



Electrónica Analógica

Ejercicios

Versión: 2015-09-17

Capítulo 1: **Fundamentos de amplificación.**

Referencias:

- Texto base:
- *Apuntes de la asignatura*
 - “*Circuitos Microelectrónicos*”, de Sedra/Smith
 - “*Circuitos Electrónicos. Análisis simulación y diseño*”, de Norbert R. Malik.

Control de versiones

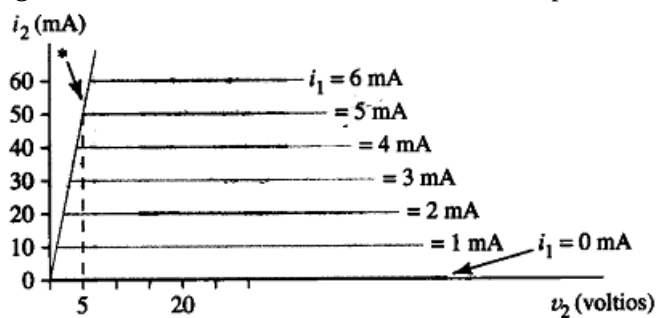
- 2015-09-17: versión inicial, curso 16-17.

Selección de problemas

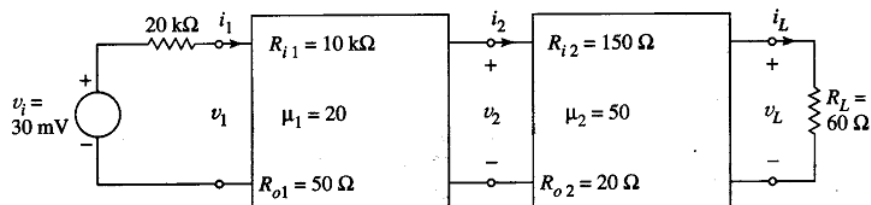
Enunciados

1. (1.10 Malik) Un dispositivo cuadripolo tiene la función de transferencia $v_2 = 2v_1$. La corriente de entrada i_1 es siempre 2 mA.
- Represente las funciones de entrada y salida.
 - Dibuje un circuito equivalente que represente este cuadripolo.
 - Utilice el circuito equivalente anterior para calcular la corriente de salida cuando hay una resistencia de $1\text{k}\Omega$ conectada a la entrada y una de $5\text{k}\Omega$ conectada a la salida.

2. (1.8 Malik) En la siguiente figura se muestra la función de salida de un dispositivo.

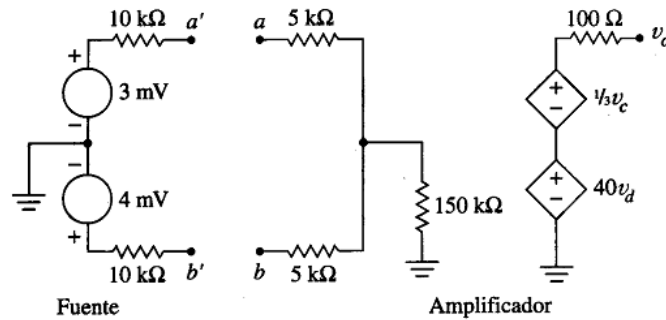


- ¿Qué modelo de un dipolo describe mejor el circuito de salida del dispositivo si $i_1=0$?
 - ¿Y cuando se tiene $i_1=3\text{ mA}$ y $v_2 > 5\text{ V}$?
 - ¿Y cuando está en el modo de funcionamiento representado por la línea recta indicada por el asterisco (*)?
 - Dibuje el diagrama de un cuadripolo cuya función de salida es idéntica a la obtenida en la región ($v_2 \geq 5$, $0 \leq i_2 < 50\text{ mA}$, $0 \leq i_1 < 5\text{ mA}$). Asuma que la tensión de entrada v_1 del cuadripolo es siempre 0.
3. (1.30 Malik) Para el amplificador de dos etapas de la figura, calcule:
- La ganancia de tensión de v_i a v_L
 - La ganancia de corriente (i_L / i_i)
 - La ganancia de potencia, tomando la potencia de entrada como la que se tiene en la entrada a la primera etapa.



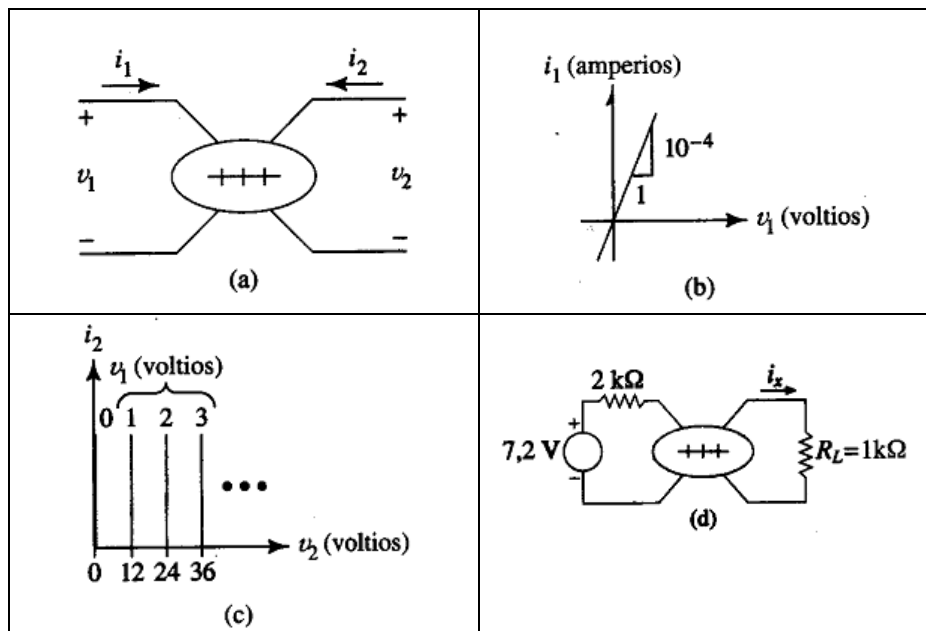
4. (1.38 Malik) Se muestra el modelo para un amplificador diferencial y una fuente doble.

