



Electrónica Analógica

Ejercicios

Versión: 2015-09-21

Capítulo 3: **Amplificadores Operacionales Ideales**

Referencias:

Texto base: *Circuitos Electrónicos. Análisis simulación y diseño*,
de Norbert R. Malik. Capítulo 2: Amplificadores
Operacionales.

Otros: Elaborados por los profesores de la materia.

Control de versiones

- 2015-09-21: versión inicial. En esta versión se incorpora un código orientativo para la preparación y estudio de los ejercicios. Se tienen las siguientes categorías y recomendaciones (calificadas entre uno y tres asteriscos):
 - **(*) Ejercicios básicos:** estos ejercicios son aconsejables para la primera aproximación a cada una de las secciones de este tema. Sirven como estudio de los conceptos básicos y técnicas de análisis (o diseño) correspondientes.
 - **(**) Ejercicios fáciles:** su resolución necesita de un conocimiento y una capacidad operativa algo más exigente que los ejercicios básicos. Se aconseja abordarlos después de haber alcanzado un cierto grado de soltura con los ejercicios básicos.
 - **(***) Ejercicios complejos:** bien por su longitud, su operativa o por necesitar de conocimientos y destrezas más completos, son los ejercicios más exigentes para los alumnos. No se aconseja abordarlos sin haber conseguido antes un cierto grado de soltura con los ejercicios básicos y fáciles.

A.-Configuraciones y propiedades básicas

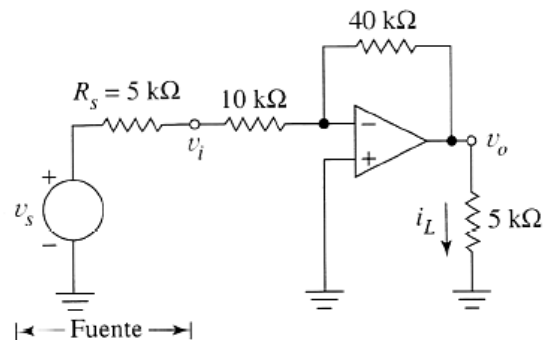
Nota: Muchos de los problemas están extraídos de uno de los textos base (Malik). En consecuencia, algunas figuras se referencian con la numeración (P2.XX) que se corresponde con la usada en dicho texto. En estos casos, algunos enunciados han sido cambiados ligeramente.

AO-1.-(*) Diseñar un amplificador inversor con ganancia de tensión de -20 y $R_i=1,5\text{k}\Omega$.

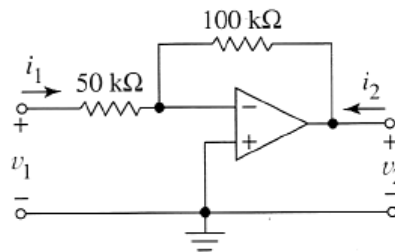
AO-2.-(*) Diseñar un amplificador inversor con ganancia de -30. La corriente de salida del operacional debe ser 0,5mA cuando $v_o=-2\text{V}$.

AO-3.-(*) La figura de la derecha (P2.6) muestra un amplificador inversor diseñado para una ganancia de -4. Está conectado a una fuente de $R_s=5\text{k}\Omega$ y a una carga $R_L=5\text{k}\Omega$.

- Halle la tensión de entrada en función de v_s .
- Halle v_o en función de v_s .
- Halle i_L en función de v_s .



AO-4.-(*) Dibuje las curvas v - i de entrada y salida del amplificador inversor de la figura siguiente (P2.8). Etiquete cada curva con la información cuantitativa adecuada.



AO-5.-()** La figura P2.10-a da el símbolo de un fototransistor y la figura P2.10-b sus características de salida. Este dispositivo convierte la intensidad luminosa I , en W/m^2 en una corriente de salida i_s .

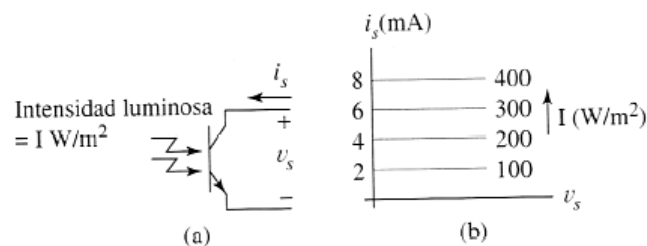
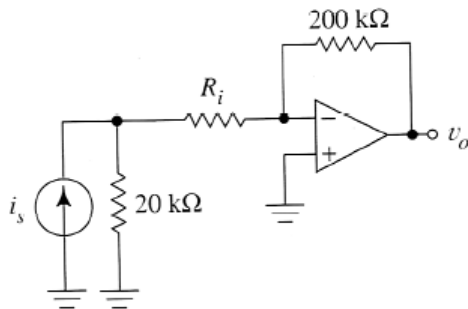


FIGURA P2.10

- Diseñe un convertidor corriente-tensión para procesar la salida del fototransistor. El circuito debe proporcionar tensiones de salida entre 0 y +10V para intensidades luminosas entre 0 y 400W/m^2 , respectivamente. El fototransistor puede modelarse como una fuente dependiente de corriente controlada por la intensidad de la luz.

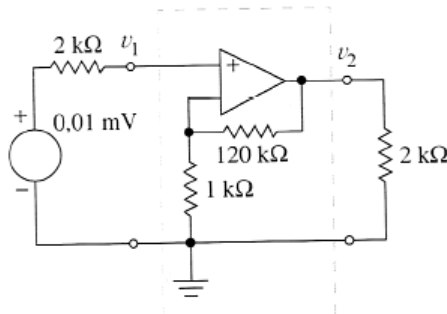
- b) Las características reales del fototransistor tienen una pendiente no-nula. Redibuje el circuito del apartado (a) adaptando el modelo del fototransistor sabiendo que la pendiente es de $1/40$ mA por voltio. ¿Cómo cambia la tensión de salida del circuito al usar este transistor real? Explíquelo.



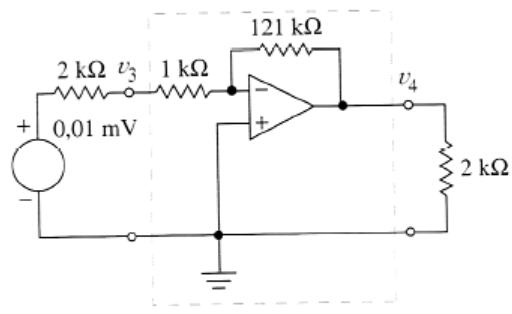
AO-6.-(*) En el circuito de la figura adjunta (izquierda, P2.12) halle la ganancia $G_z = (v_o/i_s)$ en los casos:

- $R_i = 20\text{ k}\Omega$.
- $R_i = 0$.

AO-7.-(*) Obtenga el modelo equivalente de los amplificadores representados en las figuras P2.16-a y b (recuadro punteado). Usando dichos modelos, obtenga los valores de las tensiones v_1 , v_2 , v_3 y v_4 . Teniendo en cuenta que generador y carga son iguales en ambos casos ¿qué justifica las diferencias encontradas en dichas tensiones?



