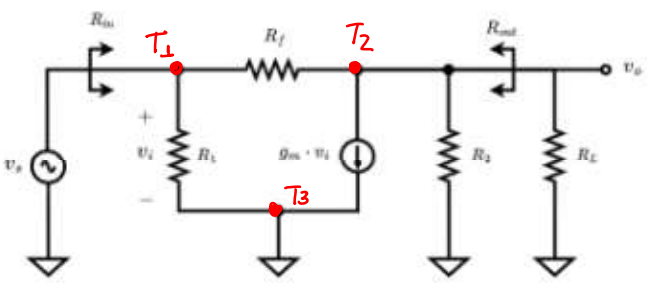
D) Determine la resistencia de salida R_{out} del circuito.

E) Si reemplazara R_f por un circuito abierto, ¿cómo cambian los parámetros anteriormente calculados? Determine las nuevas expresiones.

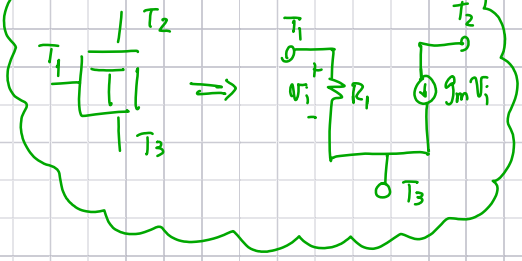
Se le recomienda usar expresiones de baja entropía y al mismo tiempo usar $X_1//X_2$ para denotar la conexión paralela de componentes.

Pauta I1

P1) A)



Nota Docente:



B) Para la ganancia del circuito, plantean las ecuaciones:

$$\frac{v_s - v_o}{R_f} = g_m v_s + \frac{v_o}{R_2 /\!/ R_L}$$

$$\frac{v_s}{R_f} - g_m v_s = \frac{v_o}{R_f /\!/ R_2 /\!/ R_L} \quad / \cdot R_f$$

$$v_s \left(1 - g_m R_f\right) = \frac{v_o \cdot R_f}{R_f /\!/ R_2 /\!/ R_L}$$

$$\frac{v_o}{R_f /\!/ R_2 /\!/ R_L} = v_o \left(\frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_L}\right)$$

$$\boxed{\frac{v_o}{v_s} = \frac{\left(1 - g_m R_f\right)\left(R_f /\!/ R_2 /\!/ R_L\right)}{R_f}}$$

C) Si pide determinar R_{in}, usamos fuente de prueba de voltaje V_T

↳ $V_T = V_s$ (Sacan V_s y conectan V_T, topológicamente es lo mismo)

(1) $\frac{V_T}{R_1} + \frac{V_T - V_o}{R_f} = I_T$ ⇒ Forma Elegante

(2) $\frac{V_o}{V_T} = \frac{\left(1 - g_m R_f\right)\left(R_f /\!/ R_2 /\!/ R_L\right)}{R_f}$

↳ MATRACA con (1) y (2) ...

$$\frac{I_T}{V_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1 - \frac{V_o}{V_T}}{R_f} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{\left(\frac{R_f}{1 - \frac{V_o}{V_T}}\right)}$$

$$\frac{I_T}{V_T} = \frac{1}{R_1 /\!/ \left(\frac{R_f}{1 - \frac{V_o}{V_T}}\right)} \Rightarrow \boxed{R_{in} = R_1 /\!/ \frac{R_f}{1 - \frac{V_o}{V_T}}}$$

Con $\frac{V_o}{V_T} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{\left(1 - g_m R_f\right)\left(R_f /\!/ R_2 /\!/ R_L\right)}{R_f}$

Se llega al mismo resultado elegante. Desarrollemos este resultado ahora:

$$R_{in} = R_1 // \frac{R_f}{1-\frac{V_o}{V_T}} = R_1 // \frac{R_f}{1-\frac{(1-g_m R_f)(R_2 // R_f // R_L)}{R_f}}$$

$$= \frac{R_1 \cdot R_f}{R_1\left(1-\frac{V_o}{V_T}\right)+R_f} = \frac{R_1 \cdot R_f}{R_1+R_f-R_1\left(\frac{V_o}{V_T}\right)} = \frac{R_1 R_f}{R_1+R_f-\frac{R_1(1-g_m R_f)(R_f // R_2 // R_L)}{R_f}}$$

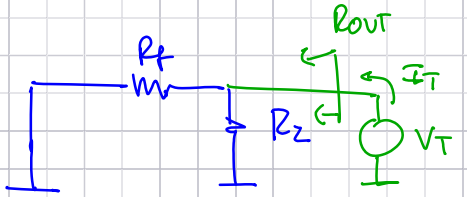
equivalentes!!