- ¿Cuáles son los valores de A_d , R_{RMC} , R_d y R_c ?
- Halle la componente en modo diferencial de v_o
- Halle el componente en modo común de v_o
- Halle el valor de v_o
- Halle el nuevo valor de v_o si la salida del amplificador se conecta a tierra a través de una resistencia de carga de 800Ω .



5. (1.18 Malik) El elemento de la fig. (a) tiene la curva v - i de entrada de la fig. (b) y la función de salida de la fig. (c).

- Dibuje un modelo del circuito que represente al dispositivo cuando funciona en el primer cuadrante de las funciones de entrada y salida.
- Use el modelo anterior para hallar el valor de i_x en la fig. (d).

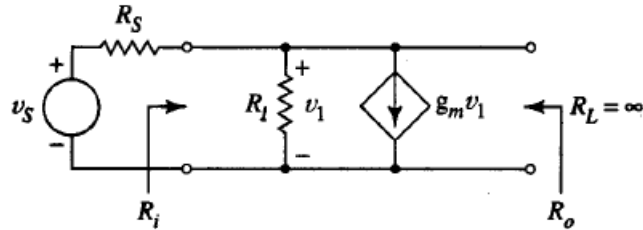


6. (1.20 Malik) Halle la ganancia de tensión necesaria si un amplificador ideal de tensión se conecta a una fuente de señal de 2 miliVoltios (rms) con resistencia interna de 200Ω sobre una carga de 50Ω que necesite $1/2 \text{ W}$ de potencia.

7. (1.23 Malik) Si utilizamos un CCCS con transmitancia β para entregar 100 mW de potencia a una carga de 8Ω desde una fuente de tensión de $0,1 \text{ V}$ y 1 K de resistencia, halle el mínimo valor válido para β .

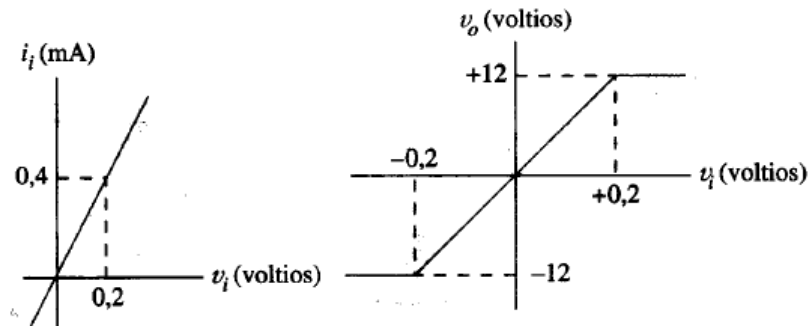
8. (1.34 Malik) Un amplificador diferencial tiene una resistencia de entrada infinita (modo común y diferencial), resistencia de salida cero y los parámetros $A_d = 75$, $RRMC = 40$ dB. Halle la tensión de salida cuando:
- $v_a = 2,3$ mV y $v_b = 1,6$ mV.
 - $v_a(t) = 0,01 \sin(1.000t) + 0,015 \sin(2.000t)$ V, y $v_b(t) = -0,012 \sin(1.000t) + 0,0151 \sin(2.000t)$ V

9. (1.46 Malik) Halle R_i y R_o para el cuadripolo de la siguiente figura.



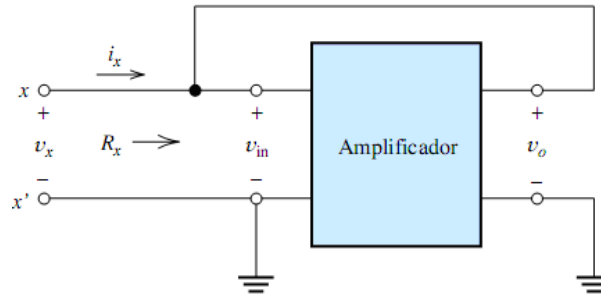
10. (1.50 Malik) Un amplificador se describe por las curvas de entrada y transferencia de la siguiente figura.

- ¿Cuál es la ganancia del amplificador en pequeña señal?
- Dibuje un modelo del circuito que describa el amplificador para $-0,2 \text{ V} < v_i < 0,2 \text{ V}$.
- Dibuje un modelo del circuito que describa al amplificador para $v_i > 0,2 \text{ V}$.
- Dibujar un modelo del circuito que describa al amplificador para $v_i < -0,2 \text{ V}$.



11. (1.51 Malik) La tensión de entrada del amplificador anterior es $v_i(t) = -0,15 + A \sin(\omega t)$, donde la amplitud de la senoide es la información de interés y 0,15 es un desplazamiento que surge de la anterior etapa del amplificador.
- Halle la amplitud máxima, A , para que la información que lleva la señal no se distorsione.
 - Si no hay desplazamiento, ¿cómo debe ser de grande la amplitud A antes de que comience la distorsión?
12. (1.15 Hambley) Se conecta una fuente de señal con una tensión en circuito abierto de $v_s = 2$ mV rms, y una resistencia interna de $50 \text{ k}\Omega$, a los terminales de entrada de un amplificador que presenta una ganancia de tensión en circuito abierto de 100, una resistencia de entrada de $100 \text{ k}\Omega$ y una resistencia de salida de 4Ω . Se conecta una carga de 4Ω a los terminales de salida. Calcular las ganancias de tensión $A_{vs} = (v_o/v_s)$ y $A_v = (v_o/v_i)$. Calcular también la ganancia de potencia y de corriente.
13. (1.31 Hambley). Un amplificador presenta una tensión de entrada de 10 mV rms y una tensión de salida de 5 V rms para una carga de 10Ω . La corriente de entrada es de $1 \mu\text{A rms}$. Las impedancias de entrada y de salida son resistivas puras. Calcular la resistencia de entrada. Hallar la ganancia de tensión, la ganancia de corriente y la ganancia de potencia como relaciones y en decibelios.

