



Electrónica Analógica

Ejercicios

Capítulo 5: ‘Realimentación’

Referencias:

Problemas propuestos por profesores del Departamento de Electrónica de la UAH.

Circuitos Electrónicos. Análisis simulación y diseño, de Norbert R. Malik.

Control de versiones

- 2016-11-20: versión inicial. En este capítulo se incluyen dos tipos de ejercicios: resueltos, que incluyen todos los pasos necesarios para llegar a los resultados solicitados; y con solución, que sólo incluyen los resultados finales.

Estos últimos ejercicios tienen como objetivo poner a prueba las técnicas de resolución de ejercicios del alumno; no obstante, en caso de no llegar a las soluciones proporcionadas, los alumnos pueden consultar sus dudas con los profesores en horarios de tutoría.

Algunos ejercicios han sido tomados directamente del texto base (Malik). En estos casos, se proporciona la referencia de dichos ejercicios en el texto citado.

Sección 1: Teoría básica de realimentación.

F-1.-(Malik 9.2) Un amplificador realimentado de transresistencia debe producir una tensión de salida de 12V cuando la corriente de entrada es de 100mA. El factor de mejora debe ser de 50.

- Obtenga la ganancia del amplificador no realimentado.
- ¿Qué valor de β será necesario?
- ¿Cuánto vale la señal w_i cuando el amplificador realimentado desarrolla su tensión de salida máxima?

F2.-Se dispone de un amplificador que posee una ganancia $A = 800$, y cuya sensibilidad a la temperatura es de valor $S_T^A = 0,1$. Sin embargo, la aplicación requiere que dicha sensibilidad sea solo de 0,001. Para resolver este problema se decide realimentar el amplificador disponible.

- Determine el valor de la β de realimentación necesaria para obtener la sensibilidad requerida $S_T^{A_f} = 0,001$.
- Para dicho valor de β , encuentre el valor de la ganancia A_f del amplificador realimentado.

F-3.-(Malik 9.4) Necesitamos un amplificador con ganancia de al menos 100. Las variaciones de ganancia en un determinado margen de temperatura deben ser del 1% o menos. Se dispone de un amplificador de ganancia 200 que tiene variaciones de ganancia con la temperatura del 10%.

- ¿Qué valor de β debe añadirse al amplificador dado para reducir las variaciones de ganancia a un 1%?
- ¿Tendrán dos etapas amplificadoras realimentadas en cascada, como las obtenidas en (a), suficiente ganancia para esta aplicación? *[Suponga que no hay efectos de carga entre etapas]*
- ¿Cuál será el peor porcentaje de variación con la temperatura para un amplificador de dos etapas consistente en dos amplificadores en cascada como los del apartado (a)?

F-4.-(Malik 9.5) Un amplificador tiene una ganancia de 100.000 y una sensibilidad de la ganancia a variaciones de temperatura de 0,2. Se usa realimentación negativa para ajustar la ganancia a 10.

- ¿Cuál es la sensibilidad del amplificador realimentado a las variaciones de temperatura?
- Obtenga la ganancia y sensibilidad a las variaciones de temperatura del conjunto formado por cinco amplificadores realimentados conectados en cascada.

F5.- Considérese el amplificador sin realimentar de la figura 1. En frecuencias medias se conecta un generador de señal a su entrada, con el valor que se muestra, y a su salida se obtiene el voltaje que se indica. Además, dicho amplificador presenta una respuesta en frecuencia como la que se muestra en la figura 2.

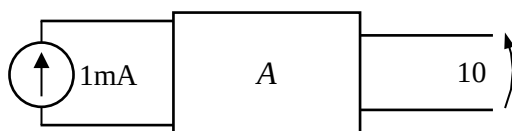


Figura 1

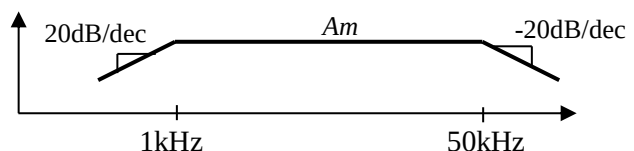
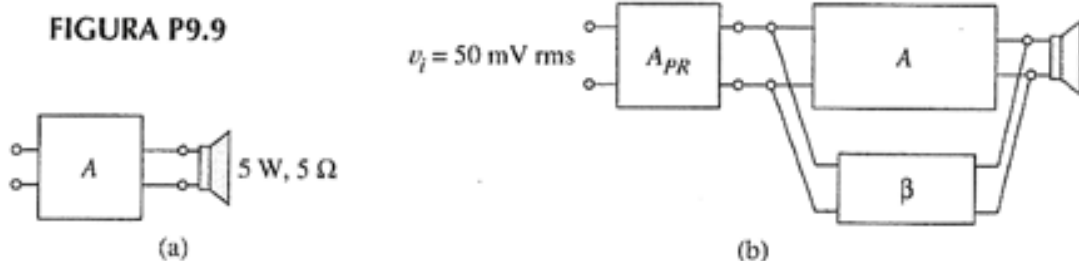


Figura 2

- Indique de qué tipo de amplificador se trata y calcule su ganancia en medias (incluyendo signo y unidades).
- Determine el valor de la realimentación β necesaria (incluyendo signo y unidades), para que su nueva frecuencia de corte superior sea de 300kHz, y obtenga el nuevo ancho de banda.

F-6.-(Malik 9.7) Un amplificador de audio con realimentación necesita una ganancia aproximada de 500 dentro del ancho de banda comprendido entre 60Hz y 25kHz. Suponga que esto se hace usando una red de realimentación con $\beta = 0,0018$. Obtenga las frecuencias de corte inferior y superior y la ganancia necesarias para el amplificador no realimentado original.

F-7.-(Malik 9.9) La figura P9.9-a muestra un amplificador no realimentado de ganancia de tensión A que entrega 5W a un altavoz de 5Ω cuando la tensión de entrada del amplificador es de 50mV rms. La distorsión no lineal en la salida del amplificador es del 1% del valor de la señal de salida.



- Obtenga el valor numérico de la ganancia A .
- Obtenga el valor de β necesario en el circuito de la figura 9.9-b, para reducir la distorsión al 0,1% con la misma amplitud en la tensión de salida.
- Obtenga el valor de la ganancia A_{PR} necesaria en el pre-amplificador.

F-8.- Un cierto amplificador realimentado posee una ganancia de transimpedancia de valor $A_z=100k\Omega$, en frecuencias medias. Su respuesta en frecuencia queda fijada por dos polos dominantes; en baja frecuencia posee uno en $f_L=100\text{Hz}$, en alta frecuencia posee otro en $f_H=10\text{kHz}$.