(a)



(b)

FIGURA P2.16

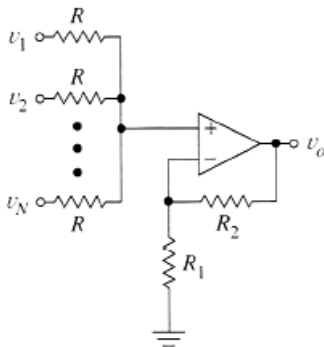


FIGURA P2.17

AO-8.-(*) En la figura P2.17 se representa un circuito conocido como *sumador no inversor*. Obtenga la función de transferencia del circuito: $v_o = f(v_1, v_2, \dots, v_N)$.

AO-9.-(*) Demuestre que la resistencia de salida de un amplificador no inversor (con operacionales ideales) es nula. Aplique la definición de R_o y explique cada paso del razonamiento seguido.

AO-10.-(*) El operacional de la figura P2.21 tiene ganancia infinita (es ideal).

- Halle la tensión de salida, v_o , del circuito dado.
- Añada una resistencia de $1\text{ k}\Omega$ como carga. Determine (con signo) el valor de la corriente por la carga y por la salida del AO.

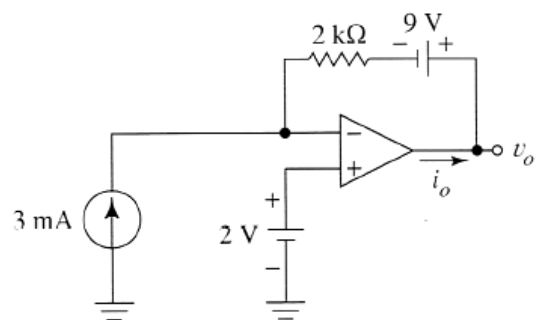


FIGURA P2.21

AO-11.-()** El AO de la figura 2.27 es ideal (ganancia infinita).

- Halle la corriente que circula por el generador de entrada.
- Halle la tensión de salida, v_o , del amplificador.
- ¿Qué valor tiene la tensión de entrada en modo común?

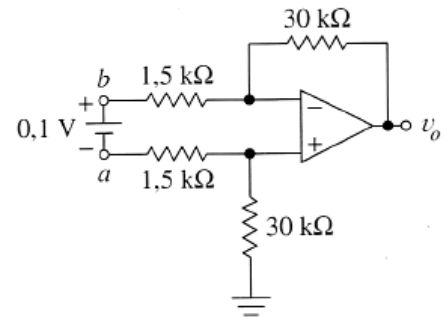


FIGURA P2.27

AO-12.-()** Se necesita un amplificador de instrumentación con una ganancia diferencial de 2000.

- Diseñe el circuito pedido especificando los valores de los resistores necesarios. A falta de otros condicionantes, tome para la etapa de salida una ganancia de 100.
- Obtenga las componentes de señal diferencial y de modo común tanto en la entrada como en la salida de la primera etapa si se tienen las entradas: $v_a = +3\text{mV}$ y $v_b = -2,5\text{mV}$.

AO-13.-(*)** Diseñe un VCCS que tenga una transconductancia de $-0,3\text{mA/V}$ usando operacionales ideales.

- ¿Qué modelo de amplificador se corresponde con este diseño? ¿Cuáles son sus parámetros?
- Halle la magnitud y polaridad de la tensión de salida en todos los operacionales si en la entrada se tiene un generador $v_i=0,4\text{V}$ y la carga es una resistencia de $10\text{k}\Omega$.
- Repita el apartado (b) para el caso de una resistencia de carga de $1\text{k}\Omega$.
- Repita el apartado (c) con $v_i=-0,4\text{V}$.

AO-14.-()** Diseñe un CCCS con una ganancia de corriente de 20.

AO-15.-()** El circuito de la figura P2.31 se correspondería con el de una fuente de corriente si se cumpliera la condición de diseño $(R_2/R_1) = (R_3/R_4)$. En este caso, el AO está en zona lineal.

- Suponga que la condición de diseño no se cumple, pero el AO está en zona lineal. Determine el valor de la resistencia de salida del circuito, R_o , en este caso.
- Determine el valor de R_o si se tuviera $R_1 = R_3 = 20,2\text{k}\Omega$ y $R_2 = R_4 = 19,8\text{k}\Omega$.
- Determine el valor de R_o si se cumpliera la condición de diseño.

AO-16.-()** El operacional de la figura P2.32 es ideal. Halle la resistencia de entrada (entre los terminales xx). Comente el resultado.

AO-17.-()** El operacional de la figura P2.33 es ideal. Halle su ganancia de tensión $G_V = (v_o/v_s)$.

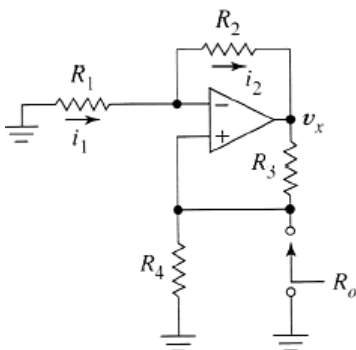


FIGURA P2.31

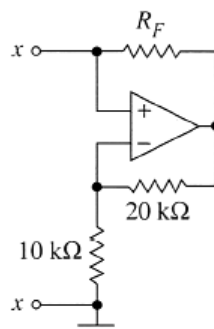


FIGURA P2.32

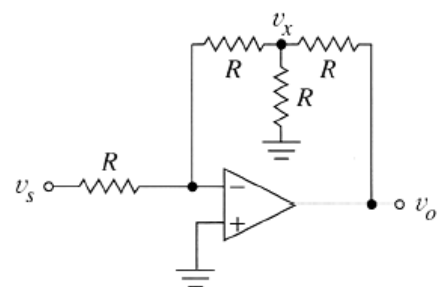


FIGURA P2.33

B.-Otras aplicaciones lineales con operacionales

AO-18.-(*) Dibuje el esquema de un circuito 'integrador' con AO ideales. Supuesto descargado el condensador en $t=0$, halle y dibuje la respuesta del mismo si se tiene $R \cdot C = 10^{-3}s$ y la tensión de entrada es:

- Constante, $v_i = 0,2V$.
- $v_i(t)$ es un pulso de 1V de amplitud y 2ms de duración.
- En este caso, obtenga la solución para régimen permanente y con $v_i(t)=0,2 \sin(20t)$.

AO-19.-()** Determine la impedancia de entrada, Z_i , del circuito de la figura P2.36:

- Suponiendo que las impedancias mostradas son genéricas (esto es: de valores Z_1 a Z_5).
- Obtenga el valor de la Z_i en el caso mostrado en la figura. Comente el resultado.

Nota 1: esta configuración es de gran interés, pues permite sintetizar bobinas de alto Q y de cualquier valor con dimensiones muy reducidas, incluso en circuitos integrados.

Nota 2. Para estudiantes avanzados (*)**: Si los AO's estuviesen alimentados entre $\pm V_{CC}$, ¿qué valores límite tendría la tensión de entrada V_i antes de que el circuito dejase de funcionar?