14. (1.43 Hambley). Se conecta un amplificador ideal de transconductancia que presenta una ganancia de transconductancia en cortocircuito de $0,1 \text{ S}$, como se muestra en la figura. Calcular la resistencia $R_x = (v_x / i_x)$ vista en bornes de entrada.

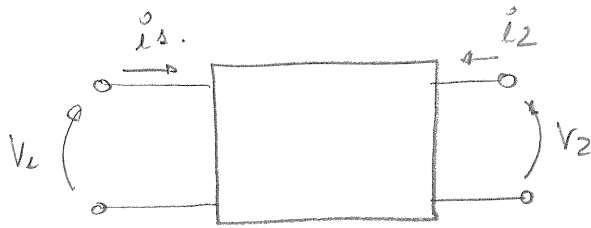


Capítulo 1:
‘Fundamentos de amplificación’

Soluciones a los ejercicios propuestos

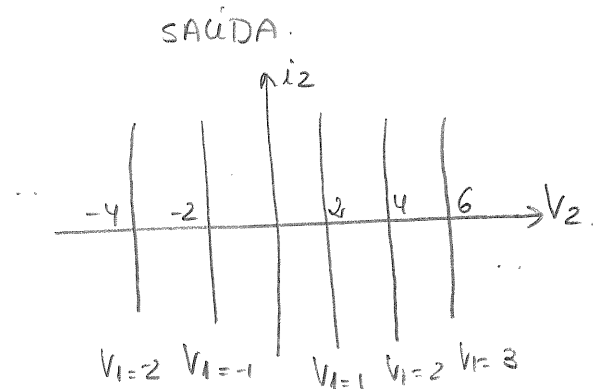
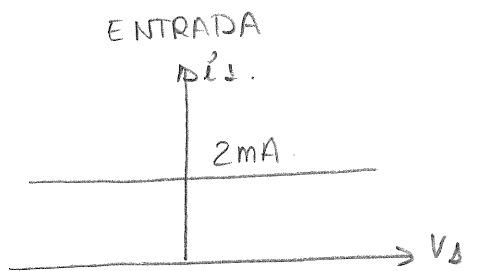
Tema 1. Conceptos básicos de amplificación

1.10 (NALIK)

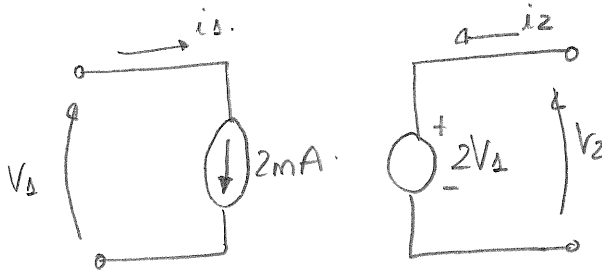


Función de transp.: $V_2 = 2V_1$
 La corriente de entrada es SIEMPRE $i_1 = 2\text{mA}$.

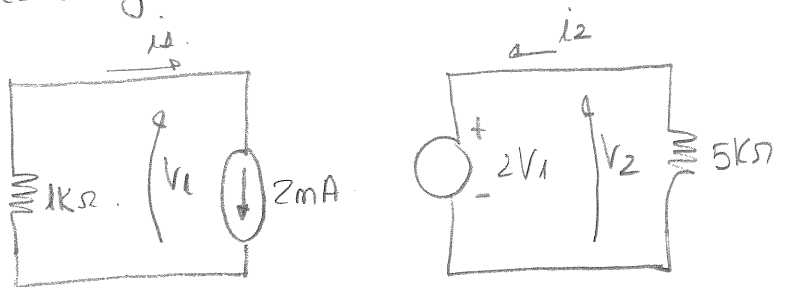
a) Represente las funciones de entrada y salida.



b) Dibuje el circuito equivalente que representa a este cuadripolo



c) Corriente de salida cuando hay una resistencia de $1\text{K}\Omega$ a la entrada y otra de $5\text{K}\Omega$ a la salida.



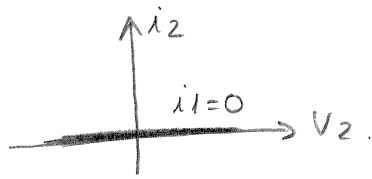
$$V_1 = -1\text{K}\Omega \cdot 2\text{mA} = -2\text{V}$$

$$V_2 = 2V_1 = -4\text{V}$$

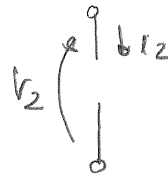
$$i_2 = \frac{-V_2}{5\text{K}\Omega} = \frac{4\text{V}}{5\text{K}\Omega} = 0.8\text{mA}$$

1.8 (Malik)

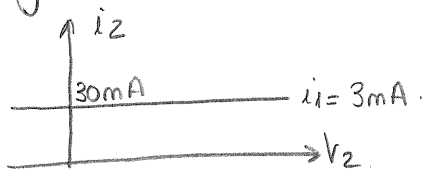
a) ¿Qué modelo de un dipolo describe el cto de salida si $i_1 = 0$?



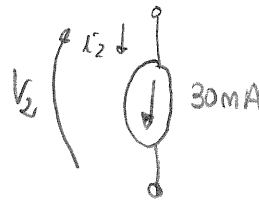
Corriente siempre 0 $\rightarrow$ "circuito abierto"



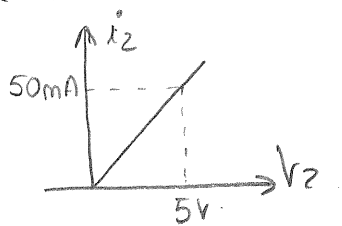
b) ¿Y cuando se tiene $i_1 = 3\text{mA}$ y $v_2 > 5\text{V}$?