D) Se pide la resistencia de salida del ckt

↳ V_s debe apagarse $\Rightarrow V_s = 0$ y con esto $g_m \cdot V_s = 0$.

↳ Desconectamos la carga R_L y la reemplazamos por V_T

El circuito se reduce a:



$$\Rightarrow \boxed{\frac{V_T}{I_T} = R_{OUT} = R_2 // R_f}$$

E) No es necesario recalcular todo. Basta evaluar todas las expresiones anteriores para $R_f \rightsquigarrow \infty$ (circuito abierto)

B) $$\frac{V_o}{V_i} = -g_m \cdot (R_2 // R_L) //$$

C) $$R_{in} = R_1 // \frac{R_f}{1-\frac{V_o}{V_s}} \overset{R_f \to \infty}{=} R_1 // \infty = R_1 //.$$

D) $$R_{out} = R_2 // R_f \overset{R_f \to \infty}{=} R_2 //.$$

P2: El Clásico (15 puntos)

Alan Brito Delgado, prócer de la electrónica en la UC, acostumbraba estudiar mucho filtros activos puesto que son muy usados para mejorar el desempeño de los circuitos. En ese proceso llegó a la legendaria familia de filtros Sallen-Key, la cual es muy usada por sus excelentes propiedades.

El circuito que más lo marcó fue este:

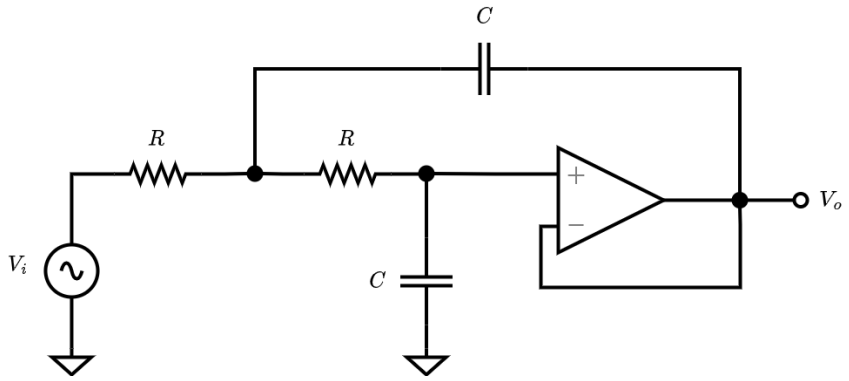


Figura 2: Circuito del Problema 2.

El diagrama considera que:

- El OpAmp es ideal.
- V_i es una señal sinusoidal.
- R y C son componentes pasivos finitos, no nulos, e ideales.

A continuación:

A) Analice intuitivamente el circuito, sin realizar cálculos, y determine cuál es su función y ganancia en términos de la frecuencia de operación. Sea claro en su análisis y los argumentos que sustentan su respuesta.

B) Determine la función de transferencia del filtro definida como $\frac{V_o}{V_i}$

C) Esboce el diagrama de Bode -magnitud y fase respecto a la frecuencia en [Hz]- del circuito, incluyendo todos los puntos y pendientes relevantes.

D) Suponga que ahora implementa este circuito para filtrar una señal de entrada sinusoidal cuya amplitud es $\frac{V_{CC}}{2}$ y el único OpAmp disponible es de alimentación Unipolar de rieles V_{CC} y Tierra. ¿Predice algún problema en la operación del amplificador? En la eventualidad que haya problema, resuélvalo agregando una componente DC a la señal V_i y determine su valor.

P2

A) Para el análisis intuitivo, necesitamos ver qué pasa con el circuito a frecuencias extremas:

$f \to 0$, los capacitores son ckt abiertos y el opamp actúa como buffer para $V_i \Rightarrow V_o = V_i$

$f \to \infty$, los capacitores son cortocircuitos y el opamp actúa como buffer para 0V $\Rightarrow V_o = 0$.