Determine el valor correcto de la realimentación, β , necesaria (incluyendo unidades), para que su frecuencia de corte superior sea de **200kHz**. Obtenga además el nuevo valor de la frecuencia de corte inferior, f_{CL} .

F-9.- Un cierto amplificador tiene una ganancia en lazo abierto que viene dada por la expresión:

$$A(s) = \frac{250s}{(1 + 0'1s)(1 + 0'001s)}$$

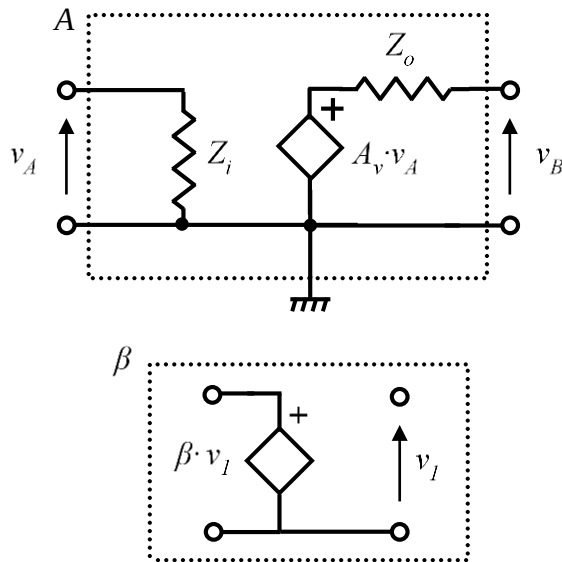
Se realimenta este amplificador con una $\beta=0'8$. Obtenga, **razonadamente**, la expresión de la ganancia del amplificador realimentado $A_f(s)$.

F-10.-(Malik 9.12) Determine el tipo de realimentación y la cantidad β que habría que añadir a un amplificador con ganancia de tensión de 920, $R_i = 11k\Omega$, $R_o = 3k\Omega$, de forma que $R_{if} \geq 400k\Omega$ y $R_{of} \leq 10k\Omega$. ¿Cuál será la ganancia del nuevo amplificador?

F-11.-(Malik 9.15) Las medidas de las siguientes características de un amplificador realimentado son $A = 5.000$, $f_H = 8\text{kHz}$, $f_L = 200\text{Hz}$, $R_i = 50k\Omega$, $R_o = 1k\Omega$, variación de ganancia del 5%, distorsión de salida = 2mV. Como las especificaciones de diseño son que la variación de ganancia sea del 0,1%, se añade la realimentación ideal de tensión en serie suficiente para corregir la variación de ganancia original.

- ¿Qué valor de β se ha usado?
- Obtenga los nuevos valores de los parámetros iniciales para el caso del amplificador realimentado.

F-12.- En las siguientes figuras, A representa un amplificador de tensión y β es una red de realimentación ideal.



- Conecte adecuadamente A con β para obtener un amplificador de voltaje realimentado, A_f . No olvide incluir la carga y generador ideales correspondientes a este caso.
- Demuestre** la expresión que permite calcular la impedancia de salida del amplificador realimentado, Z_{if} .
- Supuesto $A\beta \gg 1$ ¿Qué valor de β sería necesario para obtener una ganancia en lazo cerrado de valor $A_f = +20$ (V/V)?

F-13.- Un cierto amplificador realimentado tiene su entrada conectada en paralelo con la red β . Algunas características del mismo son: $R_{if} = 110\Omega$, $R_{of} = 26k\Omega$, $A_f = 20$ y $\omega_{Lf} = 10\text{rad/s}$; siendo otras características del amplificador A las siguientes: $R_o = 2k\Omega$, $\omega_H = 10^4 \text{ rad/s}$.

- Indique, razonadamente, el tipo de amplificador realimentado construido y realice un esquema de bloques del mismo. Obtenga además el valor del factor de mejora $F = (1 + A\beta)$.
- Obtenga los valores de las ganancias A y β , incluyendo sus unidades.
- Obtenga los valores de R_i , ω_{Hf} , y ω_L .
- El cambio de una resistencia en el amplificador de $10k\Omega$ a $11k\Omega$, provoca un cambio en A_f de 20 a 21. Mediante el concepto de sensibilidad y los efectos de la realimentación, obtenga el nuevo valor de A .

F-14.- Se dispone de un amplificador de tensión de características $R_i = 15k\Omega$, $R_o = 600\Omega$, y ganancia en circuito abierto $A_{v0} = -2.500$ (V/V). Con este amplificador, se quiere construir un amplificador de corriente de ganancia $A_{if} = -10$ (A/A), usando la realimentación oportuna. Considere que generador, carga y red β son de características **ideales**.

- Identifique la topología y realice un esquema completo del circuito necesario, indicando claramente el **valor de β** correspondiente. Necesitará este valor de β como dato para el resto de los apartados.
- Obtenga el modelo completo del amplificador de corriente conseguido: impedancias terminales y ganancia de corriente en corto-circuito.
- Si la ganancia A_{v0} del amplificador original puede sufrir variaciones de un $\pm 30\%$, justifique, basándose en las propiedades de la realimentación, las variaciones esperables en la ganancia del amplificador realimentado.
- En el mismo caso del apartado 'c' (variaciones de un $\pm 30\%$ en A_{v0}) obtenga los valores máximos y mínimos de las impedancias de entrada y salida del amplificador realimentado.

F-15.- Cierta amplificador tiene una $R_i = 1k\Omega$, y su ganancia viene dada por: $A(s) = 2 \cdot 10^4 \frac{800}{s + 800}$

Se usa una realimentación con $\beta = 0.05$ para rebajar la impedancia de entrada. Obtenga el valor complejo de la impedancia de entrada realimentada, $Z_{if}(s)$, y represéntelo en un diagrama de Bode.

Sección 2: Realimentación práctica, con efectos de carga.

F-16.-(Malik 9.21) La figura P9.21 muestra el modelo de un amplificador realimentado práctico.

- Use la teoría de realimentación ideal para obtener la ganancia, resistencia de entrada y resistencia de salida en dicho caso.
- Volviendo al caso original, determine la resistencia vista por el generador real de la entrada (I_s y R_s de $60\text{k}\Omega$).
- Obtenga la impedancia de salida real vista por la carga R_L de $1\text{k}\Omega$.