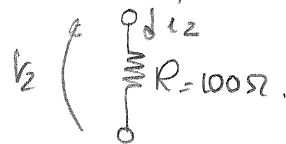
Es una fuente de corriente de 30mA.



c) ¿Y cuando está en el modo de funcionamiento representado por la línea recta *?

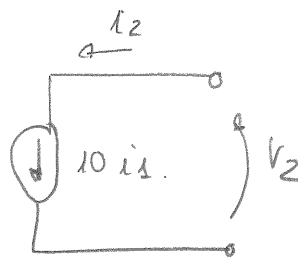
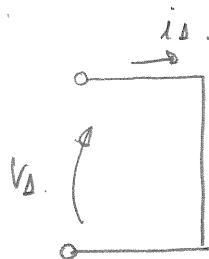


Resistencia de valor $R = \frac{5\text{V}}{50\text{mA}} = 100\Omega$



d) Diagrama de un cuadripolo en la región ($v_2 \geq 5$, $0 \leq i_2 \leq 50\text{mA}$, $0 \leq i_1 < 5\text{mA}$). Se supone que en la entrada del cuadripolo $v_1 = \emptyset$.

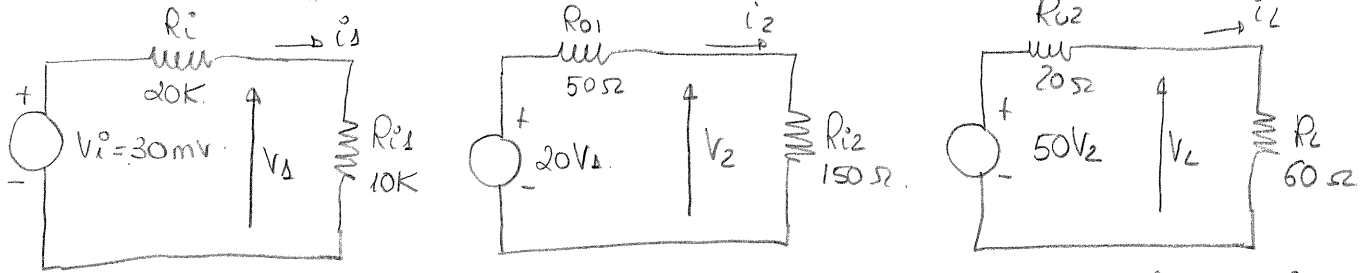
$v_1 = \emptyset$.



Es una CCCS

1.30 (NAUK)

El circuito equivalente es:



Calculamos las corrientes y tensiones de todas las mallas (i_1, i_2, i_L, V_1, V_2 y V_L) y así podemos después sacar cualquier ganancia

$$i_1 = \frac{V_i}{R_i + R_{i1}} = \frac{30 \text{ mV}}{20 \text{ K} + 10 \text{ K}} = 1 \mu\text{A} \rightarrow V_1 = i_1 \cdot R_{i1} = 1 \mu\text{A} \cdot 10 \text{ K} = 0.01 \text{ V}$$

$$i_2 = \frac{20V_1}{R_{o1} + R_{i2}} = \frac{20 \cdot 0.01}{50 + 150} = 1 \text{ mA} \rightarrow V_2 = i_2 \cdot R_{i2} = 1 \text{ mA} \cdot 150 \Omega = 0.15 \text{ V}$$

$$i_L = \frac{50V_2}{R_{o2} + R_L} = \frac{50 \cdot 0.15}{20 + 60} = 0.09375 \text{ A} \rightarrow V_L = R_L \cdot i_L = 5.625 \text{ V}$$

a) Ganancia de tensión $G_V = [V_L / V_i]'$

$$G_V = \frac{V_L}{V_i} = \frac{5.625}{30 \cdot 10^{-3}} = 187.5 \text{ V/V} \rightarrow G_V = 45.46 \text{ dB}$$

b) Ganancia de corriente $G_i = \frac{i_L}{i_i}$

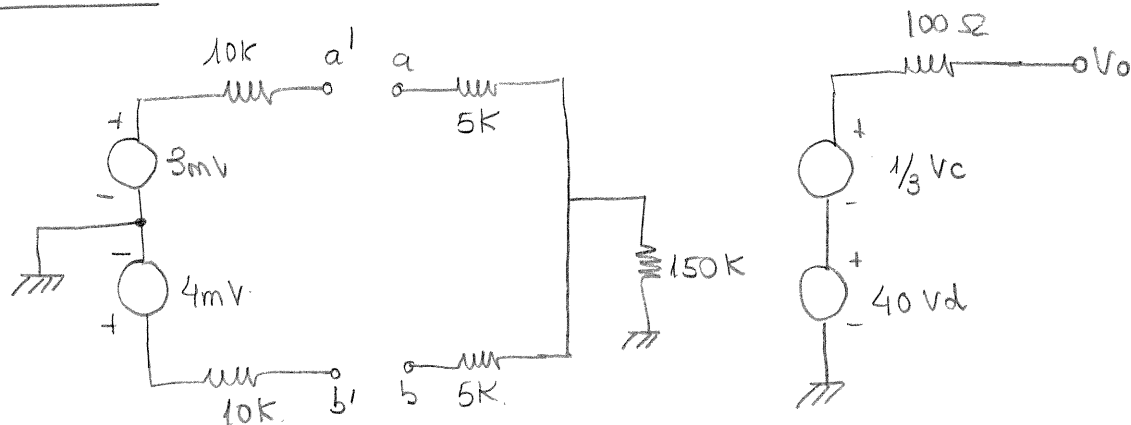
$$G_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{0.09375}{10^{-6}} = 93750 \frac{\text{A}}{\text{A}} \rightarrow G_i = 99.43 \text{ dB}$$

c) Ganancia de potencia, tomando la potencia de entrada como la que se hace en la entrada a la primera etapa

$$G_P = \frac{P_L}{P_i} = \frac{V_L \cdot i_L}{V_1 \cdot i_1} = \frac{5.625 \cdot 0.09375}{0.01 \cdot 10^{-6}} = 52734375 \frac{\text{W}}{\text{W}} \rightarrow G_P = 77.22 \text{ dB}$$

