Universidad de Alcalá
Departamento de Electrónica

Electrónica Analógica

Ejercicios: Enunciados

Tema 2: **'Amplificadores Operacionales'**

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

- 2014-10-01: versión inicial.
- 2014-10-29: se añade la hoja 2, de ‘Control de versiones’. Se incorpora además un código orientativo para la preparación y estudio de los ejercicios. Se crean las siguientes categorías y recomendaciones (calificadas entre uno y tres asteriscos), para cada sección:
    - **(*) 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.

Sección 1: Circuitos con AO ideales.

A.-Configuraciones y propiedades básicas

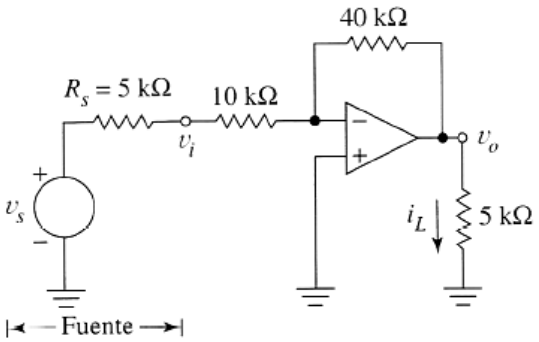
Nota: Muchos de los problemas están extraídos de uno de los textos base (Malik). En consecuencia, algunas figuras se referencian con la numeración (P2.XX) que se corresponde con la usada en dicho texto. En estos casos, algunos enunciados han sido cambiados ligeramente.

AO-1.-(*) Diseñar un amplificador inversor con ganancia de tensión de -20 y R_i=1,5kΩ.

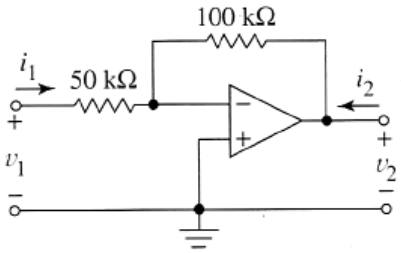
AO-2.-(*) Diseñar un amplificador inversor con ganancia de -30. La corriente de salida del operacional debe ser 0,5mA cuando v_o=-2V.

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=5kΩ y a una carga R_L=5kΩ.

a) Halle la tensión de entrada en función de v_s.
b) Halle v_o en función de v_s.
c) 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.

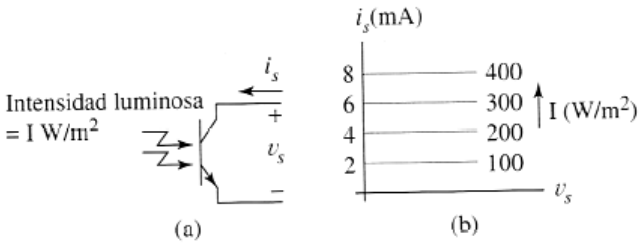
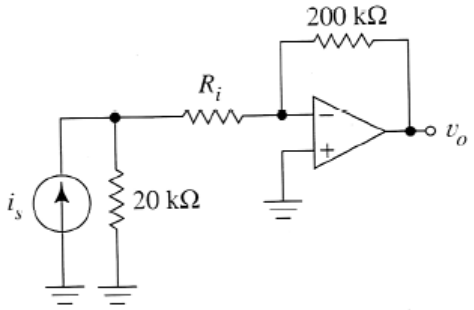


FIGURA P2.10

a) 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:

a) R_i=20kΩ.
b) 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?