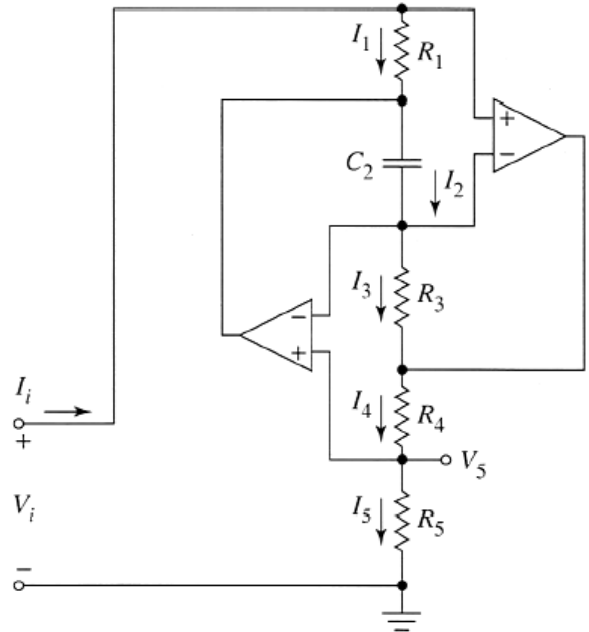
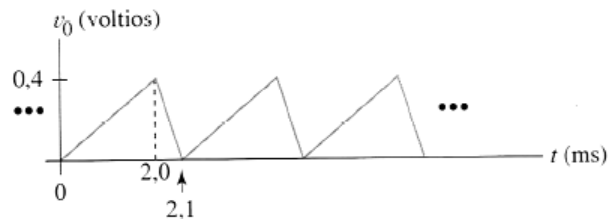


FIGURA P2.36

AO-20.-()** La forma de onda de la figura P2.42 es la entrada para un derivador construido con un AO ideal.

- Dibuje el circuito del derivador y obtenga el valor de la tensión de salida $v_o(t)$ en función de RC .
- Determine el valor del producto RC teniendo en cuenta que el AO está alimentado simétricamente con $V_{CC}=12V$ y la salida no debe saturarse.

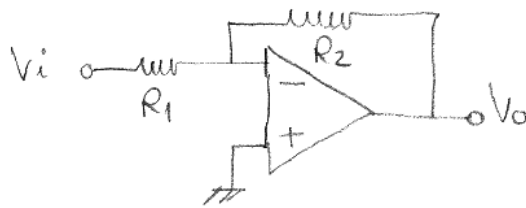


AO-21.-(*)** Use circuitos basados en AOs ideales, combinados en cascada, para diseñar un cuadripolo con las siguientes características: impedancia de entrada nula; impedancia de salida infinita; la transmitancia es un generador de corriente referida a masa y con la siguiente función de transferencia: $i_o(t) = 20 \int i_i(t) dt$

Capítulo 3:

Amplificadores Operacionales Ideales

Soluciones a los ejercicios propuestos

A.-Configuraciones y propiedades básicas**AO-1.-**

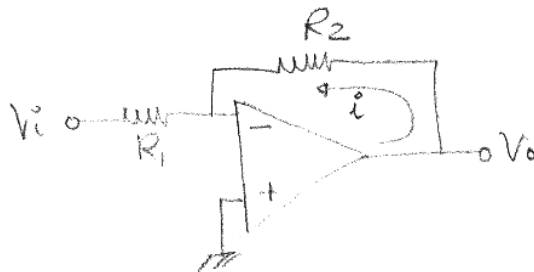
$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_i$$

$$* A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} = -20$$

$$\hookrightarrow R_2 = 20R_1$$

* Impedancia de entrada: $R_i = R_1 = 15 \text{ k}\Omega$

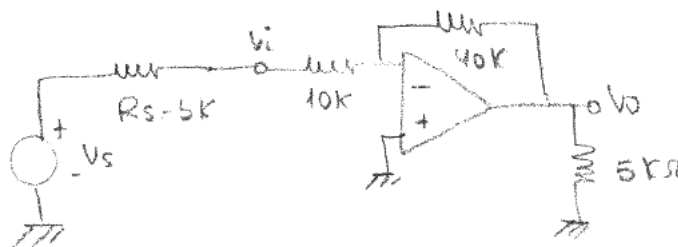
* Luego $R_1 = 15 \text{ k}\Omega$ $R_2 = 30 \text{ k}\Omega$

AO-2.-

$$A_v = -\frac{R_2}{R_1} = -30 \rightarrow R_2 = 30R_1$$

En ausencia de carga, toda la corriente de salida del AO circula por R_2 :

$$i = \frac{V_o}{R_2} = \frac{2}{R_2} = 0.5 \text{ mA} \rightarrow R_2 = 4 \text{ k}\Omega \rightarrow R_1 = 133.3 \text{ }\Omega$$

AO-3.-

a) V_i en función de V_s

$$V_i = \frac{V_s}{R_s + 10k} \cdot 10k = \frac{V_s}{1.5}$$

$$V_i = \frac{V_s}{1.5}$$

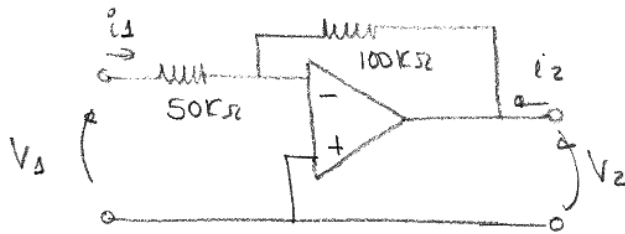
c) i_L en función de V_s

$$i_L = \frac{V_o}{5000} = \frac{-2'6 V_s}{5000} = \boxed{-5'3 \cdot 10^{-4} V_s = i_L}$$

b) V_o en función de V_s

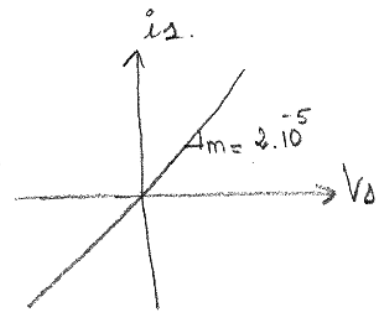
$$V_o = -4 V_i = -4 \cdot \frac{V_s}{1'5} \Rightarrow \boxed{V_o = -2'6 V_s}$$

AO-4.-



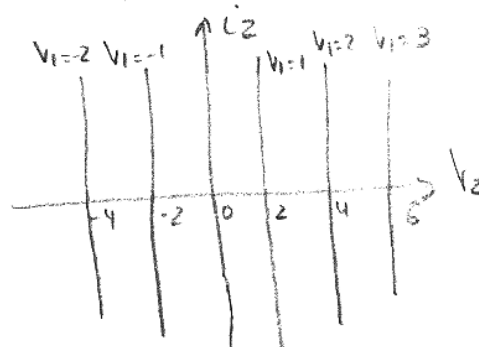
* Curva de entrada.