52.73 $\cdot 10^6 \frac{\text{W}}{\text{W}}$
(errata en la solución)

2.38. (MALIK)



a) Valores de A_d , CHRR, R_d y R_c ?

$$A_d = 40$$

$$CHRR = \frac{A_d}{A_c} = \frac{40}{1/3} = 120 \rightarrow CHRR = 20 \log 120 = 41.58 \text{ dB} = CHRR$$

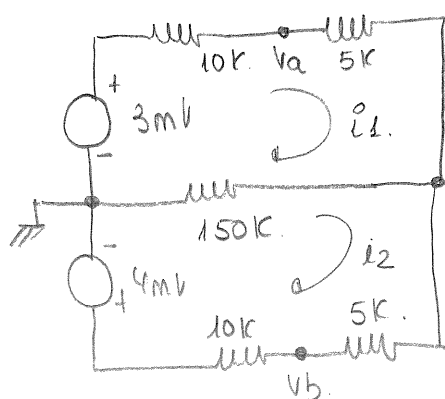
En modo diferencial por R_{cmx} no va corriente, luego $R_d = 10 \text{ K}\Omega$

y en modo común como $V_a = V_b$, $R_c = (5 \text{ K} // 5 \text{ K}) + 150 \text{ K} = 152.5 \text{ K}\Omega = R_c$

b) Componente en modo diferencial de V_o

$$V_o = 40 V_d \text{ con } V_d = V_a - V_b$$

Tenemos que calcular V_a y V_b .



$$\begin{cases} 0 = -3 \cdot 10^{-3} + 10000 i_1 + 5000 i_1 + 150000 (i_1 - i_2) \\ 0 = 150000 (i_2 - i_1) + 15000 i_2 + 4 \cdot 10^{-3} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3 \cdot 10^{-3} = 165000 i_1 - 150000 i_2 \\ -4 \cdot 10^{-3} = -150000 i_1 + 165000 i_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2.7272 \cdot 10^{-3} = 150000 i_1 - 136363.63 i_2 \\ -4 \cdot 10^{-3} = -150000 i_1 + 165000 i_2 \end{cases}$$

$$-1.27 \cdot 10^{-3} = 28636.36 i_2$$

$$i_2 = -4.4 \cdot 10^{-8} \text{ A}$$

$$i_1 = -2.2 \cdot 10^{-8} \text{ A}$$

$$\text{Luego } V_a = -10 \text{ K} \cdot (-2.2 \cdot 10^{-8}) + 3 \cdot 10^{-3} = 3.2 \text{ mV}$$

$$V_b = 10 \text{ K} \cdot (-4.4 \cdot 10^{-8}) + 4 \cdot 10^{-3} = 3.5 \text{ mV}$$

$$\text{Por lo tanto } V_o = 40 (3.2 \cdot 10^{-3} - 3.5 \cdot 10^{-3}) = -12 \text{ mV} = V_o |_{\text{dif}}$$

c) Componente en modo común de V_o

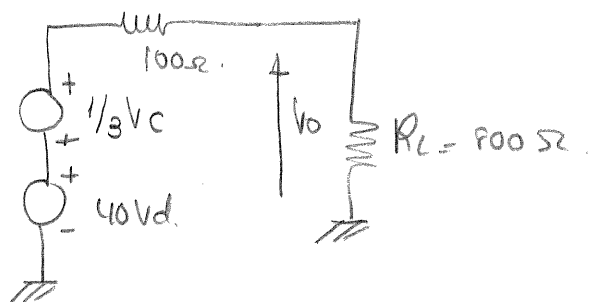
$$V_o = \frac{1}{3} V_c = \frac{1}{3} \left(\frac{V_a + V_b}{2} \right) = \frac{1}{3} \left(\frac{3'2 \text{ mV} + 3'5 \text{ mV}}{2} \right) = \boxed{1'129 \text{ mV} = V_o|_c}$$

d) Valor de V_o

Superponiendo el modo diferencial y el común

$$V_o = 40 V_d + \frac{1}{3} V_c = -13'3 \text{ mV} + 1'129 \text{ mV} = \boxed{-12'2 \text{ mV} = V_o}$$

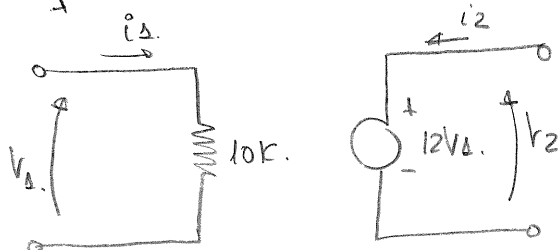
e) Nuevo valor de V_o si la salida del amplificador se conecta a tierra a través de una $R_L = 800 \Omega$.