En frecuencias intermedias es esperable que los capacitores actúen como tales, pero como son iguales se abren o cierran simultáneamente sin integrar más cortes. Por esto el circuito actúa como LPF. (filtro pasa bajo)

B) Se pide la FT del circuito dada por $\frac{V_o}{V_i}$. Necesitamos plantear las ecuaciones:

(1) $$\frac{V_i - V_x}{R} = \frac{V_x - V_o}{\frac{1}{sC}} + \frac{V_x - V_+}{R}$$

(2) $$\frac{V_x - V_+}{R} = \frac{V_+}{\frac{1}{sC}}$$

(3) $$V_+ = V_o$$

De (2) y (3)

$$V_x - V_+ = sRC \cdot V_+$$

$$\boxed{V_x = (1+sRC)V_+ = (1+sRC)V_o}$$

y luego:

$$(1) \Rightarrow \quad V_i - V_x = sRC\,(V_x - V_o) + V_x - V_o$$

$$V_i = (2+sRC)\,V_x - (1+sRC)\,V_o$$

$$V_i = (2+sRC)(1+sRC)\,V_o - (1+sRC)\,V_o$$

$$V_i = (1+sRC)(1+sRC)\,V_o$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{(1+sRC)^2}}$$

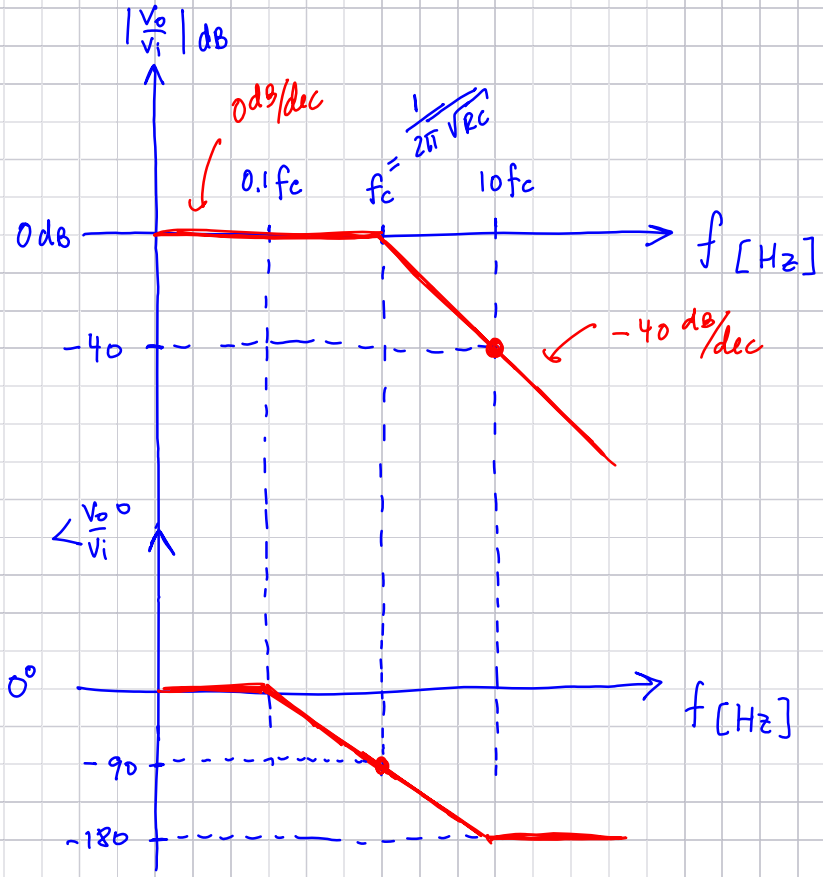
Prueba Blancura:

$\Rightarrow$ $f = 0 \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = 1$

$f \rightsquigarrow \infty \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = 0$

c) Se pide el diagrama de bode (magnitud y fase)

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{\left(\sqrt{1+(wRC)^2}\; e^{\,j\,Arctg(wRC)}\right)^2} = \boxed{\frac{1}{1+(wRC)^2} \cdot e^{\,j\,-2Arctg(wRC)}}$$



D) Se dice que la entrada es una fuente sinusoidal de amplitud $\frac{V_{cc}}{2}$

$\Rightarrow \quad V_i = \frac{V_{cc}}{2} \cdot \sin(\omega t)$, $V_i^{MAX} = \frac{V_{cc}}{2}$; $V_i^{MIN} = -\frac{V_{cc}}{2}$

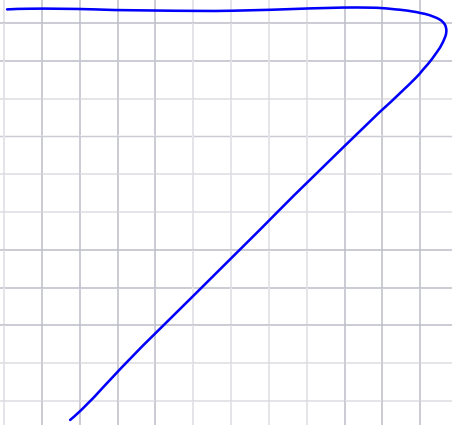
En la banda pasante, $V_o = V_i = \frac{V_{cc}}{2} \sin(\omega t)$ y por lo tanto el opamp debe generar voltaje negativo pero no lo puede hacer pues sus rieles se lo impiden.