$$V_s = 50.000 i_s \Rightarrow i_s = \frac{1}{50.000} V_s$$



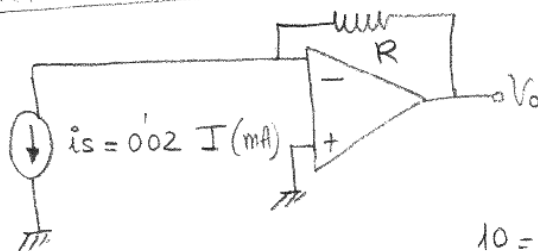
* Curva de salida.

i_o puede tomar cualquier valor en función de la carga conectada. Por lo tanto



AO-5.-

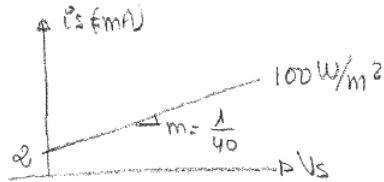
a) Convertidor corriente-tensión



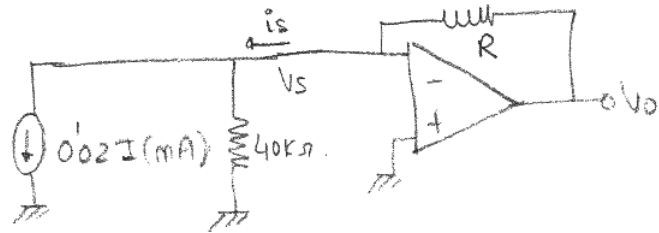
$$V_o = R \cdot i_s = R \cdot 0'02 I$$

Según enunciado, con $I = 400$ obtenemos $V_o = 10$

$$10 = R \cdot 0'02 \cdot 400 \Rightarrow \boxed{R = 1'25 K\Omega}$$

b) Caso real


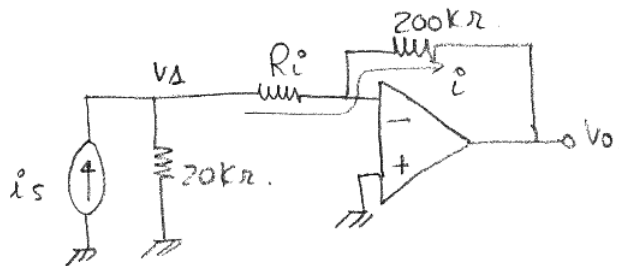
$$i_s(\text{mA}) = 2 + \frac{V_s}{40} \rightarrow \text{resistencia de } 40 \text{ k}\Omega$$



$$\text{Ahora, } V_o = R \cdot i_s = 1'05 \left(2 + \frac{V_s}{40} \right)$$

Como tenemos masa virtual, $V_s = 0 \rightarrow$ NO CAMBIA LA TENSIÓN DE SALIDA DEL CIRCUITO

AO-6.-



$$\text{Hallar } G'_2 = \frac{V_o}{i_s}$$

 a) Cuando $R_i = 20 \text{ k}\Omega$.

$$i = -\frac{V_o}{200} = i_s - \frac{V_s}{20}$$

$$\text{sacando } V_s = R_i \cdot i = -\frac{R_i V_o}{200}$$

Sustituyendo esto en la ecuación:

$$-\frac{V_o}{200} = i_s + \frac{R_i V_o}{4000} \rightarrow -\frac{V_o}{200} - \frac{R_i V_o}{4000} = i_s$$

$$\text{Luego } G'_2 = \frac{V_o}{i_s} = \frac{-1}{\frac{1}{200} + \frac{R_i}{4000}} = \frac{-1}{\frac{4000 + 200 R_i}{4000}} = \frac{-4000}{4000 + 200 R_i}$$

$$\boxed{G'_2 = \frac{V_o}{i_s} = \frac{-8000}{40 + 2 R_i}}$$

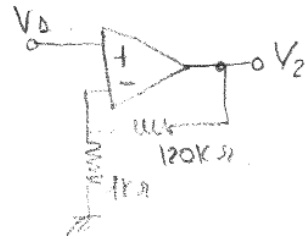
$$\boxed{G'_2 = -100} \left(\frac{\text{V}}{\text{mA}} \right)$$

 b) Cuando $R_i = 0$

$$G'_2 = -\frac{8000}{40} = \boxed{-200 = G'_2} \left(\frac{\text{V}}{\text{mA}} \right)$$

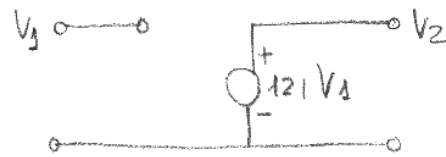
AO-7.-

Circuito de la figura a)

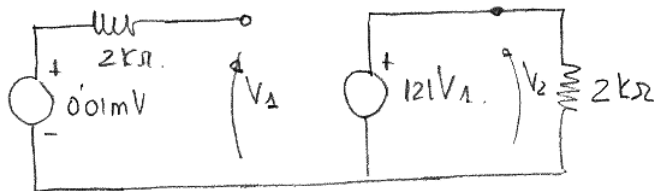


Amplif. no inversor

MODELO:



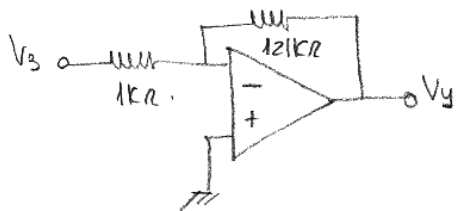
Analisis del do usando el modelo.



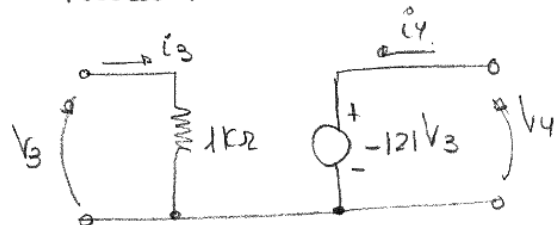
$$V_1 = 0.03 \text{ mV}$$

$$V_2 = 1.21 \text{ mV}$$

Circuito de la figura b)



Modelo:



Analisis del do usando el modelo.

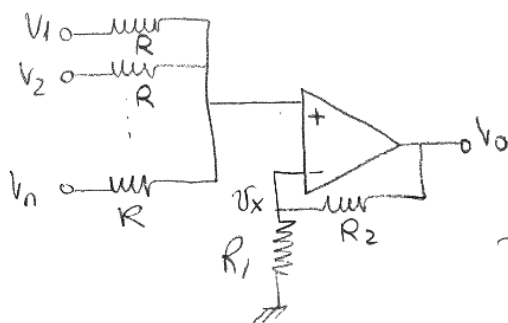


$$V_3 = 0.003 \text{ mV}$$

$$V_4 = -0.1 \text{ mV}$$

Diferencias: el signo y la impedancia de entrada.