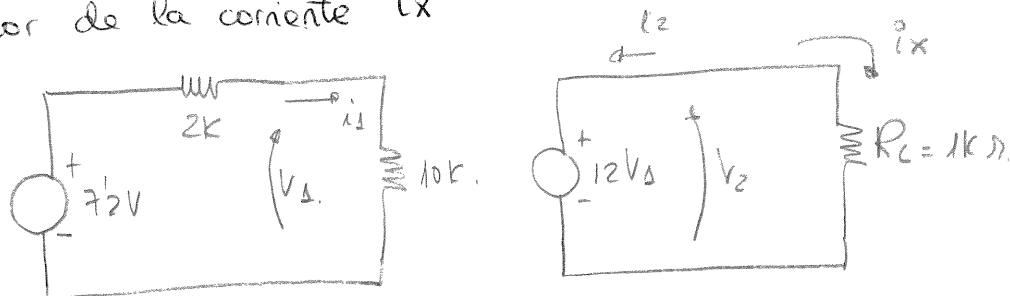
$$V_o = \frac{-12'2 \cdot 10^{-3}}{900} \cdot 800 = \boxed{-10'84 \text{ mV} = V_o}$$

1.18 (MAUK)

a) Circuito equivalente del dispositivo.



b) Valor de la corriente i_x

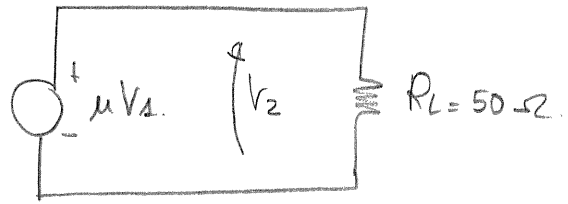
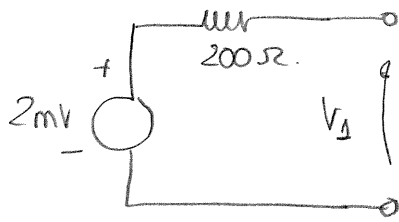


$$V_d = \frac{72 \cdot 10}{12} = 6 \text{ V}$$

$$V_2 = 12 V_d = 72 \text{ V}$$

$$i_x = \frac{V_2}{R_L} = \frac{72 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = \boxed{72 \text{ mA} = i_x}$$

1.20 (NAUK)

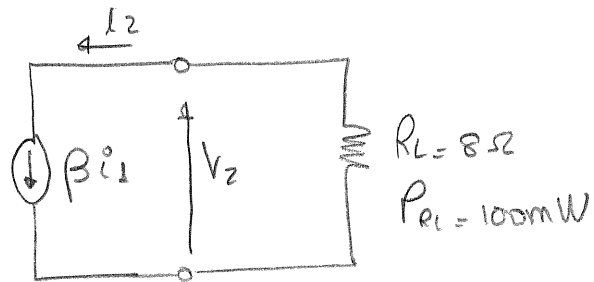
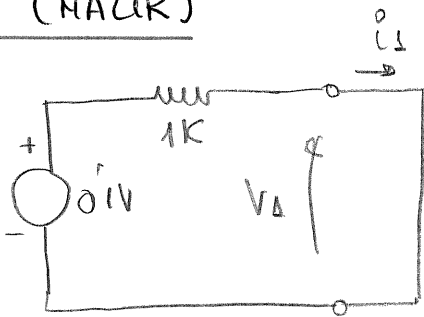


Se necesita $P_{RL} = \frac{1}{2} W$

$$P_{RL} = \frac{V_2^2}{R_L} = \frac{V_2^2}{50} = 0.5 W \Rightarrow V_2 = 5 V_{rms}$$

$$V_2 = \mu V_1 \Rightarrow 5 = \mu \cdot 2 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \boxed{\mu = 2500 \frac{V}{V}}$$

1.23 (NAUK)



Se necesita $P_{RL} = R_L i_2^2 = 8 \cdot i_2^2 = 100 \cdot 10^{-3} \Rightarrow i_2 = 0.1118 A$

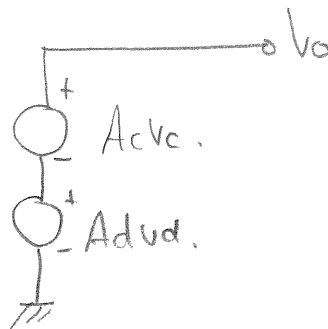
$$i_1 = \frac{0.1}{1K} = 0.1 mA$$

$$i_2 = \beta i_1 \Rightarrow 0.1118 = \beta \cdot 0.1 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \boxed{\beta \geq 1118.8 \frac{A}{A}}$$

1.34 (NAUK)

V_a —

V_b —



$A_d = 75$

$CMRR = 40 dB$

luego $40 = 20 \log \frac{75}{A_c} \Rightarrow A_c = 0.75$

→

a) Obtener V_o cuando $V_a = 2'3 \text{ mV}$ y $V_b = 1'6 \text{ mV}$.

$$V_d = V_a - V_b = 0'7 \text{ mV}$$

$$V_c = \frac{V_a + V_b}{2} = 1'95 \text{ mV}$$

$$V_o = A_d V_d + A_c V_c = 45 \cdot 0'7 \cdot 10^{-3} + 0'75 \cdot 1'95 \cdot 10^{-3} = 53'9625 \text{ mV}$$

b) Obtener V_o cuando $V_a(t) = 0'01 \sin(1000t) + 0'015 \sin(2000t)$
 $V_b(t) = -0'012 \sin(1000t) + 0'0151 \sin(2000t)$

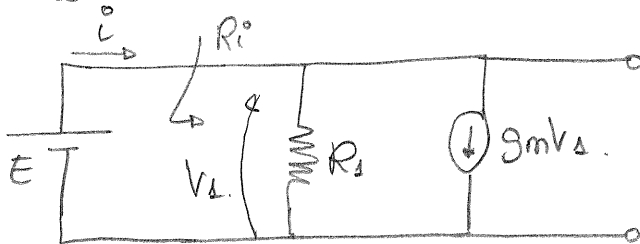
$$V_d(t) = V_a(t) - V_b(t) = 0'022 \sin(1000t) - 0'0001 \sin(2000t)$$

$$V_c(t) = \frac{V_a(t) + V_b(t)}{2} = -10^{-3} \sin(1000t) + 0'01505 \sin(2000t)$$

$$V_o = A_d V_d(t) + A_c V_c(t) = 1'649 \sin(1000t) + 3'78 \cdot 10^{-3} \sin(2000t)$$