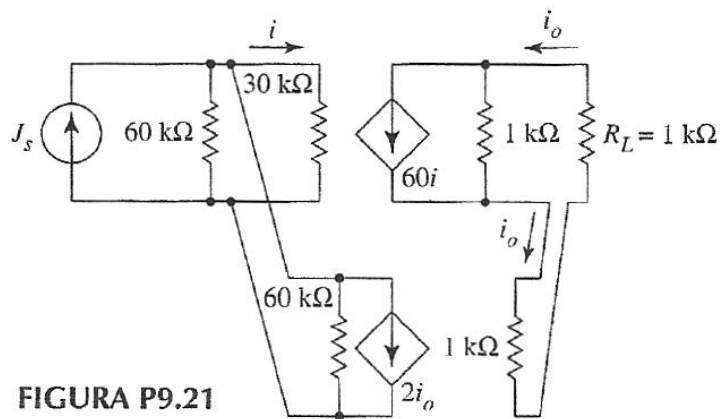


FIGURA P9.21

F-17.-(Malik 9.23) La figura P9.23 muestra el circuito equivalente de cierto amplificador realimentado real. Determine:

- Los parámetros A , R_i y R_o del amplificador idealizado ¿Cuáles serían las impedancias de generador y carga correspondientes?. No olvide especificar correctamente todas las unidades.
- La resistencia de entrada del amplificador vista por la fuente de señal real.

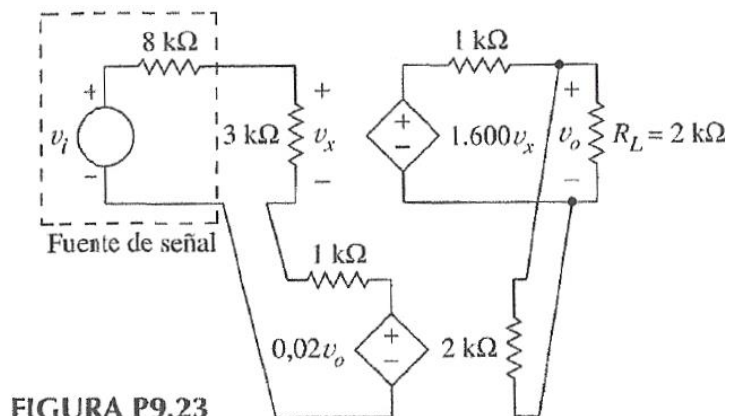
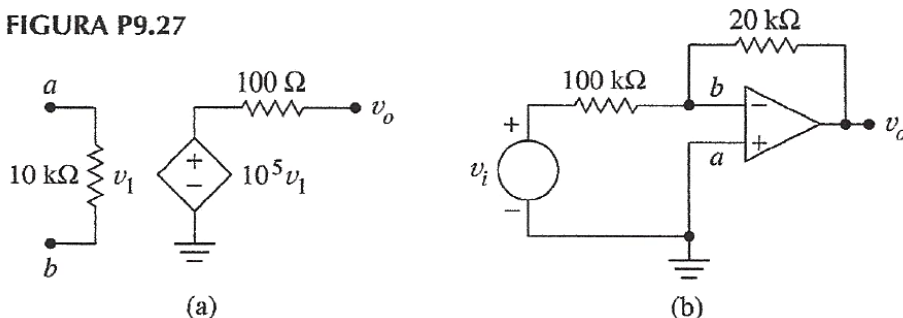


FIGURA P9.23

F-18.-(Malik 9.27) La figura P9.27-a es el modelo de un cierto amplificador operacional real. La figura P9.27-b muestra dicho operacional con una realimentación de tensión en paralelo para convertirlo en un circuito amplificador *inversor*. Nótese que, en este caso, la resistencia de $100\text{k}\Omega$ hay que considerarla como si perteneciese al generador de tensión situado en la entrada del *inversor*.

FIGURA P9.27

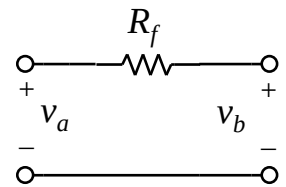


- Dibuje cuidadosamente el circuito equivalente usando la teoría de realimentación, identificando correctamente sus elementos: generador, carga y red β ideales, junto al amplificador A resultante.
- A partir del circuito anterior determine los valores de A , R_i y R_o .
- Usando la teoría de realimentación, determine A_f , R_{if} y R_{of} .

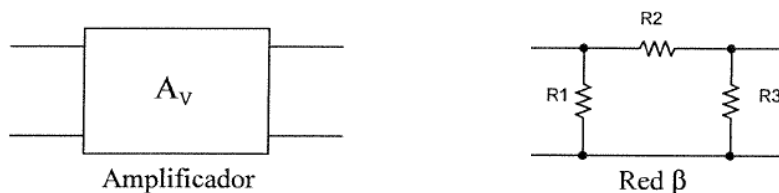
- d) A partir de los valores hallados en el apartado (c), obtenga los valores prácticos de la ganancia de tensión $G_V = (v_o/v_i)$ y la resistencia de entrada vista por el generador v_i del *inversor* de la figura P9.27-b.
- e) Compare las respuestas obtenidas en (d) con las resultantes del análisis convencional del *inversor* con AO ideales.

F-19.- Se dispone de un amplificador de tensión cuyos parámetros, en frecuencias medias, son: $A_V = -40.000(\text{V/V})$; $Z_e = 4\text{k}\Omega$; y $Z_s = 200\Omega$. Se pretende realimentar dicho amplificador para mejorar sus características en **transimpedancia**. En estas condiciones:

- a) Indique qué tipo de realimentación sería necesaria e ilustre, mediante un esquema de bloques, la conexión entre las redes A, β y el generador y carga ideales correspondientes a este caso.
- b) Supuesta una red β ideal, determine su valor, en signo y módulo, si se deseara obtener una $|A_{zf}| \approx 1\text{k}\Omega$.
- c) Finalmente, se decide utilizar la red β que se muestra en la figura adjunta en donde $R_f = 2\text{k}\Omega$. Incluyendo los efectos de carga, determine los valores prácticos de: A_{zf} , R_{ef} y R_{sf} .



F-20.- El amplificador de tensión, A_V , representado en la figura siguiente, posee una resistencia de entrada $R_i = 40\text{k}\Omega$, de salida $R_o = 2\text{k}\Omega$ y una ganancia en frecuencias medias de módulo $|A_V| = 100 (\text{V/V})$. Se desea obtener con él un amplificador de transimpedancia, para lo cual se usa la red β de tres resistores en π , que se muestra en la misma figura.