Dado lo anterior, se necesita que la señal esté "levantada" de manera que nunca pase por negativo y tampoco supere en V_{cc}

↳ $V_i^* = \frac{V_{cc}}{2} \sin(\omega t) + DC$, donde DC debe ser $\frac{V_{cc}}{2}$

Con ese valor:

$V_i^{*MAX} = V_{cc}$ y $V_i^{*MIN} = 0$. quedando dentro de los rieles.



P3: Los Rapiditos (10 puntos)

(Parte A - 5 pt.) Considere el siguiente circuito, compuesto por cuatro OpAmps Ideales denominados A1; A2; A3; A4 y elementos pasivos finitos y no nulos:

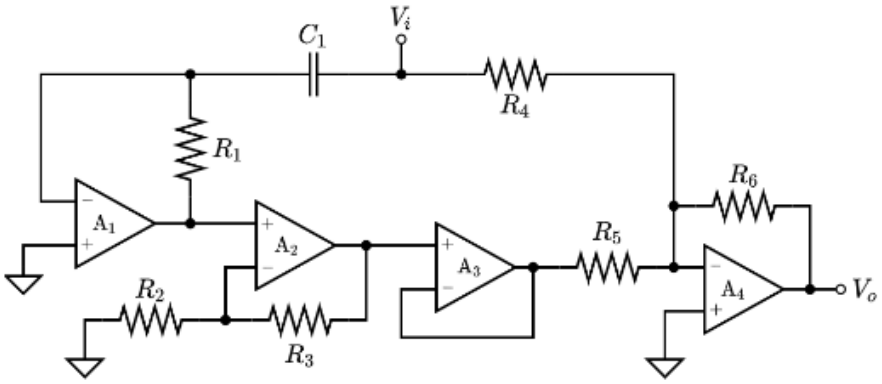


Figura 3: Circuito del Problema 3 (Parte A).

Dibuje un diagrama en bloques (no circuital) que muestre claramente las operaciones matemáticas (amplificación, integración, derivación, suma, resta, etc...) que se ejecutan sobre V_i hasta que se genera la salida V_o. Cada bloque debe indicar la operación realizada y la inversión de fase con el debido signo si aplicara.

(Parte B - 5 pt.) Para cierta aplicación se requiere **fabricar un amplificador de voltaje con ganancia 5 y offset de 4 [V] a la salida, para una entrada puramente sinusoidal de 200 [kHz] usando OpAmp Unipolar con rieles 12[V] y 0[V]**. La tarea de diseño fue encomendada a un Ingeniero Junior y él llegó a este circuito:

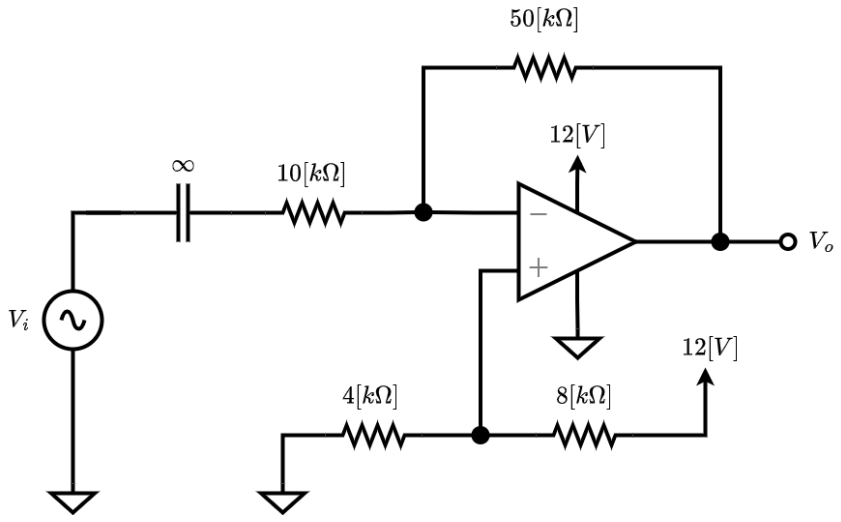


Figura 4: Circuito del Problema 3 (Parte B).