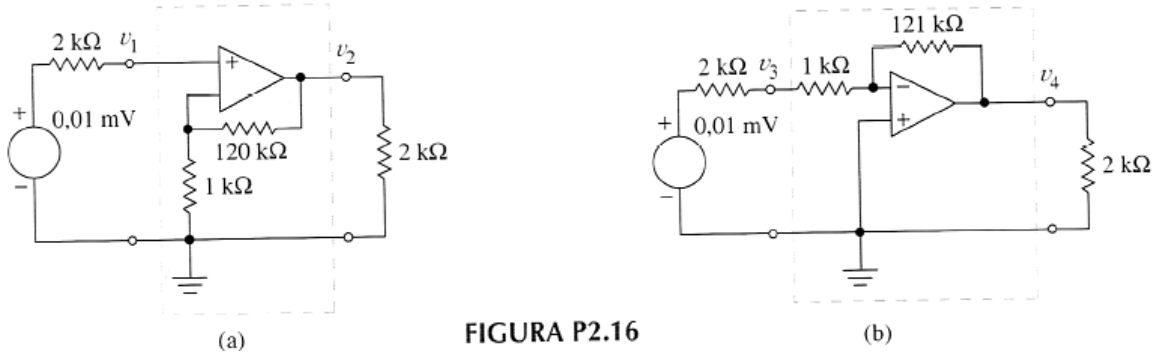


FIGURA P2.16

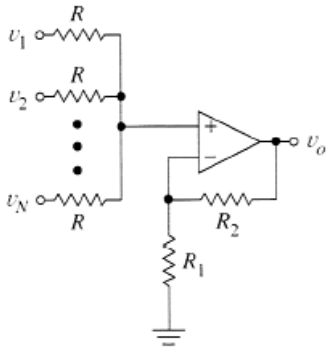


FIGURA P2.17

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

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).

a) Halle la tensión de salida, v_o, del circuito dado.
b) Añada una resistencia de 1kΩ como carga. Determine (con signo) el valor de la corriente por la carga y por la salida del AO.

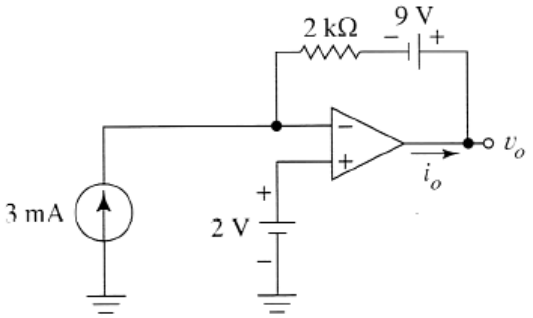


FIGURA P2.21

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

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

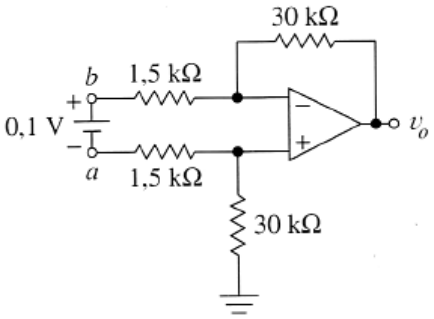


FIGURA P2.27

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

a) 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.
b) 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 = +3mV y v_b = -2,5mV.

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

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

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 cumpliese la condición de diseño (R_2/R_1)= (R_3/R_4). En este caso, el AO está en zona lineal.

a) 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.
b) Determine el valor de R_o si se tuviese R_1= R_3=20,2kΩ y R_2= R_4=19,8kΩ.
c) Determine el valor de R_o si se cumpliese 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).

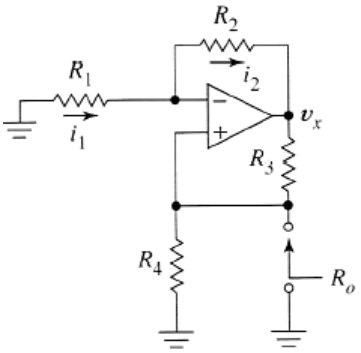


FIGURA P2.31

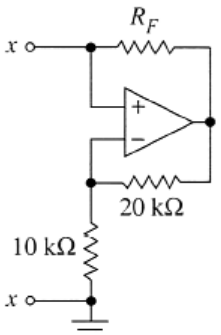


FIGURA P2.32

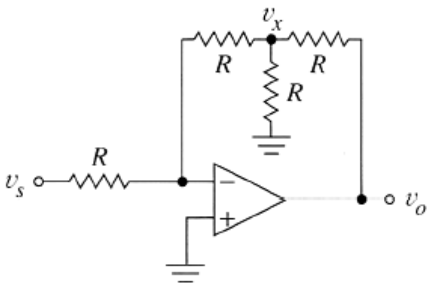


FIGURA P2.33

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:

a) Constante, $v_i = 0{,}2$V.
b) $v_i(t)$ es un pulso de 1V de amplitud y 2ms de duración.
c) En este caso, obtenga la solución para régimen permanente y con $v_i(t)$=0,2 sen(20t).