AO-8.-



$$V_x = \frac{V_o R_1}{R_1 + R_2}$$

Como la corriente por la pablla + es nula:

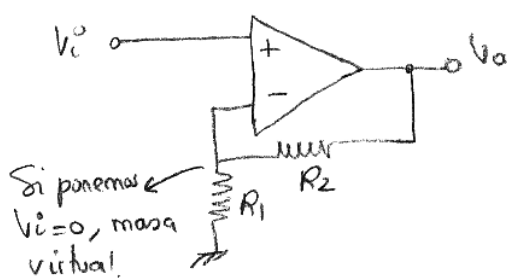
$$\frac{V_1 - V_x}{R} + \frac{V_2 - V_x}{R} + \dots + \frac{V_n - V_x}{R} = 0$$

$$\frac{(V_1 + V_2 + \dots + V_n) - nV_x}{0} = 0 \rightarrow \frac{\sum V_i}{R} - \frac{n}{R} \cdot \frac{V_o \cdot R_1}{R_1 + R_2} = 0$$

$$\frac{\sum V_i}{R} = \frac{n}{R} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_o = 0 \rightarrow \boxed{V_o = \frac{R_1 + R_2}{n R_1} \cdot \sum V_i}$$

La ganancia depende del nº de entradas, lo cual no sucede en el sumador inversor

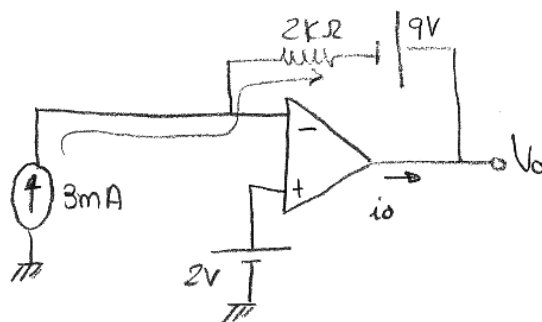
AO-9.-



Utilizamos el modelo equiv del AO ideal, ponemos a cero el generador V_i , y colocamos en la salida un generador de tensión.

No circula por R_1 ni por R_2 corriente (circuitos abiertos). Por tanto, la resistencia de salida es la del AO, que es nula.
($V_o = 0$ para cualquier corriente, es decir $R_o = \frac{0}{i_o} = 0$)

AO-10.-



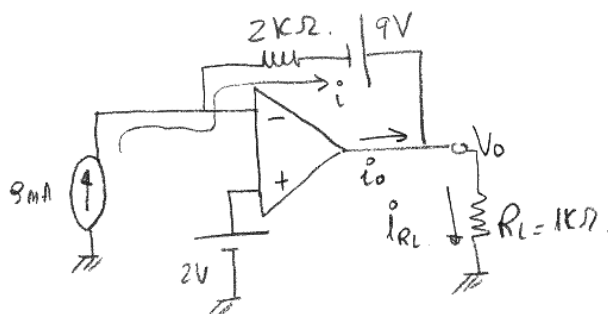
a) Obtener V_o

$$V_+ = V_- = 2V$$

$$V_o = 9 - 2 \cdot 3 + 2 = 9 - 6 + 2 = 5V$$

$$\boxed{V_o = 5V}$$

b) Añadimos carga de $1k\Omega$. c) Corriente por la carga y por la salida del AO?

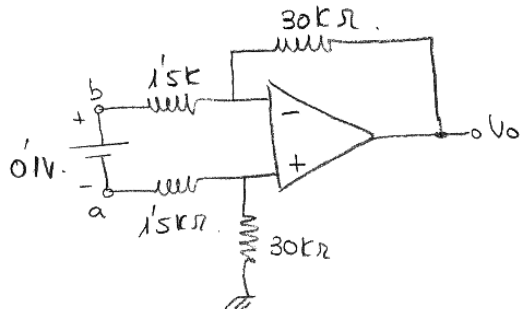


Como la R_o del AO anterior es nula, al conectar una carga no cambia V_o , que sigue siendo de 5V.

$$i_{RL} = \frac{V_o}{R_L} = \frac{5V}{1k} = \boxed{5mA}$$

$$i_o = i_{RL} - i = 5mA - 3mA = \boxed{2mA}$$

AO-11.-



a) Corriente por el generador de entrada.

Como $V_+ = V_-$:

$$i = \frac{0.1V}{30k\Omega} = 0.003mA = i$$

b) Tensión de salida V_o del amplificador

$$V_o = -\left(1 + \frac{30}{1.5}\right) \cdot (V_b - V_a) = -21 \cdot 0.1 = -2.1V = V_o$$

c) Valor de la tensión de entrada en modo común?

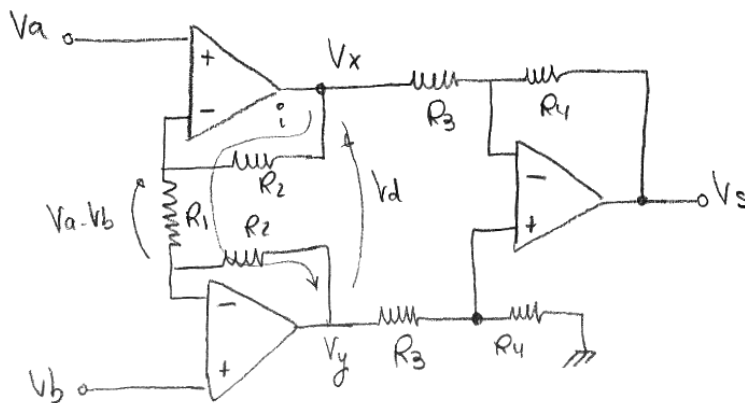
$$V_+ = V_- = -0.003mA \cdot 30k\Omega = -0.09V = V_+ = V_-$$

$$V_a = (V_+) - 1.5 \cdot 0.003 = 0.949V$$

$$V_b = (V_-) + 1.5 \cdot 0.003 = 1.049V$$

$$V_c = \frac{V_a + V_b}{2} = 1V$$

AO-12.-



Se quiere que
 $A_d = 2000$.

a) Diseñar los valores, si en la segunda etapa se quiere ganancia de 100

$$V_d = \frac{V_a - V_b}{R_1} (R_1 + 2R_2) = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \cdot (V_a - V_b) \quad \underline{1^{\text{a}} \text{ ETAPA}}$$

$$V_s = -\frac{R_4}{R_3} \cdot V_d \quad \underline{2^{\text{a}} \text{ ETAPA}}$$

$$\underline{\text{TOTAL}} \Rightarrow V_s = -\frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) (V_a - V_b)$$