1.46 (NAUK)

Cálculo de R_i :



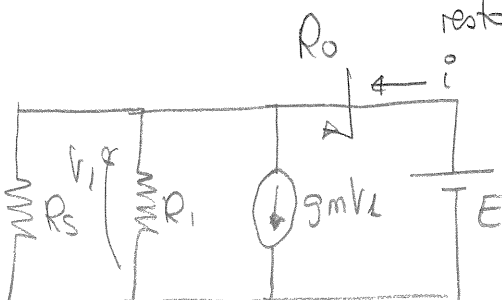
Se coloca un generador en el punto en el que se considera la $R_i = \frac{E}{I}$. El resto de gen. independiente se anulan.

$$R_i = \frac{E}{I}$$

$$I = \frac{V_1}{R_1} + g_m V_1 = E \left(\frac{1}{R_1} + g_m \right) \left\{ R_i = \frac{E}{E \left(g_m + \frac{1}{R_1} \right)} \right.$$

Luego
$$R_i = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + g_m}$$

Cálculo de R_o : (ponemos el gen. a la salida, y anulamos el resto excepto dependiente)



$$R_o = \frac{E}{I}$$

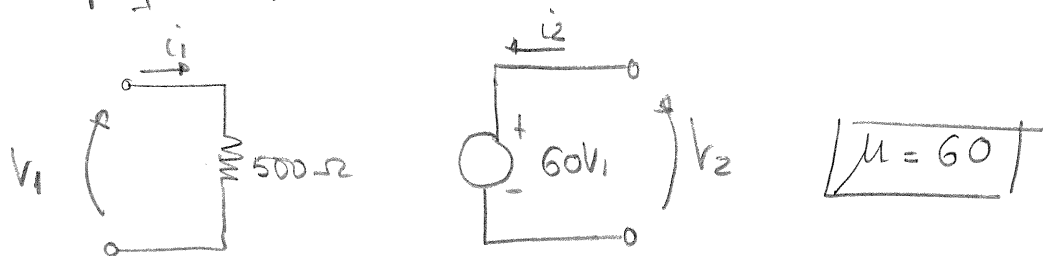
$$I = g_m V_1 + \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_1}{R_s} = E \left(g_m + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_s} \right)$$

Luego
$$R_o = \left(\frac{1}{g_m + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_s}} \right)$$

1.50 (NAUK)

a) Ganancia del amplif. en pequeña señal.

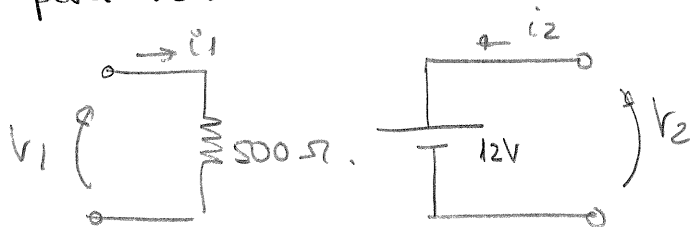
Para v_i pequeña:



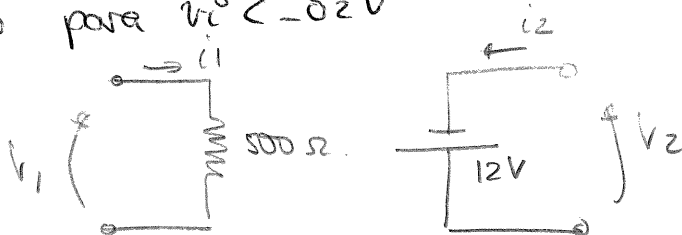
b) Modelo para $-0.2 < v_i < 0.2$

El mostrado en el apartado anterior.

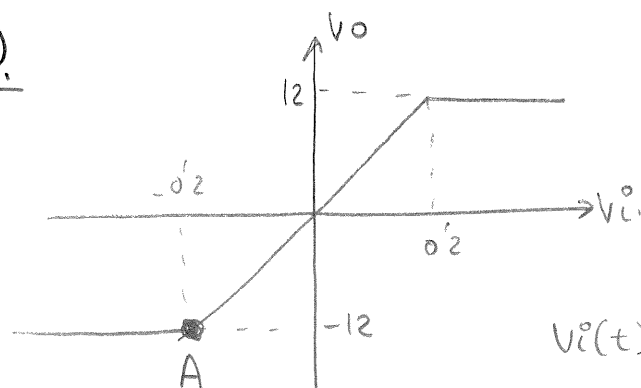
c) Modelo para $v_i > 0.2V$



d) Modelo para $v_i < -0.2V$



1.51. (NAUK)



$$v_i(t) = -0.15 + A \sin \omega t$$

↓
información útil

a) Valor máximo de A para no distorsión

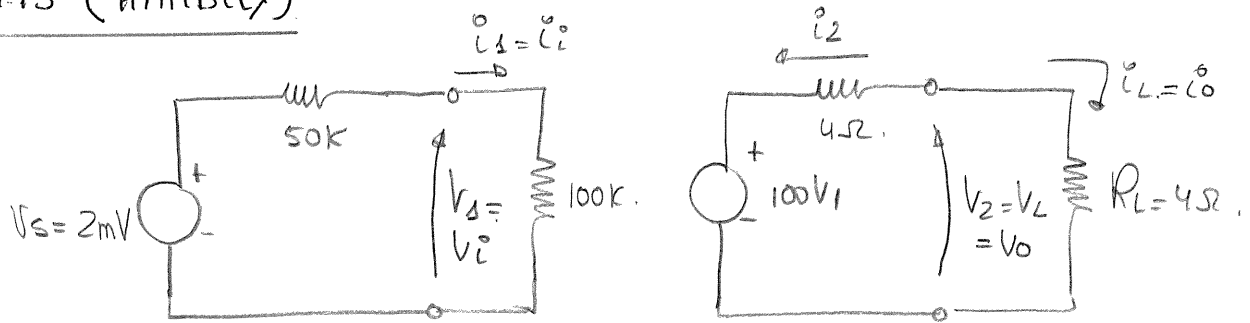
Por el desplazamiento, limita el punto (A)

$$v_i \geq -0.2 \rightarrow -0.15 - A \geq -0.2 \rightarrow \underline{\underline{A \leq 0.05}}$$

b) Lo mismo, sin desplazamiento

$$v_i(t) = A \sin \omega t \rightarrow \underline{\underline{A \leq 0.2}} \quad \text{MÁXIMA EXCURSIÓN DE } v_i(t)$$