- a) Obtenga la topología de realimentación necesaria y dibuje el circuito equivalente resultante. Determine, así mismo, el signo que debe tener A_V para que la realimentación sea negativa.
- b) Determine el valor de β necesario para obtener, una vez realimentado el amplificador original, una ganancia de transimpedancia de $|A_{Zf}| = 10\text{k}\Omega$.
- c) Supuestos $R_1 = R_2 = R_3 = 10\text{k}\Omega$, obtenga los valores de las impedancias de salida y entrada del amplificador realimentado, esto es: R_{if} y R_{of} .
- d).-Estudie detenidamente la red β de la figura C-1 y el tipo de realimentación objeto de este ejercicio. ¿Qué elemento o elementos de β podrían omitirse sin modificar el factor de mejora marcado como objetivo de diseño?

Capítulo 5: **Realimentación**

Soluciones a los ejercicios propuestos

Sección 1: Teoría básica de realimentación.

F-1.- Soluciones: a) $A=6.000$ (V/A); b) $\beta = 0,00817$ (A/V); c) $w_i = 2$ mA

F-2.-

1) Según sabemos por la teoría básica de Realimentación, la Sensibilidad mejora en un factor 'F', por tanto: $S_T^{A_f} = \frac{1}{F} \cdot S_T^A \Rightarrow F = \frac{S_T^A}{S_T^{A_f}} = \frac{0,1}{0,001} = 100$
 Y como $F = 1 + A\beta \Rightarrow \beta = \frac{F-1}{A} = \frac{100-1}{800} = 0,124$

b) $A_f = \frac{A}{F} \rightarrow A_f = \frac{800}{100} = 8$

F-3.- Soluciones: a) $\beta = 0,045$; b) Si. Podemos obtener una ganancia de 400; c) Es del 2%.

F-4.- Soluciones: a) $S_T^{A_f} = 0,002\%$; b) $G = (10)^5 \rightarrow S_T^G = 5 \cdot (0,002\%) = 0,01\%$

F-5.-

a).-

Excitamos con corriente y obtenemos voltaje a la salida $\Rightarrow$
AMPLIFICADOR DE TRANSIMPEDANCIA

$$A_m = \frac{V_s}{I_e} = \frac{10V}{1mA} = 10^4 (V/A) = 10 K\Omega$$

b).-

$$f_H = 50 KHz \quad f_{Hf} = F \cdot f_H \rightarrow F = \frac{f_{Hf}}{f_H} = \frac{300 KHz}{50 KHz} = 6$$

$$f_{Hf} = 300 KHz \quad F = 1 + A_m \cdot \beta; \quad 6 = 1 + 10^4 \cdot \beta \rightarrow \beta = \frac{5}{10^4} = 5 \cdot 10^{-4} \Omega^{-1}$$

ya que $A_m \beta$ debe ser adimensional.

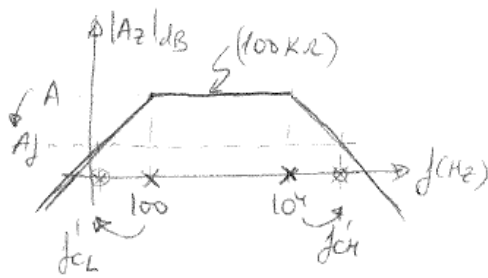
$$f_{Lf} = \frac{f_L}{F} = \frac{1 KHz}{6} \approx 167 Hz$$

$$BW_f = f_{Hf} - f_{Lf} = 300 KHz - 167 Hz = 299'833 KHz \approx 300 KHz$$

F-6.- Solución: $A = 5.000$, $f_L = 600Hz$ y $f_H = 2,5kHz$

F-7.- Solución: a) $A = 100$ (V/V); b) $\beta = 0,09$ (V/V); c) $A_{PR} = 10$ (V/V)

F-8.-



* De los datos, se deduce que la respuesta en frecuencia del amplificador es como la representada en la figura adjunta.

* Al realimentar: $f_{cH}' = f_{cH} \cdot F = 10^4 \cdot F = 200 \text{ kHz}$
 con $F = 1 + A\beta$ $f_{cL}' = f_{cL} / F$ $F = 20$

Como $F = 1 + A\beta \Rightarrow \beta = \frac{19}{A} = \frac{19}{100 \text{ kHz}} = 0.19 \text{ mV}$

y la nueva frecuencia de corte inferior será: $f_{cL}' = \frac{f_{cL}}{F} = \frac{100 \text{ Hz}}{20} = 5 \text{ Hz}$

F-9.-

De la expresión de $A(s)$ se obtiene que $\left\{ \begin{array}{l} \text{Cero en } s \\ \text{polos en } \omega_L = 10 \\ \omega_H = 10^3 \end{array} \right.$

$A_{mH} \Rightarrow A(s) \Big|_{\omega_L < s < \omega_H} = \frac{250s}{(1 + \frac{s}{\omega_L})(1 + \frac{s}{\omega_H})} \approx \frac{250s}{\frac{s}{\omega_L} \cdot 1} = 250 \cdot 10$

De donde: $F = 1 + A_m\beta = 1 + 2.5 \cdot 10^3 \cdot 0.8 = 2000 \Rightarrow A_m\beta \gg 1 \Rightarrow A_{jm} \approx \frac{1}{\beta} = \frac{1}{0.8} = 1.25$

$\omega_L' = \frac{\omega_L}{F} = \frac{10}{2 \cdot 10^3} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{rad}}{\text{s}} ; \omega_H' = \omega_H \cdot F = 10^3 \cdot 2 \cdot 10^3 = 2 \cdot 10^6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

Se deduce entonces que: $A_j(s) = \frac{A_m \cdot s}{(s + \omega_L')(1 + \frac{s}{\omega_H'})} = \frac{1.25s}{(s + 5 \cdot 10^{-3})(1 + 5 \cdot 10^{-7}s)}$

F10.- Solución:

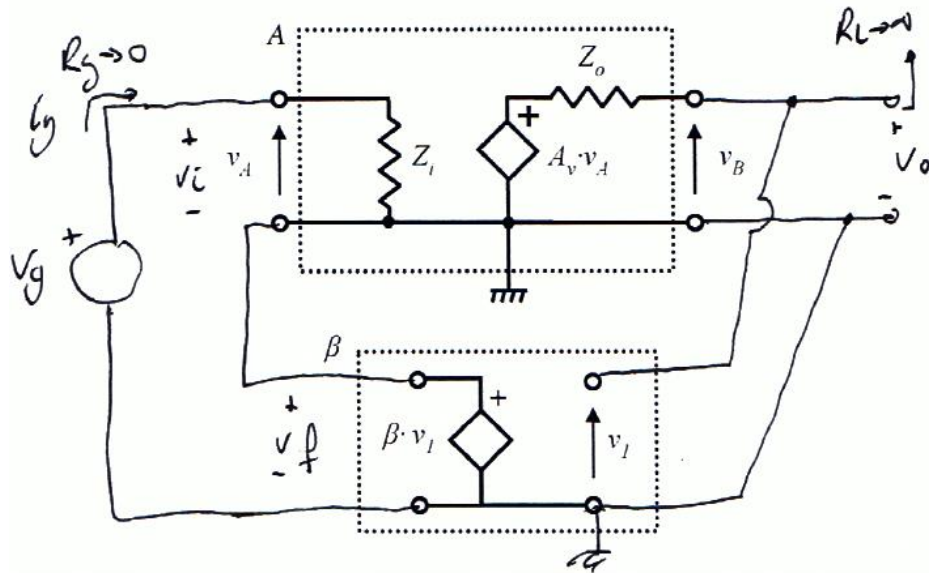
Necesita una realimentación de tensión por muestreo de tensión [otros nombres: de tensión en serie (Malik); Serie-Paralelo (topología); tensión-tensión (nombre corto)]. Se necesita una $\beta \geq 0,325 \text{ (V/V)}$. La ganancia realimentada sería $A_f \leq 3,07 \text{ (V/V)}$

F11.- Solución:

a) $\beta = 0,0098 \text{ (V/V)}$

b) $A_f = 100 \text{ (V/V)}$; $R_{if} = 2,5 \text{ M}\Omega$; $R_{of} = 20 \Omega$; $f_{Hf} = 400 \text{ kHz}$; $f_{Lf} = 4 \text{ Hz}$; Distorsión total = 0.04 mV

F12.- a)



$$b) \boxed{Z_i' = \frac{V_g}{i_g}}$$

$$(1) v_i = Z_i \cdot i_g$$

$$(2) V_g = v_i + v_f$$

$$(3) v_o = A_v \cdot v_A = A_v \cdot v_i$$

$$(4) v_f = \beta \cdot v_o = \beta \cdot A_v \cdot v_i$$

sustituyendo (4) en (2):

$$V_g = v_i + \beta \cdot A_v \cdot v_i = v_i (1 + \beta \cdot A_v) \quad \left\{ \begin{array}{l} V_g = Z_i' \cdot i_g (1 + \beta \cdot A_v) \\ \text{De (1)} \quad v_i = Z_i \cdot i_g \end{array} \right.$$

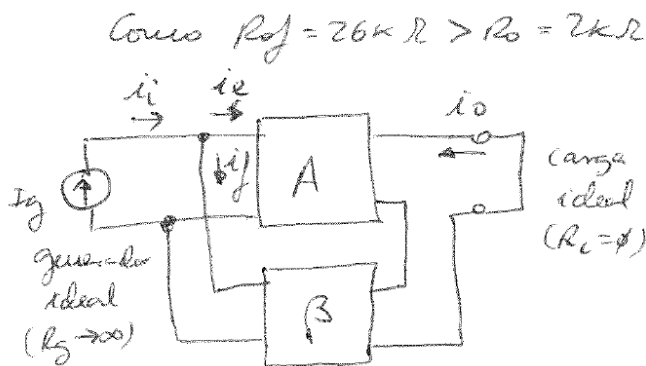
$$\text{De (1)} \quad v_i = Z_i \cdot i_g$$

$$\text{Por tanto: } \frac{V_g}{i_g} = Z_i' (1 + \beta \cdot A_v) = Z_i'$$

$$\hookrightarrow \boxed{Z_i' = Z_i (1 + \beta \cdot A_v)}$$

$$c) A_f = \frac{A_v}{1 + A_v \cdot \beta} ; A_v \beta \gg 1 \Rightarrow A_f \approx \frac{1}{\beta} \Rightarrow \boxed{\beta = \frac{1}{A_f} = \frac{1}{20} = 0.05 \left[\frac{V}{V} \right]}$$

F-13.-a)



Como $R_{of} = 26 \text{ k}\Omega > R_o = 2 \text{ k}\Omega \Rightarrow$ la conexión de salida debe ser en serie (ide corriente!)

Es una realimentación de corriente proporcional a la corriente de salida.

Para hallar F se sabe que:

$$R_{of} = F \cdot R_o$$

$$\hookrightarrow F = \frac{R_{of}}{R_o} = \frac{26 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega} = 13$$

b)

Se sabe que $A_f = \frac{A}{F} \rightarrow A = A_f \cdot F = 20 \cdot 13 = 260 \left(\frac{A}{A} \right)$ pues es A_f de corriente.

Respecto a β : $F = 1 + A\beta = 13 \Rightarrow \beta = \frac{F-1}{A} = \frac{12}{260} = 0.046 \left(\frac{A}{A} \right)$

signos positivos

c)

Del tipo de conexión y suponiendo (por defecto) polos dominantes en las pulsaciones de corte, podemos conocer los datos pedidos:

$$R_{if} = R_i / F \Rightarrow R_i = R_{if} \cdot F = 110 \Omega \cdot 13 = 1430 \Omega$$

$$\omega_{Hf} = \omega_H \cdot F = 10^4 \cdot 13 = 130 \text{ Krad/s}$$

$$\omega_{Lf} = \omega_L / F \Rightarrow \omega_L = \omega_{Lf} \cdot F = 10 \text{ rad/s} \cdot 13 = 130 \text{ rad/s}$$

d)

Se tiene que $S_{\text{Parámetro}}^F = \frac{P}{F} \cdot \frac{dF}{dP}$. Por tanto $S_{\frac{A_f}{R}}^A = \frac{R}{A} \cdot \frac{dA}{dR}$