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

a) Suponiendo que las impedancias mostradas son genéricas (esto es: de valores Z_1 a Z_5).
b) 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?

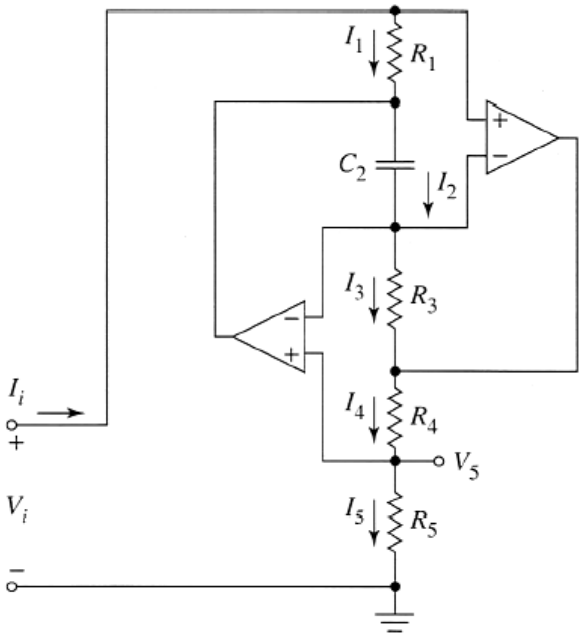
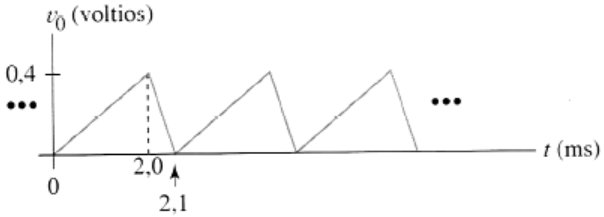


FIGURA P2.36

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

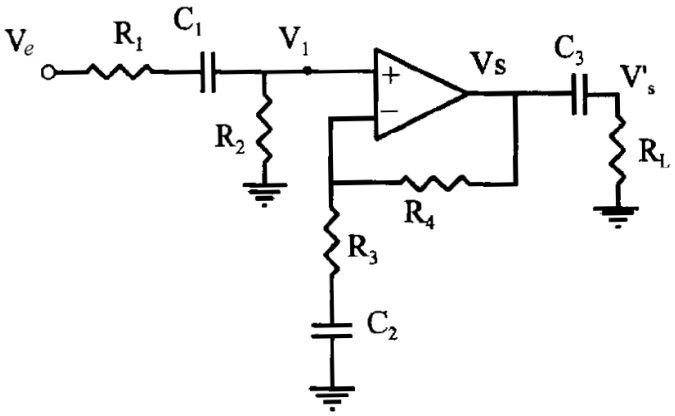
a) Dibuje el circuito del derivador y obtenga el valor de la tensión de salida $v_o(t)$ en función de RC.
b) Determine el valor del producto RC teniendo en cuenta que el AO está alimentado simétricamente con V_{CC}=12V y la salida no debe saturarse.



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: $i_o(t) = 20\int i_i(t)dt$

C.-Respuesta en frecuencia de circuitos con AOs Ideales

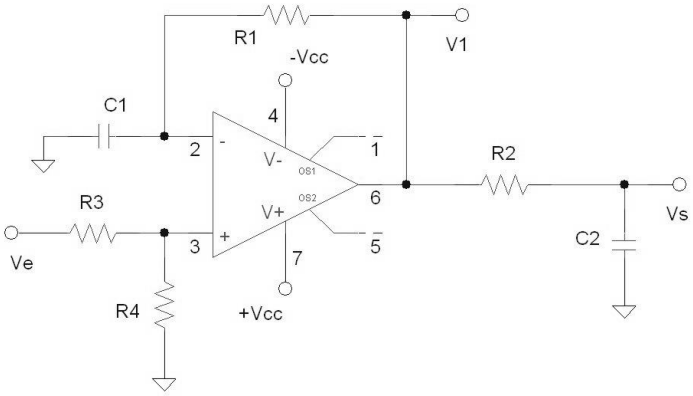
AO-22.-(*) En el circuito de la siguiente figura, se muestra un amplificador construido con un AO ideal al que se le conectan un generador y una carga mediante las capacidades C_1 y C_3, respectivamente.



a) Obtenga, de forma independiente, las ganancias parciales (V_1/Ve), (Vs/V_1) y (Vs'/Vs), en función de (s).

b) A la vista del resultado anterior, obtenga la ganancia de tensión total $G_V(s) = (V's/Ve)(s)$ y la representación del módulo de la misma en un diagrama de Bode.