Sin embargo, el Ingeniero Junior dejó un par de preguntas que en su calidad de principiante no pudo responder y se las dejó a usted como encargado del testeo del circuito:

- ¿Cuál es la amplitud máxima de la sinusoide V_i para que el amplificador no sature a la salida?.
- Se sabe que en el laboratorio hay 3 OpAmps usables, pero tienen los siguientes GBW y SR:
  - OpAmp 1: GBW = 3 [MHz] y SR = 4.9 $\frac{V}{\mu s}$
  - OpAmp 2: GBW = 0.7 [MHz] y SR = 5.5 $\frac{V}{\mu s}$
  - OpAmp 3: GBW = 1.65 [MHz] y SR = 5.1 $\frac{V}{\mu s}$

  ¿Con cuál de ellos se puede construir el circuito para probarlo con la sinusoide de amplitud máxima sin tener problemas? **Nota: Asuma que la propiedad de GBW se cumple en el Amplificador Inversor. En la práctica no lo hace pero es muy cercano a cumplirla.**

P3 A) Lo más fácil es empezar por V_i

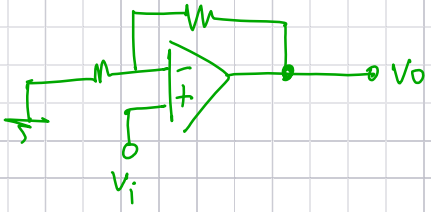


Identificamos topologías

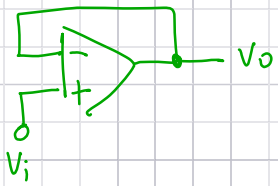
A_1 es un derivador inversor



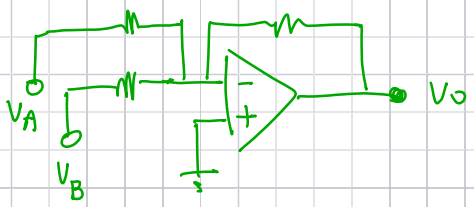
A_2 es un amplificador no inversor



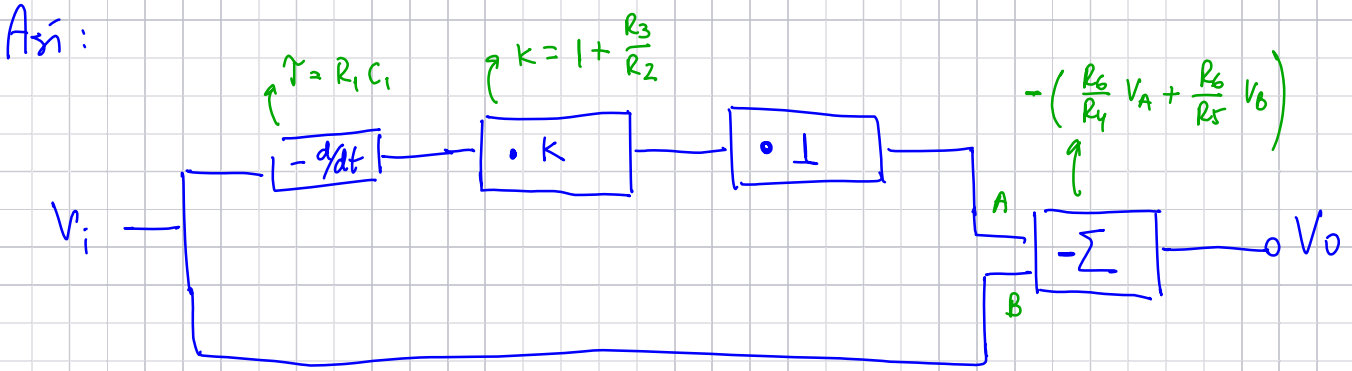
A_3 es un buffer



A_4 es un sumador ponderado inversor



Así:



B) En este circuito, el amplificador sumador levanta el voltaje DC a la salida

↳ $V_o = \underbrace{4}_{\text{levanta la señal } 4\,V_{DC}} + \underbrace{(-5 \cdot V_i)}_{\text{Amplifica la señal } V_i \text{ por } 5.}$

Aquí nos importa que:

$$V_o^{MAX} = 12 = 4 - 5 \cdot V_i^{PEAK-} \Rightarrow V_i^{PEAK-} = -8/5\ [V]$$

$$V_o^{MIN} = 0 = 4 - 5 \cdot V_i^{PEAK+} \Rightarrow V_i^{PEAK+} = 4/5\ [V]$$

Recordando que la entrada es una sinusoide, hay simetría en los peaks por lo que debemos elegir la amplitud de entrada tal que se respeten los niveles y esta corresponde, obviamente, a la de menor amplitud.

$$V_i^{AMPLITUD} = \frac{4}{5} V \Rightarrow V_o = 4 - \left(5 \cdot \frac{4}{5} \sin(\omega t)\right) \begin{cases} \rightarrow V_o^{MIN} = 0\,[V] \\ \rightarrow V_o^{MAX} = 8\,[V] \end{cases}$$

Y podemos ver que el amplificador no hace óptimo uso de los niveles del opamp.