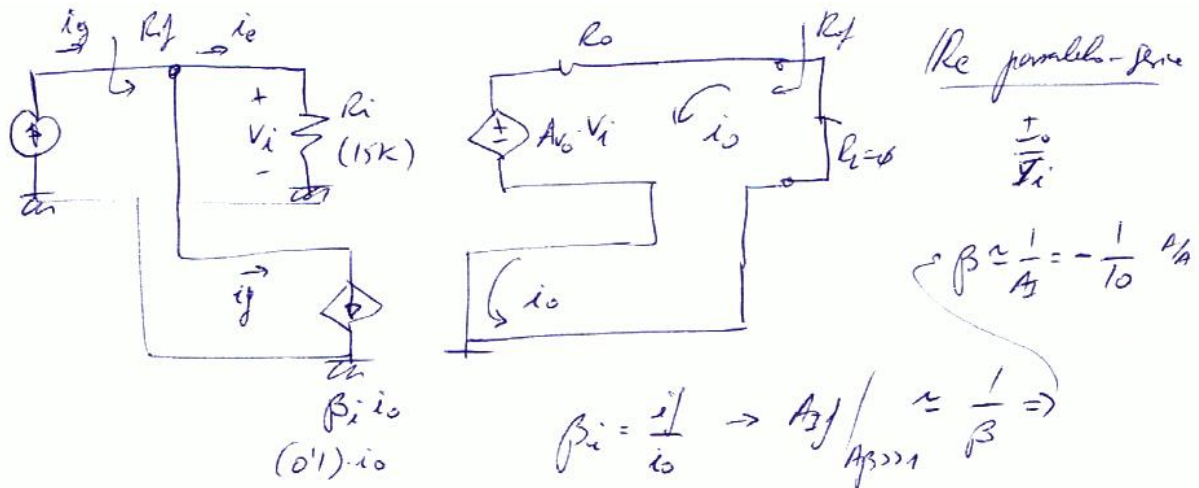
Por la realimentación: $S_{\frac{A_f}{R}}^A = S_{\frac{A}{R}}^A \cdot \frac{1}{F} \Rightarrow S_{\frac{A}{R}}^A = S_{\frac{A_f}{R}}^A \cdot F$

$$S_{\frac{A_f}{R}}^A = \frac{R}{A_f} \cdot \frac{dA_f}{dR} \approx \frac{R}{A_f} \cdot \frac{\Delta A_f}{\Delta R} = \frac{10 \text{ K}\Omega}{20} \cdot \frac{(21-20)}{(11 \text{ K}\Omega - 10 \text{ K}\Omega)} = \frac{1}{2} = 0.5$$

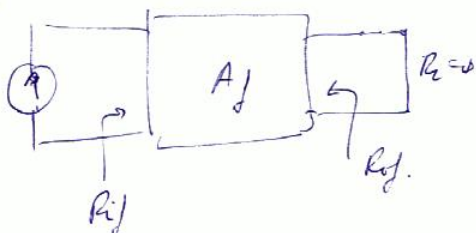
$$S_{\frac{A}{R}}^A = S_{\frac{A_f}{R}}^A \cdot F = 0.5 \cdot 13 = 6.5 \approx \frac{R}{A} \cdot \frac{\Delta A}{\Delta R} \Rightarrow \Delta A = \frac{\Delta R}{R} \cdot A \cdot 6.5 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta A = \frac{1 \text{ K}\Omega}{10 \text{ K}\Omega} \cdot 260 \cdot 6.5 = 169 \Rightarrow \boxed{A' = A + \Delta A = 260 + 169 = 429 (A/A)}$$

F-14.-a)



b)



$$\beta_2 = 0.1 (A/A)$$

$$A_2 = \frac{i_o}{i_f} = \frac{A_o \cdot V_i \cdot R_i}{R_o \cdot V_i} = A_o \cdot \frac{R_i}{R_o}$$

$$A_2 = -2500 \cdot \frac{15 \cdot 10^3}{600} = -62500 (A/A)$$

$$F = A_2 H = A_2 \beta = (-62500)(-0.1) = 6250$$

$$A_{if} = \frac{-62500}{6251} = -9'9984 \approx -10 \text{ (A/A)} \quad \left| \quad R_{if} = R_o \cdot F = 3'75 \text{ k}\Omega \right.$$

$$R_{if} = R_i / F = 15 \text{ k} / 6250 \approx 2'4 \text{ k}\Omega$$

c) Como: $A_i \propto A_v \rightarrow$ un var. del 30% en $A_v \rightarrow$ 30% en A_i

por tanto: $\Delta A_{if} = \frac{\Delta A}{F} = \frac{0'3}{F} = 4'8 \cdot 10^{-5} \rightarrow (0'0048 \%)$

	$A_{i\omega}$	F	A_{if}
+30%	-81250	8126	-9'9988
-30%	-43750	4376	-9'9977

F-15.-

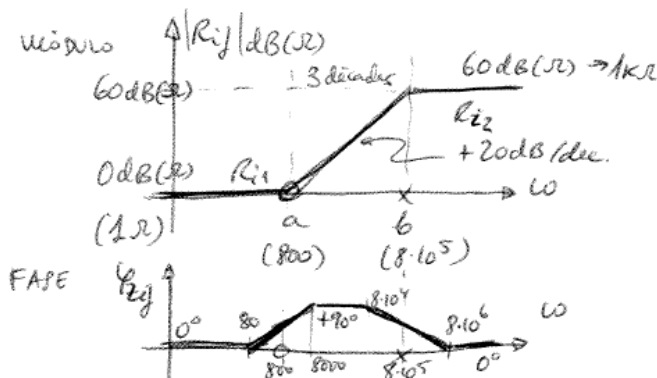
$$R_i = 1 \text{ k}\Omega \rightarrow R_{if} = \frac{1}{(1+A\beta)} \cdot R_i \text{ pues disminuye la } R_i$$

$$F = 1 + A\beta, \text{ pero como } A(s) \rightarrow F(s) = 1 + A(s) \cdot \beta = 1 + 2 \cdot 10^4 \frac{800}{s+800} \cdot 0'05$$

$$\text{operando: } F(s) = 1 + 1000 \frac{800}{s+800} = 1 + \frac{1000 \cdot a}{s+a} = \frac{(s+a) + 1000a}{s+a} = \frac{s+b}{s+a} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{llamando } a=800 \\ \text{con } b=1001a \end{array} \right.$$

$$\text{Simplificando } \rightarrow F(s) \approx \frac{s+1000a}{s+a} = \frac{s+8 \cdot 10^5}{s+8 \cdot 10^2} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{cero en } b \approx 8 \cdot 10^5 \\ \text{polo en } a \approx 8 \cdot 10^2 \end{array} \right.$$

$$\text{Pasando a } R_{if}(s) = R_i \frac{s+a}{s+b} \rightarrow \text{polo en } b \approx 8 \cdot 10^5 \text{ y cero en } a \approx 8 \cdot 10^2$$



$$R_{i1} = R_{if}(s) \Big|_{s < a} \approx R_i \frac{a}{b} = \frac{R_i}{1000} = 1 \Omega$$

$$\text{en dB}(\Omega) \rightarrow 20 \log \frac{1 \Omega}{1 \Omega} = 0 \text{ dB}$$

$$R_{i2} = R_{if}(s) \Big|_{s > b} \approx R_i \frac{s}{s} = R_i = 1 \text{ k}\Omega$$

$$\text{en dB}(\Omega) \rightarrow 20 \log \frac{1 \text{ k}\Omega}{1 \Omega} = 60 \text{ dB}$$

Sección 2: Realimentación práctica, con efectos de carga.