AO-23.-(*) Dado el circuito de la figura adjunta:



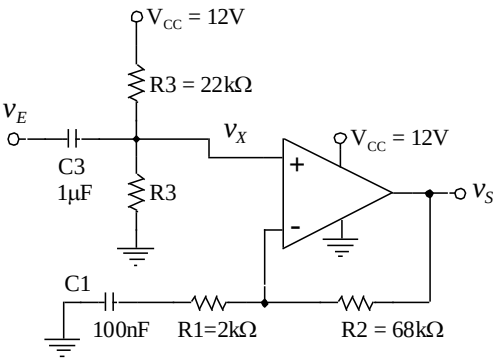
DATOS

R1 = R2 = R3 = R4 = 1kΩ
C1 = 10nF; C2 = 1μF

a) Obtenga las expresiones de las ganancias de tensión parciales $G_1(\omega)$=(Vs/V1) y $G_2(\omega)$=(V1/Ve).

b) Represente en un diagrama de Bode el módulo de la ganancia de tensión total: $G_T(\omega)$=(Vs/Ve)(ω).

AO-24.-(***) El circuito de la figura es útil para construir un amplificador en señal variable con una sola fuente de alimentación y operacionales; note que este último está alimentado entre V_{CC} y masa. Considérese a dicho operacional de características ideales.

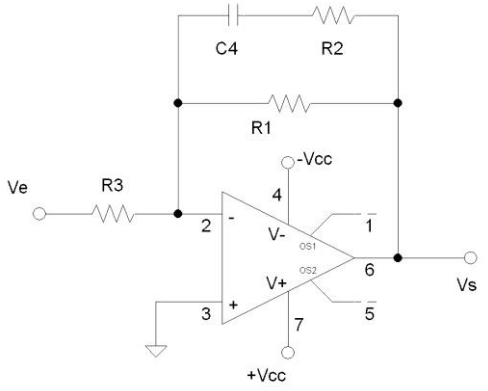


a) Exclusivamente para señal variable (AC) obtenga la función de transferencia $G_1(s)=(v_x/v_e)(s)$. Realice un diagrama de Bode de esta función y obtenga su frecuencia de corte f_{C1}

b) Obtenga la función de transferencia $G_2(s)=(v_s/v_x)(s)$. Haga un diagrama de Bode de la misma y obtenga su frecuencia de corte f_{C2}

c) Si $v_E(t) = -0'5 + 0'1\ \mathrm{sen}(10^5 \cdot t)$ V, represente la señal obtenida en la salida, $v_S(t)$.

AO-25.-(*) Sobre el diseño dado a continuación, con los datos que se indican, se desea conocer:



DATOS:

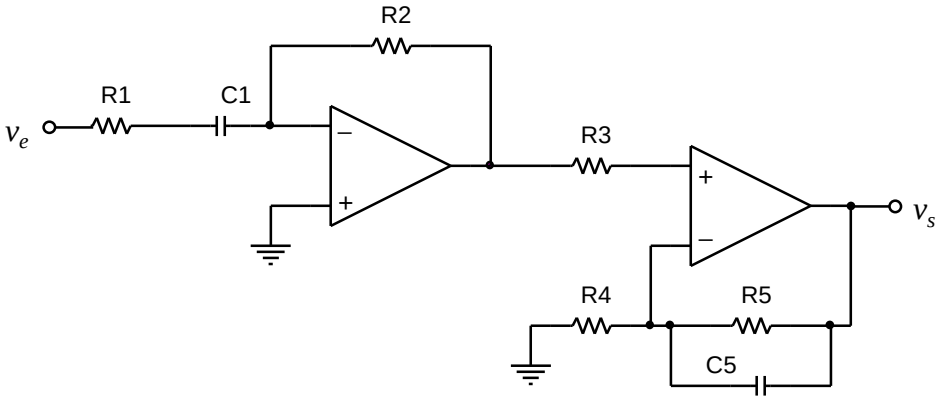
R1 = R2 = 10R3 = 10kΩ; C4 = 10nF; AO, ideal.

a) Expresión de la ganancia $G_V(\omega) = (Vs/Ve)(\omega)$ del diseño expuesto, en términos de Bode

b) Representación gráfica en diagramas de Bode (módulo y fase), indicando los valores significativos del mismo.

c) Obtener el valor de la frecuencia de corte del sistema.