$\frac{R_4}{R_3} = 100 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Tomo } R_3 = 1k\Omega \\ R_4 = 100k\Omega \end{array} \right.$	$\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) = 20 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Tomo } R_1 = 1k\Omega \\ R_2 = 9.5k\Omega \end{array} \right.$
--	---

b) Componentes diferencial y en modo común tanto en la entrada como en la salida de la primera etapa si $V_a = 3\text{mV}$ y $V_b = -2.5\text{mV}$
En la entrada:

$$V_d = V_a - V_b = 3 + 2.5 = 5.5\text{mV}$$

$$V_c = \frac{V_a + V_b}{2} = \frac{3 - 2.5}{2} = 0.25\text{mV}$$

En la salida:

$$V_d = V_x - V_y = 0.11\text{V} \quad (\text{se ha amplificado por } 20)$$

$$V_c = \frac{V_x + V_y}{2} = 0.25\text{mV} \quad (\text{se ha quedado igual})$$

Calculamos V_x e V_y

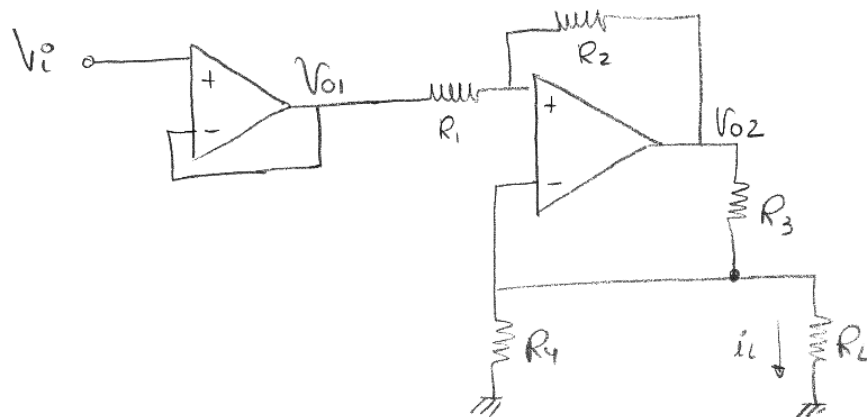
$$i = \frac{V_a - V_b}{R_1} = \frac{5.5\text{mV}}{1\text{K}} = 5.5\mu\text{A}$$

$$V_x = R_2 \cdot i + V_a = 55.25\text{mV}$$

$$V_y = -R_2 \cdot i + V_b = -54.75\text{mV}$$

AO-13.-

Tomamos el do y ecuaciones del libro. Ponemos el seguidor de emisor en la entrada, como dice el texto, para que la impedancia de entrada no dependa de Z_i



a) ¿Modelo de amplificador? ¿Parámetros?

Es un VCCS, y nos piden que tenga $G_2' = \frac{i_L}{V_i} = -0.3 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$

Ecuaciones del do (del libro):

$$\text{Si } [R_1 R_3 = R_2 R_4] (*) \rightarrow [i_L = -\frac{V_i}{R_4}] \rightarrow G_2' = -\frac{1}{R_4}$$

$$\text{después } -\frac{1}{R_4} = -0.3 \frac{\text{mA}}{\text{V}} \Rightarrow \boxed{R_4 = 3.3 \text{ k}\Omega}$$

$$\text{Para cumplir } *, \text{ ponemos } \begin{cases} R_1 = R_4 = 3.3 \text{ k}\Omega \\ R_2 = R_3 = 3 \text{ k}\Omega \end{cases} \rightarrow \text{cualquier valor}$$

b) Magnitud y polaridad de V_{o1} y V_{o2} si $V_i = 0.4 \text{ V}$ y $R_L = 10 \text{ k}\Omega$

$$\boxed{V_{o1} = V_i = 0.4 \text{ V}} \quad \frac{V_{o2} - i_L R_L}{R_2} = i_L + \frac{i_L R_L}{R_4} \quad \text{Despejando } V_{o2}.$$

$$V_{o2} = i_L \left(R_L + R_2 + \frac{R_2 R_L}{R_4} \right) = -0.12 \left(10 + 3 + \frac{3 \cdot 10}{3.3} \right) = -2.65 \text{ V}$$

$$\boxed{V_{o2} = -2.65 \text{ V}}$$

c) Idem con $R_L = 1 \text{ k}\Omega$

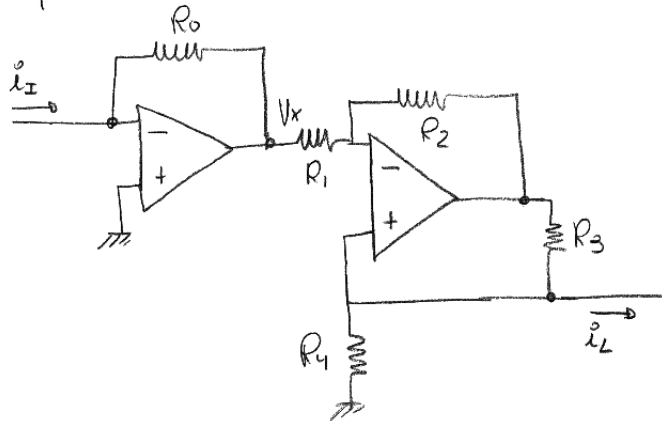
$$\boxed{V_{o1} = 0.4 \text{ V}} \quad V_{o2} = -0.12 \left(1 + 3 + \frac{3 \cdot 1}{3.3} \right) = -0.58 \text{ V} = V_{o2}$$

d) Idem con $V_i = -0.4 \text{ V}$ (y $R_L = 1 \text{ k}\Omega$)

$$\boxed{V_{o1} = -0.4 \text{ V}} \quad V_{o2} = 0.12 \left(1 + 3 + \frac{3 \cdot 1}{3.3} \right) = 0.58 \text{ V} = V_{o2}$$

AO-14.-

Ponemos en cascada un convertidor I-V con la fuente de corriente del ejercicio anterior:



Ecuaciones:

$$\boxed{i_L = -\frac{V_x}{R_4}}$$

$$\text{si } \boxed{R_4 R_2 = R_1 R_3} (*)$$

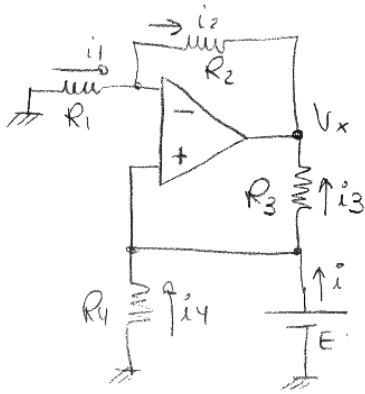
$$\text{y } \boxed{V_x = -R_0 \cdot i_I}$$

$$\text{después } i_L = \frac{R_0 \cdot i_I}{R_4} \Rightarrow G_i = \frac{i_L}{i_I} = \frac{R_0}{R_4} = 20$$

$$\text{Ponemos } \begin{cases} R_0 = 20 \text{ k}\Omega \\ R_4 = 1 \text{ k}\Omega \end{cases} \text{ para garantizar}$$

$$\text{y además } \boxed{R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1 \text{ k}\Omega} \text{ para cumplir } (*)$$

AO-15.-



Ecuaciones del cdo:

$$i_4 = -\frac{E}{R_4}$$

$$i_1 = i_2 = -\frac{E}{R_1}$$

$$V_x = -i_2(R_1 + R_2) = E \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right)$$

$$i_3 = \frac{E - V_x}{R_3} = \frac{E}{R_3} - \frac{E(R_1 + R_2)}{R_1 R_3} = \frac{R_1 R_3 - E R_1 - E R_2}{R_1 R_3}$$

Por lo tanto:

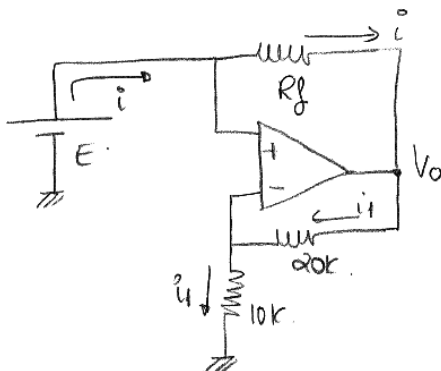
$$i = i_3 - i_4 = -\frac{E R_2}{R_1 R_3} + \frac{E}{R_4} = \frac{-E R_2 R_4 + E R_1 R_3}{R_1 R_3 R_4} = \frac{E(R_1 R_3 - R_2 R_4)}{R_1 R_3 R_4}$$

La impedancia de salida:

$$R_o = \frac{E}{i} = \frac{R_1 R_3 R_4}{R_1 R_3 - R_2 R_4}$$

 Cuando se diseña con $R_1 R_3 = R_2 R_4$,
 $R_o = \infty$, que es lo bueno en
 una fuente de corriente.