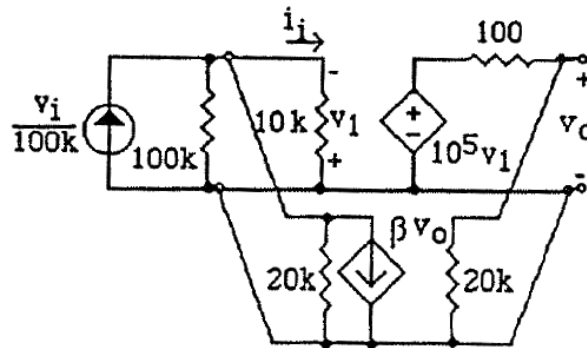
F-16.- Solución: a) $A_f = 0,48$ (A/A), $R_{if} = 714 \Omega$, $R_{of} = 63 \text{ k}\Omega$; b) $R_{Input} = 722,6 \Omega$; b) $R_{Output} = 62 \text{ k}\Omega$

F-17.- Solución:

a) $A = 200$ (V/V), $R_i = 12 \text{ k}\Omega$, $R_o = 500 \Omega$; $R_{g_ideal} = 0 \Omega$; $R_{L_ideal} \rightarrow \infty$

b) $R_{Input} = 52 \text{ k}\Omega$

F-18.- Solución: a)



b) $A_Z = -6,22 \cdot 10^8$ (V/A); $R_i = 6,25 \text{ k}\Omega$, $R_o = 99,5 \Omega$

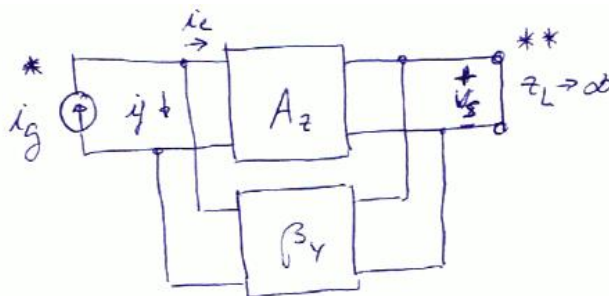
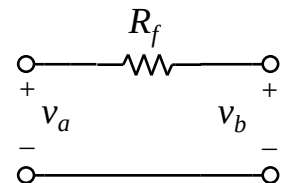
c) $A_{Zf} = -2 \cdot 10^4$ (V/A); $R_{if} = 0,201 \Omega$, $R_{of} = 0,0032 \Omega$

d) $v_o = -2 \cdot 10^4 \cdot I_g = -2 \cdot 10^4 \cdot (v_i/100\text{k}) \rightarrow G_V = -2$ (V/V); $R_{Input} = 100 \text{ k}\Omega$

e) Coinciden casi exactamente con los valores obtenidos supuesto un AO ideal

F-19.-

a) Se pide un $A_Z \rightarrow \{v_s/i_e\} \Rightarrow \{z_e \parallel y \text{ y } z_s \parallel \}$
no interesa una realimentación Paralelo-Paralelo



* = generador, ideal de corriente con $R_g \rightarrow \infty$
** = carga ideal $R_L \rightarrow \infty$, circuito abierto.
 $A_Z = v_s/i_e$, $\beta_y = i_d/v_s$

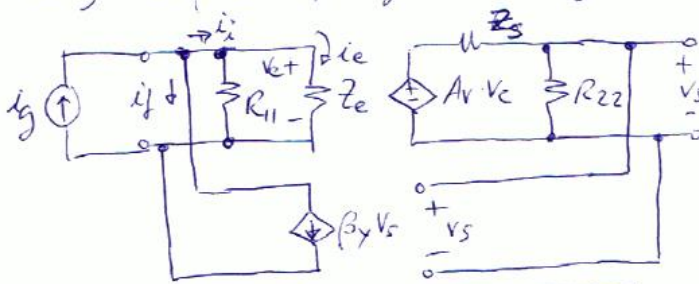
b) β ideal $\rightarrow$ sin efecto de carga en (A) $\Rightarrow \beta_y$. Si $A\beta \gg 1 \Rightarrow A_Z \approx \frac{1}{\beta_y}$



$$A_Z = \frac{v_s}{i_e} = \frac{A_v \cdot v_e}{v_e/z_e} = A_v \cdot z_e = -40.000 \cdot z_e \ll \phi$$

$$\text{Como } A\beta \gg 1 \Rightarrow \left[\beta_y \approx \frac{1}{A_Z} \right] = -\frac{1}{1\text{k}\Omega} = -10^{-3} \text{ S}^{-1}$$

c) El amplificador realimentado, incluyendo ya los efectos de carga de β en A , responde al siguiente cto. equivalente:



Con: [ver equiv. con pars. [Y]]

$$R_{11} = R_{ip} \Big|_{v_s(\text{common})} = R_f, \left(= \frac{1}{Y_{11}} \right)$$

$$R_{22} = R_{op} \Big|_{v_s(\text{common})} = R_f, \left(= \frac{1}{Y_{22}} \right)$$

$$\left[\beta_Y (= Y_{12}) = \frac{i_f}{v_s} \Big|_{v_e=0} = -\frac{1}{R_f} = -\frac{1}{2 \cdot 10^3} \Omega^{-1} \right], \text{ con } R_{11} = R_{22} = 2 \text{ k}\Omega.$$

$$\left[A_z' = \frac{v_o}{i_i} = \frac{A_v v_e \cdot R_{22} / (R_{22} + Z_s)}{v_e / (Z_e \parallel R_{11})} = A_v \cdot \frac{R_{22}}{R_{22} + Z_s} \cdot \frac{Z_e \cdot R_{11}}{Z_e + R_{11}} = -4 \cdot 10^4 \cdot \frac{2 \text{ k}}{2 \cdot 2 \text{ k}} \cdot \frac{1 \cdot 33 \text{ k}}{1 \cdot 33 \text{ k}} = \right.$$

$$\left. \rightarrow -48'48 \text{ k}\Omega \right] \Rightarrow A_z' \cdot \beta_Y = +48'48 \cdot 10^6 \cdot 0'5 \cdot 10^{-3} = 24'24 \cdot 10^3 \gg 1$$

Por tanto: $F = 1 + A\beta = 1 + A_z' \beta_Y = 24'2 \cdot 10^3 \gg 1 \Rightarrow A_z \approx \frac{1}{\beta_Y}$