AO-26.-(**) En el circuito de la figura siguiente pueden suponerse ambos amplificadores operacionales ideales.



a) Obténgase la ganancia de tensión $A_V(j\omega) = (Vs/Ve)(\omega)$. Indíquese el valor de los polos y ceros en función de los valores de los componentes pasivos.

b) Se sabe que R2=R3=R5=10kΩ; R1=R4=1kΩ; C1=100nF. Represéntese el diagrama de Bode para la ganancia de tensión (Vs/Ve)(ω), indicando todos los valores significativos y particularmente la ganancia exacta para $\omega=10^4$ rad/s, en los dos casos siguientes:

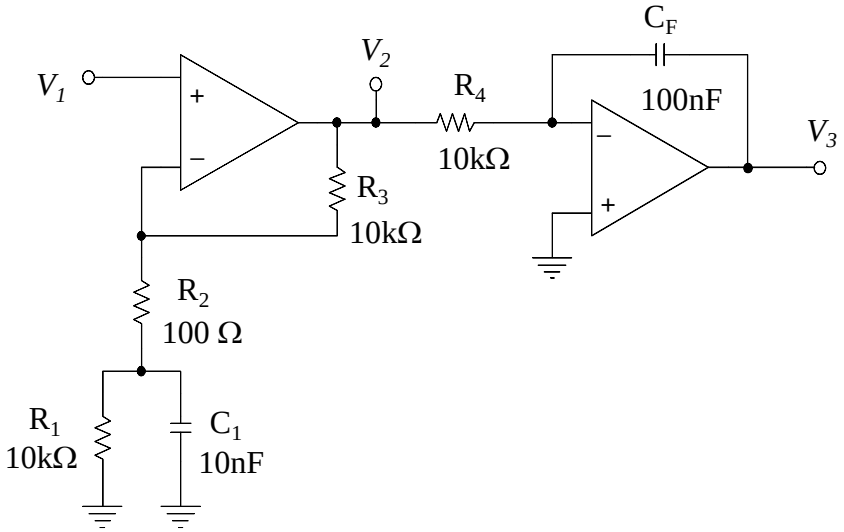
   a. Si C5 = 1nF.

   b. Si C5 = 2μF.

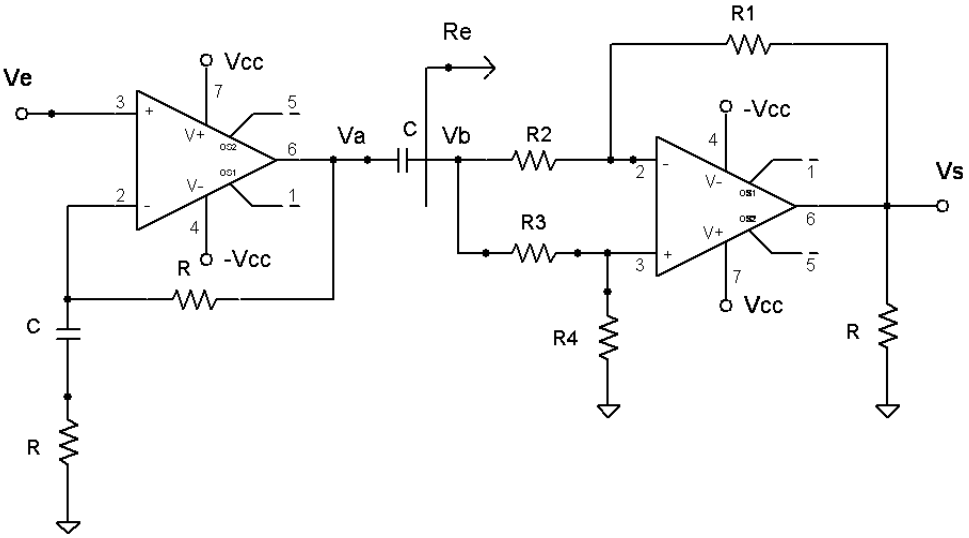
AO-27.-(**) En el circuito de la figura adjunta, ambos operacionales son de ideales y están alimentados simétricamente con +/-10V.