Ahora para el segundo análisis de la pregunta necesitamos tener en cuenta 2 cosas:

I) El opamp debe ser capaz de amplificar sin perder ganancia en la frecuencia de operación → Respetar GBW.

II) El $\frac{dV_o}{dt}$ para esa frecuencia de operación debe ser menor que el SR del dispositivo a utilizar.

Podemos llevar lo anterior a planteamiento matemático:

$$GBW_{MIN} = G \cdot f_{op} = \left(5 \frac{V}{V}\right) \cdot \left(200\ kHz\right) = 1\ MHz$$

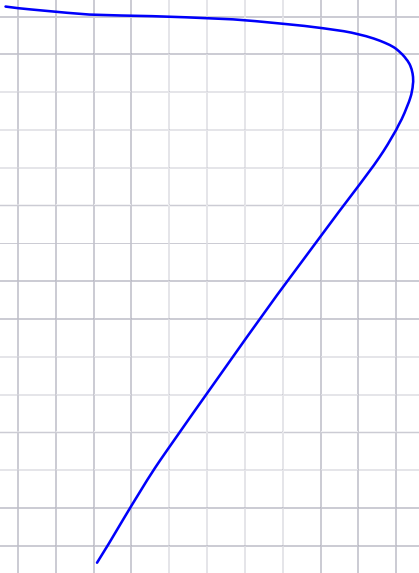
$$SR_{MIN} = G \cdot \left(A_{MAX} \cdot W_{f_{op}}\right) = \left(5 \frac{V}{V}\right) \left(0.8[V] \cdot 2\pi \cdot 200 \cdot 10^3\ [Hz]\right) = 5{,}025 \frac{MV}{S}$$

$$= 5{,}025 \frac{V}{\mu S}$$

Con los mínimos definidos previamente, escojemos opamp:

	GBW	SR
OpAmp 1	✓	✗
OpAmp 2	✗	✓
OpAmp 3	✓	✓

$\Rightarrow$ se debe usar el OpAmp 3 //.



P4: El Mismísimo (15 puntos)

Alan Brito II, tratando de seguir los pasos de su predecesor, se propuso armar un circuito para probar el Slew-Rate y las características riel a riel de los OpAmps. En su conocimiento lo mejor es hacer la prueba configurando el OpAmp de testeo en configuración buffer pero proveyéndole una señal cuadrada, sin embargo no cuenta con este generador, y decidió hacer lo suyo... diseñarlo.

Le pidió ayuda a Internet, y encontró este circuito que estaba nominado como **Oscilador Cuadrado**:

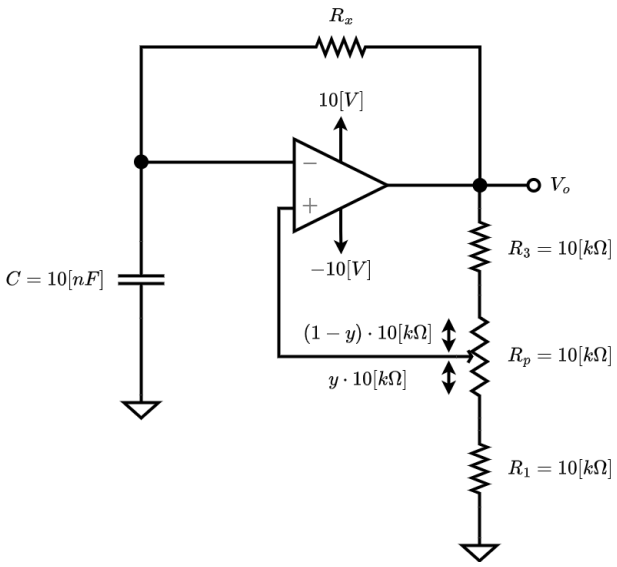


Figura 5: Circuito del Problema 4: Oscilador Cuadrado.