AO-16.-



$$i = \frac{E - V_0}{R_f}$$

$$i_1 = \frac{E}{10k} \Rightarrow V_0 = 30k \cdot \frac{E}{10k} = 3E$$

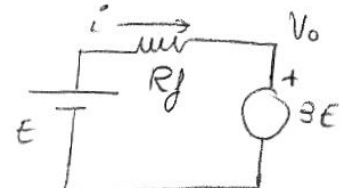
 $V_0 = 3E \rightarrow$ es un amplificador no
 inversor de ganancia 3.

$$i = \frac{E - 3E}{R_f} = -\frac{2E}{R_f} \Rightarrow R_i = \frac{E}{i} = \left[-\frac{R_f}{2} = R_i \right]$$

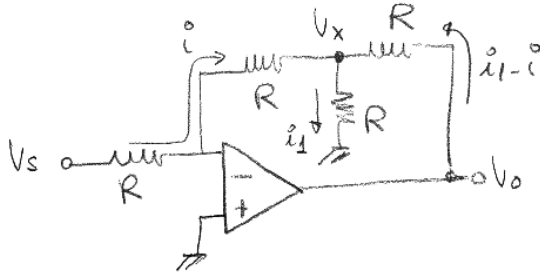
 Resistencia de entrada negativa porque la corriente va en sentido
 contrario a la impuesta por el generador:

 i siempre negativa.

Modelo:



AO-17.-

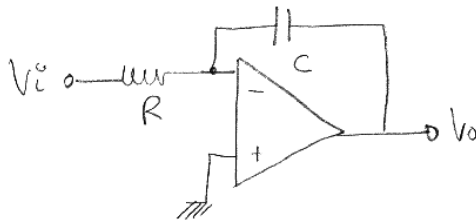


$$\begin{aligned} i &= \frac{V_s}{R} \\ V_x &= -R i = -V_s \\ i_1 &= \frac{V_x}{R} = -\frac{V_s}{R} \end{aligned} \quad \left| \quad \begin{aligned} V_o &= R(i_1 - i) + V_x \end{aligned} \right.$$

$$V_o = R\left(-\frac{V_s}{R} - \frac{V_s}{R}\right) - V_s = -V_s - V_s - V_s = -3V_s \quad \text{Luego} \quad \boxed{\frac{V_o}{V_s} = -3}$$

B.-Otras aplicaciones lineales con operacionales

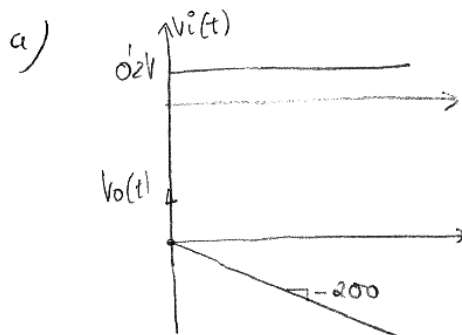
AO-18.-



$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{Z_c}{R} \quad (\text{inversor})$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-1/cs}{R} = -\frac{1}{RCs}$$

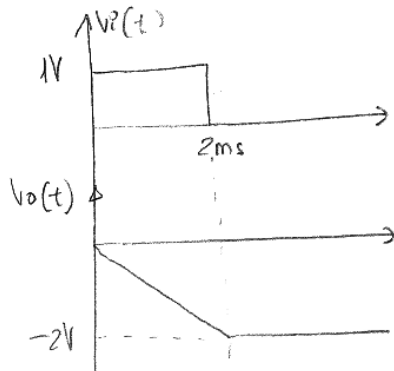
En el dominio del tiempo: $V_o(t) = -\frac{1}{RC} \int V_i(t) \cdot dt$



Si $V_i(t) = 0.2V$

$$V_o(t) = -1000 \int 0.2 \cdot dt = -200t$$

b) Si $V_i(t)$ es un pulso de amplitud 1V y duración 2ms



$$V_o(t) = -1000 \int 1 \cdot dt = -1000t$$

$$V_o(t=2ms) = -1000 \cdot 0.002 = -2V$$

A partir de $t = 2ms$, $V_o(t) = K = -2V$

c) Si $V_i(t) = 0.2 \sin(20t)$, en régimen permanente

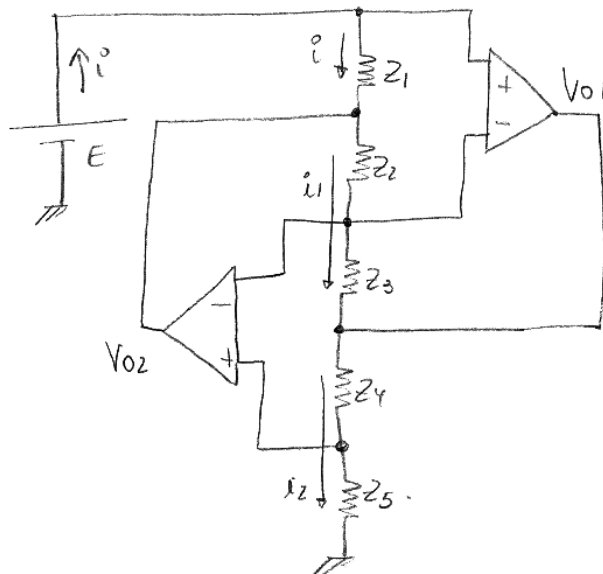
Tomamos $S = j\omega$ y buscamos análisis fasorial.

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{1}{RCj\omega} = \frac{-1000}{j\omega} = \frac{-1000}{20j} = 50j \quad \left(\text{El d.o. amplifica por 50, y desfasa } \frac{\pi}{2} \text{ en adelante} \right)$$

$$V_o = 50j \cdot V_i = 50j \cdot 0.2 = 10j \rightarrow \boxed{V_o(t) = 10 \sin\left(20t + \frac{\pi}{2}\right) = 10 \cos 20t}$$

AO-19.-

a) Impedancia de entrada suponiendo impedancias genéricas.