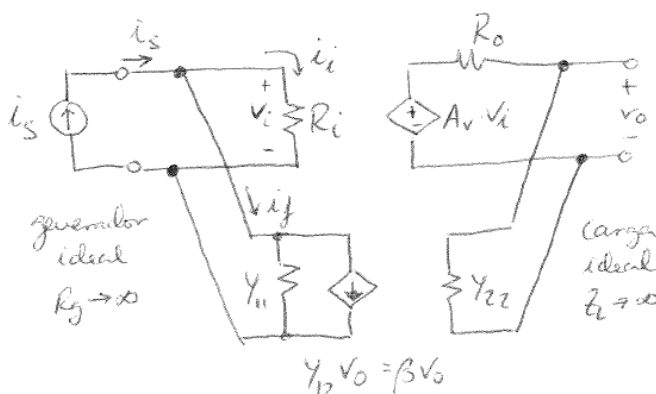
$$\left[A_z \right] = \frac{A_z'}{F} = \frac{-48'48 \cdot 10^6}{24'24 \cdot 10^3} = -2 \cdot 10^3 = \frac{1}{\beta_Y} = -R_2$$

$$\left[R_{if} \right] = \frac{R_i}{F} = \frac{(Z_e \parallel R_{11})}{F} = \frac{1'33 \text{ k}\Omega}{24'2 \cdot 10^3} = 0'055 \Omega \rightarrow \phi !!$$

$$\left[R_o \right] = \frac{R_o}{F} = \frac{(R_{22} \parallel Z_s)}{F} = \frac{(2 \text{ k}\Omega \parallel 200)}{24'2 \cdot 10^3} = \frac{181'8}{24'2 \cdot 10^3} = 0'0075 \Omega \rightarrow \phi !!$$

F-20.- a)

1.a) Transimpedancia $\rightarrow A_z = \frac{v_o}{i_i} \Rightarrow \begin{cases} Z_i \downarrow \downarrow (\text{paralelo}), Z_o \downarrow \downarrow (\text{paralelo}) \\ \text{parámetros } Y \text{ en red } \beta. \end{cases}$



$$\left[\beta \right] \begin{cases} Y_{11} = \frac{i_1}{v_1} \Big|_{v_2=\phi} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \\ Y_{22} = \frac{i_2}{v_2} \Big|_{v_1=\phi} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2} \\ Y_{12} = \frac{i_1}{v_2} \Big|_{v_1=\phi} = -\frac{1}{R_2} = \beta_Y \end{cases}$$

Como $\beta_y A_z$ debe ser adimensional y positivo $\Rightarrow A_z < 0$
 Siendo $A_z = \frac{V_o}{i_i} = \frac{V_o}{V_i/R_i} = A_v \cdot R_i < 0 \Rightarrow A_v < 0 \Rightarrow A_v = -100 \left(\frac{V}{V}\right)$

b)

1-b). - $A_z = A_v \cdot R_i = -100 \left(\frac{V}{V}\right) \cdot 40 \text{ k}\Omega = -4 \cdot 10^6 \Omega$

$$A_z = \frac{A_z}{1 + A\beta} \Big|_{A\beta \gg 1} \approx \frac{1}{\beta_y} \Rightarrow \beta_y = \frac{1}{A_z} = -\frac{1}{R_z} \Rightarrow R_z = |A_z| = 10 \text{ k}\Omega$$

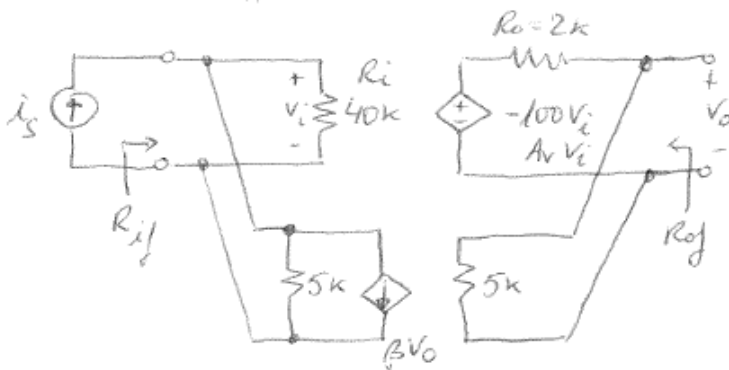
con lo que $\beta_y = -R_z^{-1} = -0.1 \cdot 10^{-3} \text{ V}$

c)

1-c). -

Con $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega \Rightarrow [\beta]$ $\left\{ \begin{array}{l} y_{11} = y_{22} = \frac{2}{10 \text{ k}\Omega} = \frac{1}{5 \text{ k}\Omega} \\ y_{12} = \beta = -\frac{1}{10 \text{ k}\Omega} \end{array} \right.$

El cb. equivalente resultaría:



$$R_{if} = \frac{R_i^{\text{ideal}}}{1 + A\beta}$$

$$R_{of} = \frac{R_o^{\text{ideal}}}{1 + A\beta}$$

¡ojo!

$$A_z = \frac{V_o}{i_i} \Big|_{\beta = 0} ; \beta_y = -\frac{1}{10 \text{ k}\Omega}$$

Operando:

$$A_z \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} V_o = A_v \cdot V_i \cdot \frac{5 \text{ k}}{5 \text{ k} + 2 \text{ k}} \\ V_i = i_s \cdot (5 \text{ k} \parallel 40 \text{ k}) \end{array} \right\} \Rightarrow A_z = A_v \cdot \frac{5 \text{ k}}{7 \text{ k}} \cdot \frac{200 \text{ k}}{45 \text{ k}} = -317 \text{ k}\Omega$$

$$F = 1 + A\beta \approx A\beta = \frac{-317 \text{ k}\Omega}{-10 \text{ k}\Omega} = 31.7 \quad (63.2 \text{ dB})$$

De donde:

$$R_{if} = \frac{(5 \text{ k} \parallel 40 \text{ k})}{1 + A\beta} = \frac{4.44 \text{ k}\Omega}{32.7} = 135.8 \Omega$$

$$R_{of} = \frac{(2 \text{ k} \parallel 5 \text{ k})}{1 + A\beta} = \frac{1.43 \text{ k}\Omega}{32.7} = 43.7 \Omega$$

d)

1.d).-

Si tenemos en cuenta sólo β , éste es $\beta = -\frac{1}{R_2}$, luego la red podría omitir R_1 y R_3 (ver figura adjunta). Sin embargo en $F = 1 + A_2 \beta y \Rightarrow A_2$ si se ve afectada por $y_1, y_{22} \Rightarrow$ luego no se podrían omitir sin modificar F .