El circuito se compone de:

- Un comparador ideal alimentado con rieles $\pm 10[V]$.
- 3 Resistencias y 1 Capacitor inicialmente descargado, todos ideales.
- Un potenciómetro ideal de valor máximo $10[k\Omega]$, medido de extremo a extremo. La posición del terminal central depende del factor y que va de 0 a 1.

Alan, inmediatamente reconoció que hay un elemento no definido en el diagrama (R_x) y además que el uso de un potenciómetro debe tener un efecto en la onda de salida. Sin embargo, como todos los semestres, le deja el trabajo de entenderlo y explicarlo a usted.

A continuación:

A) Analice la operación del circuito siendo claro y explícito en explicar como evoluciona la salida del oscilador y los nodos V+ y V- del comparador en el tiempo. *Para su análisis, asuma que R_x e y son valores fijos y tenga en cuenta que un gráfico con puntos notables y relevantes del proceso, vale más que mil palabras y le sería de mucha utilidad.*

B) A partir de su gráfico, y análisis, indique si se puede asumir que los tiempos de carga y descarga capacitiva son idénticos en régimen permanente. Justifique.

C) Encuentre la expresión generalizada de frecuencia de oscilación en función del factor de posición del potenciómetro y y la resistencia R_x.

D) Determine el valor de R_x para que el circuito oscile con una frecuencia de 500[Hz] cuando el potenciómetro opera con un factor $y = 0$ (es decir, que la salida del comparador está conectada al extremo superior del potenciómetro).

E) Configurado el circuito con el valor R_x calculado anteriormente, determine la frecuencia de oscilación cuando $y = 1$ (es decir, que la salida del comparador está conectada al extremo inferior del potenciómetro).

P4 | A) Para explicarlo se recomiendan gráficos ... y podemos añadir unos cálculos menores:

↳ Consideremos el potenciómetro fijo en la posición y y determinemos el voltaje del nodo V_+ en función de la salida

$$V_+ = \frac{V_o}{R_1 + R_2 + R_p^{MAX}} \cdot \left(R_1 + y \cdot R_p^{MAX} \right)$$

$$\boxed{V_+ = \frac{V_o}{3} \cdot (1 + y)}$$

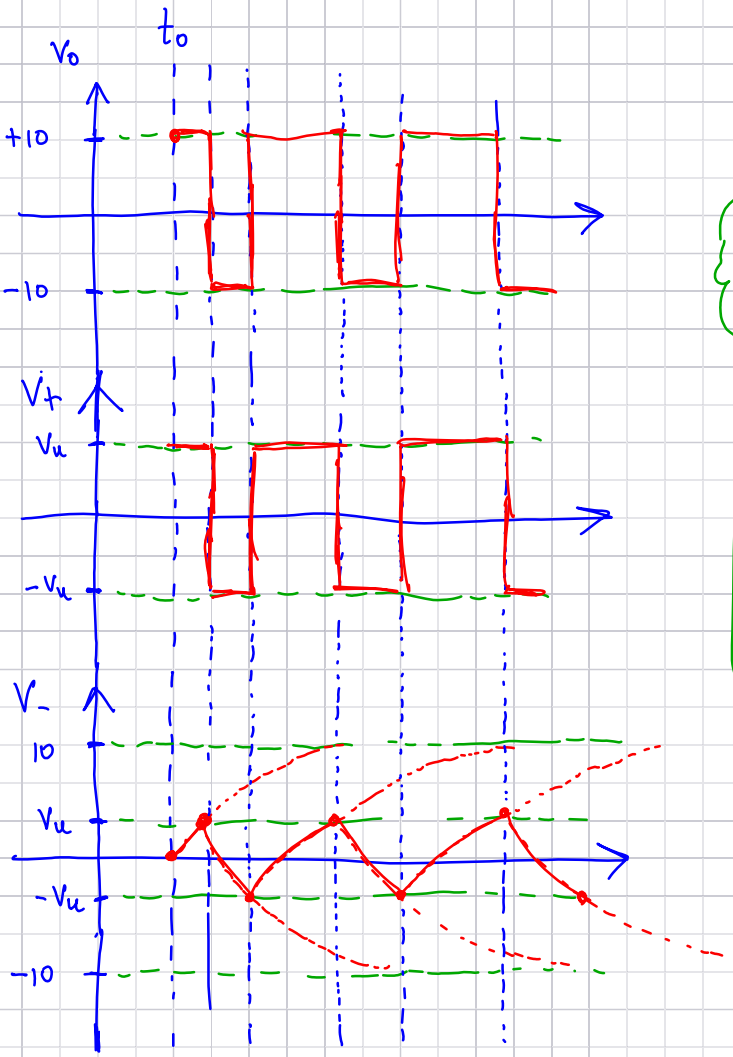
Como V_o es la salida de un comparador, sabemos que sólo puede tomar el valor de las rieles: $\pm 10V$, esto también implica que hay simetría en los umbrales de comparación

$$V_u^+ = \frac{10}{3}(1+y) \quad ; \quad V_u^- = -\frac{10}{3}(1+y)$$

Ahora podemos graficar (no a escala pues es difícil):

↳ En siguiente página para hacerlo

pasa decente!