1.15 (HAMBLY)



Calcular $A_{vs} = \frac{v_o}{v_s}$, $A_v = \frac{v_o}{v_i}$, $A_p = \frac{P_o}{P_i}$ y $A_i = \frac{i_o}{i_i}$

Primero calculamos las corrientes y tensiones de interés (2 mallas)

$$i_1 = i_i = \frac{V_s}{50k + 100k} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{150 \cdot 10^3} = 13'3 \text{ nA}_{rms} \rightarrow v_1 = v_i = 1'3 \text{ mV}_{rms}$$

$$i_o = i_L = -i_2 = \frac{100v_1}{8\Omega} = 0'016 \text{ A}_{rms} \rightarrow v_2 = v_L = v_o = 0'06 \text{ V}_{rms}$$

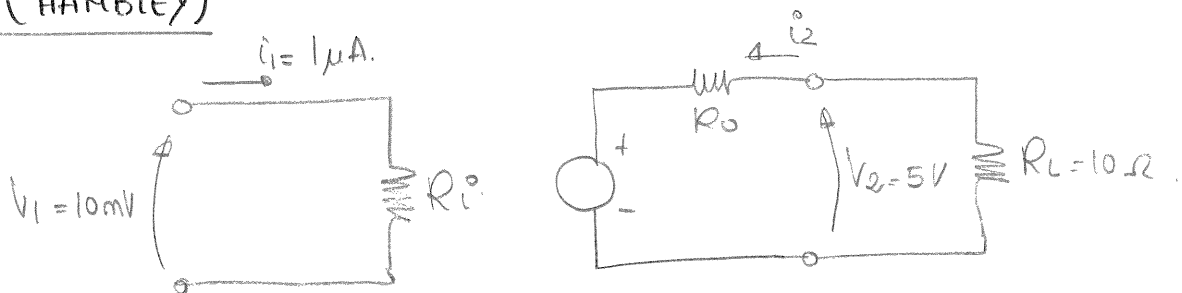
Por lo tanto: $A_{vs} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{0'06}{2 \cdot 10^{-3}} = 33'3 \frac{V}{V}$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{0'06}{1'3 \cdot 10^{-3}} = 50 \frac{V}{V}$$

$$A_p = \frac{P_o}{P_i} = \frac{v_o \cdot i_o}{v_i \cdot i_i} = \frac{0'06 \cdot 0'016}{1'3 \cdot 10^{-3} \cdot 13'3 \cdot 10^{-9}} = 62'5 \cdot 10^6 \frac{W}{W}$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{0'016}{13'3 \cdot 10^{-9}} = 1'25 \cdot 10^6 \frac{A}{A}$$

1.31 (HAMBLY)



¿ R_i ? ¿ $A_v = \frac{v_o}{v_i}$? ¿ $A_i = \frac{i_o}{i_i}$? ¿ $A_p = \frac{P_o}{P_i}$?

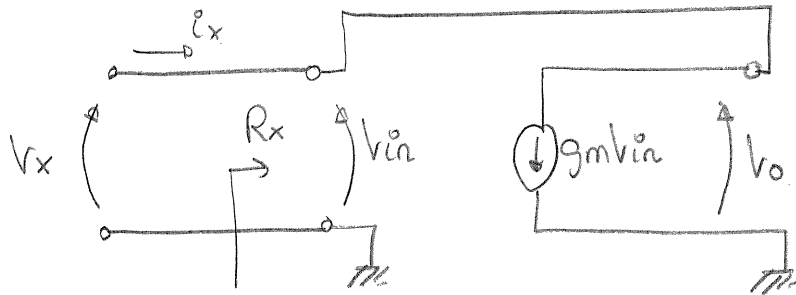
$$R_i = \frac{v_1}{i_1} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}} = 10k\Omega$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{5}{10 \cdot 10^{-3}} = 500 \frac{V}{V} = 53'97 \text{ dB}$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{-i_2}{i_1} = \frac{5/10}{10^6} = 500 \cdot 10^{-3} \frac{A}{A} = 113.97 \text{ dB}$$

$$A_p = \frac{P_o}{P_i} = \frac{v_o \cdot i_o}{v_i \cdot i_i} = \frac{5 \cdot 5/10}{10 \cdot 10^3 \cdot 10^6} = 250 \cdot 10^{-6} \frac{W}{W} = 83.97 \text{ dB}$$

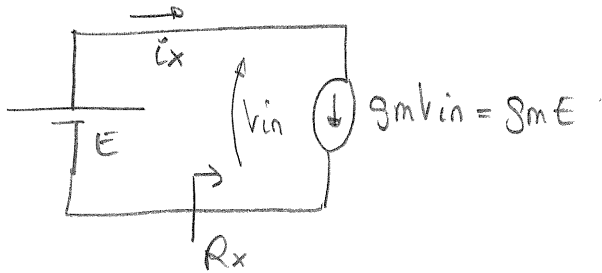
1.43 (HANBLEY)



$$g_m = 0.1 \text{ S}$$

↓
Siemens

Conectando un generador en la entrada, nos queda:



$$i_x = g_m E$$

$$R_x = \frac{E}{i_x} = \frac{E}{g_m E} = \frac{1}{g_m} = \boxed{10 \Omega = R_x}$$