Observar que en todas las entradas de los operacionales, la tensión vale E . Vamos bajando por el d.o.:

$$i = \frac{E - V_{o2}}{Z_1}$$

$$i_1 = \frac{V_{o2} - E}{Z_2} = -\frac{i \cdot Z_1}{Z_2}$$

$$i_1 = \frac{E - V_{o1}}{Z_3} = -\frac{i \cdot Z_1}{Z_2} = -\frac{(V_{o1} - E)}{Z_3}$$

$$i_2 = \frac{V_{o1} - E}{Z_4} = \frac{1}{Z_4} \cdot \frac{Z_1 Z_3}{Z_2} \cdot i$$

$$i_2 = \frac{E}{Z_5} = \frac{Z_1 Z_3}{Z_2 Z_4} i$$

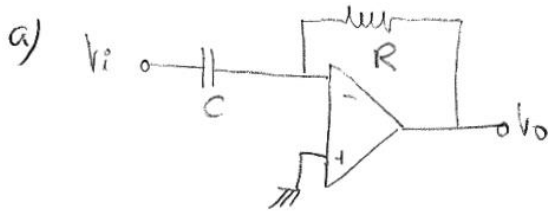
Por lo tanto $\boxed{Z_i = \frac{E}{i} = \frac{Z_1 Z_3 Z_5}{Z_2 Z_4}}$

b) Valor de Z_i cuando $Z_1 = R_1$, $Z_2 = \frac{1}{j\omega C_2}$, $Z_3 = R_3$, $Z_4 = R_4$, $Z_5 = R_5$

$$\text{Sabiendo } Z_i = \frac{R_1 \cdot R_3 \cdot R_5}{\frac{1}{j\omega C_2} \cdot R_4} = \frac{R_1 R_3 R_5}{R_4} \cdot C_2 \cdot j\omega$$

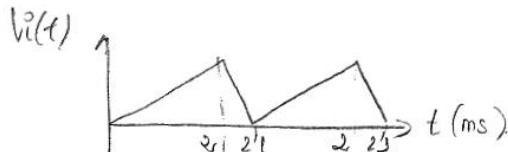
El comportamiento total es INDUCTIVO (bobina de valor muy elevado)

AO-20.-

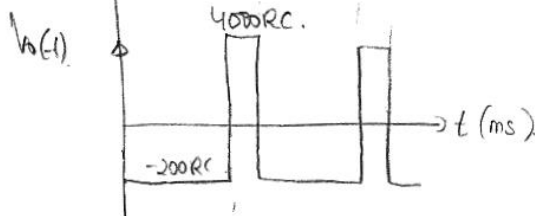


$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{R}{1/Cs} = -RCs$$

$$v_o(t) = -RC \frac{dv_i(t)}{dt}$$


 Para $0 < t < 1$:

$$v_o(t) = -200RC$$

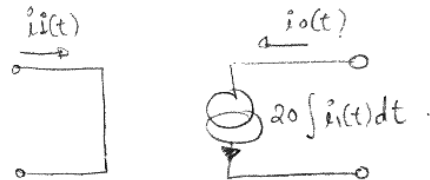

 Para $1 < t < 2$:

$$v_o(t) = -RC(-4000) = 4000RC$$

b) Valor de RC si está alimentado a 12V de forma simétrica.
 $4000RC < 12 \rightarrow RC < 0.003$

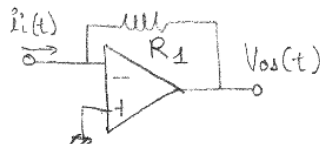
AO-21.-

El modelo del cb que queremos diseñar es el siguiente:



Para ello usaremos los siguientes elementos en cascada:

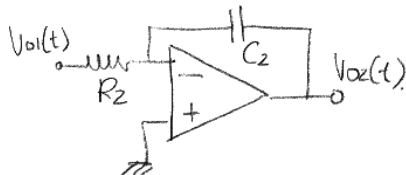
1) Convertidor corriente-tensión, que tiene imp de entrada nula



$$v_{o1}(t) = -R_1 i_i(t)$$

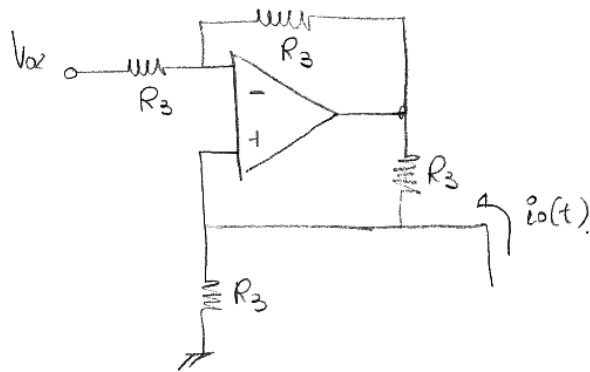
Claramente $Z_i = 0$

2) Un integrador de tensión



$$v_{o2}(t) = -\frac{1}{R_2 C_2} \int v_{o1}(t) dt$$

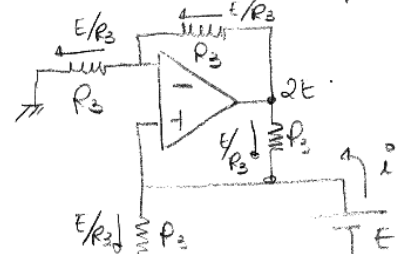
- 3) Como pide, corriente de salida referido a masa, ponemos una fuente de corriente en la salida;



Con estos valores.

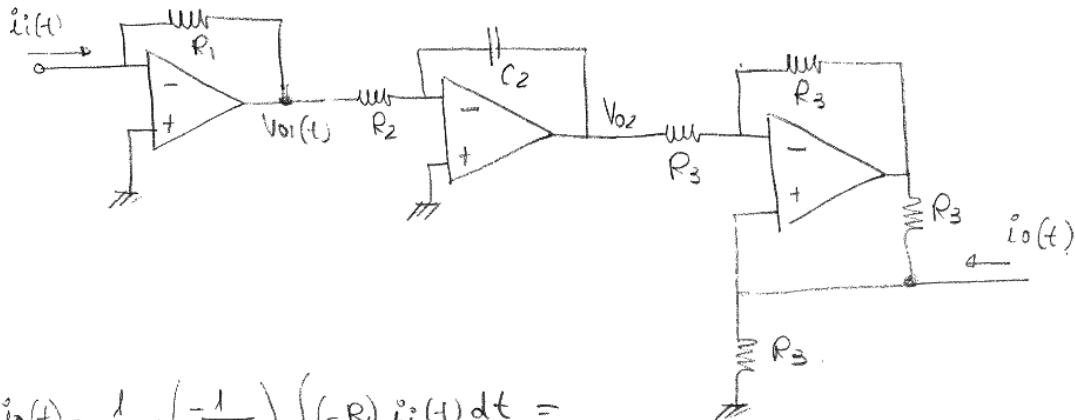
$$i_o(t) = \frac{V_{o2}(t)}{R_3}$$

La impedancia de salida es ∞ , se ve aquí:



Como $i = 0$, $Z_o = \frac{E}{i} = \infty$

Por lo tanto, este es el circuito total:



$$i_o(t) = \frac{1}{R_3} \cdot \left(\frac{-1}{R_2 C_2} \right) \int (-R_1) i_i(t) dt =$$

$$= \frac{R_1}{R_2 R_3 C_2} \int i_i(t) dt.$$

Hay que tomar

$$\boxed{\frac{R_1}{R_2 R_3 C_2} = 20}$$