Lamentablemente del gráfico por la falla de grafa no se nota bien pero los tiempos de carga y descarga del capacitor son los mismos porque:

* los umbrales son simetricos
* la constante τ de carga y descarga es la misma $\Rightarrow R_x \cdot C_{//}$

B) De lo anterior se infiere que el potenciómetro separa o acerca los umbrales y por lo tanto afecta/controla los tiempos de carga y descarga en términos de extender o disminuirlos (simétricamente).

En el caso de R_x, éste controla la constante de tiempo/rapidez de la carga y descarga.

Así R_p y R_x están directamente involucrados en el periodo de la onda de salida.

Los relés son simetricos $\Rightarrow$ los umbrales son simétricos y como la rapidez de carga y descarga es la misma en el proceso, los tiempos asociados a ambos procesos son los mismos.

c) Para la determinación de la frecuencia de salida hacemos uso de la ecuación de carga y descarga del capacitor:

$$\Rightarrow \quad V_{CAP}(t) = V(\infty) + \left(V(0) - V(\infty)\right) e^{-t/\tau}$$

Para la subida, la ecuación queda:

$$V_{CAP}(t) \underset{(subida)}{=} 10 + \left(V_u^- - 10\right) e^{-t/R_x \cdot C} \quad \left| \begin{array}{l} \text{Parte en } V_u^- = -V_u \\ \text{Termina en } V_u^+ = V_u \end{array} \right.$$

Para la bajada, la ecuación queda:

$$V_{CAP}(t) \underset{(bajada)}{=} -10 + \left(V_u^+ + 10\right) e^{-t/R_x \cdot C} \quad \left| \begin{array}{l} \text{Parte en } V_u^+ = V_u \\ \text{Termina en } V_u^- = -V_u \end{array} \right.$$

Para determinar la frecuencia, no basta despejar el tiempo de carga y descarga en una de las ecuaciones anteriores y duplicarlo obteniéndo así el periodo y en consecuencia la frecuencia.

$$\Rightarrow \quad V_u^+ = 10 + \left(V_u^- - 10\right) e^{-t/R_x C}$$

$$e^{-t/R_x \cdot C} = \frac{V_u^+ - 10}{V_u^- - 10} \quad / \ln(\cdot)$$

$$-\frac{t}{R_x \cdot C} = \ln\left(\frac{V_u^+ - 10}{V_u^- - 10}\right)$$

$$t = R_x \cdot C \cdot \ln\left(\frac{V_u^- - 10}{V_u^+ - 10}\right) = R_x \cdot C \cdot \ln\left(\frac{-\frac{10}{3}(1+\gamma) - 10}{\frac{10}{3}(1+\gamma) - 10}\right)$$

$$t = R_x C \cdot \ln\left(\frac{4+\gamma}{2-\gamma}\right) \longrightarrow \text{Tiempo de carga}$$

Y así el periodo es:

$$T = 2 \cdot t_{carga} = 2 \cdot R_x \cdot C \cdot \ln\left(\frac{4+\gamma}{2-\gamma}\right)$$

y la frecuencia:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \cdot R_x \cdot C \cdot \ln\left(\frac{4+\gamma}{2-\gamma}\right)}$$

D) y E) Las resolvemos una tabla desde la configuración que se produjo en la prueba

	D) - R_x		E) - f
$\gamma = 1$	$\approx 62\,[k\Omega]$	$\gamma = 0$	$\approx 1.16\,[kHz]$
$\gamma = 0$	$\approx 144\,[k\Omega]$	$\gamma = 1$	$\approx 215\,[Hz]$

La diferencia marcada en f se debe a que el mínimo de frecuencia se obtiene usando V_+ está en el extremo superior del pot; mientras que la máxima frecuencia se obtiene usando el terminal V_+ está al extremo inferior del pot.

Para evitar confusiones otra vez, desde ahora use el principio que el circuito y sus conexiones mandan!