a) Obtenga la ganancia de la primera etapa, $A_1(s)=(V_2/V_1)$, en Laplace. Construya el diagrama de Bode correspondiente, indicando los valores de polos, ceros y ganancias en los puntos y/o tramos de interés.

b) Obtenga la ganancia de la segunda etapa, $A_2(s) = (V_3/V_2)$, y la total, $A_T(s)=(V_3/V_1)$. Construya el diagrama de Bode de este último resultado (la ganancia total, $A_T(s)$), con las mismas indicaciones que en el apartado anterior.



AO-28.-(***) En el circuito de la figura siguiente, ambos A.O´s son ideales. Obtenga:



a) Ganancias parciales de tensión: G_{V1} = (Vs/Vb) y G_{V2} = (Va/Ve)

b) Expresión de la resistencia de entrada Re, indicada en la figura

c) Expresión de la ganancia de tensión total: G_{VT} = (Vs/Ve)(ω). Represente en Bode el módulo de la misma, indicando puntos significativos y pendientes, trabajando con Re y tomándo: Re>>R

Sección 2: Circuitos con AO reales.

AO-29.-(*) Demuestre que, cuando el operacional tiene ganancia finita A_d, el amplificador no-inversor tiene por ganancia la siguiente expresión:

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{A_d}{1 + A_d R_1 / (R_1 + R_2)}$$

AO-30.-(**) Analizaremos el **circuito integrador** con AO desde el punto de vista de la frecuencia (ω).

a) Obtenga la expresión de la función de transferencia (v_o/v_i)=f(ω) si el AO fuese ideal.
b) Demuestre que la función de transferencia del amplificador integrador, en función de ω, y para el caso de que el operacional tenga ganancia finita A_d vale:

$$\frac{v_o}{v_i}(\omega) = \frac{-A_d}{1 + j\omega RC(1 + A_d)}$$

c) Determine para qué márgenes de ω la expresión correspondiente a las condiciones reales en (b) puede aproximarse a la situación ideal de (a).

AO-31.-(**) Analizaremos el **circuito derivador** con AO desde el punto de vista de la frecuencia (ω).

a) Obtenga la expresión de la función de transferencia (v_o/v_i)=f(ω) si el AO fuese ideal.
b) Demuestre que la función de transferencia del amplificador derivador, en función de ω, y para el caso de que el operacional tenga ganancia finita A_d vale:

$$\frac{v_o}{v_i}(\omega) = \frac{-j\omega RC \cdot A_d}{(1 + A_d) + j\omega RC}$$

c) Determine para qué márgenes de ω la expresión correspondiente a las condiciones reales en (b) puede aproximarse a la situación ideal de (a).

AO-32.-(*) Un amplificador inversor con operacionales se diseña para tener una ganancia nominal de -500 (supuestos operacionales de ganancia infinita). Halle la ganancia real del circuito y el % de error cometido si el operacional tuviese en realidad las siguientes ganancias en lazo abierto:

a) $A_d = 10^3$ (V/V).
b) $A_d = 10^5$ (V/V).

AO-33.-(**) Se usa un AO real de datos A_d y r_o para construir un amplificador no inversor. Demuestre que, en estas condiciones, la impedancia de salida del circuito es:

$$R_o = \frac{r_o}{1 + r_o / (R_1 + R_2) + A_d R_1 / (R_1 + R_2)}$$

AO-34.-(*) Un amplificador inversor de ganancia -80 emplea un operacional alimentado a ±10V.

a) Halle la máxima tensión de entrada para el funcionamiento en zona lineal.
b) Halle los valores mínimos para R_1 y R_2 si el operacional tiene una corriente en cortocircuito de 5mA.
c) Para los valores de para R_1 y R_2 del apartado (b), calcule la disipación de potencia en cada resistor cuando la tensión de salida sea máxima.

d) Multiplique ahora los valores de R_1 y R_2 por 100. En estas condiciones calcule la corriente de salida del operacional y disipación de potencia en cada resistor. Compare estos resultados con la situación anterior y comente el resultado.

AO-35.-(**) El operacional de ganancia infinita de la figura P2.60-a tiene una tensión de *offset* de valor V_{OS}. Supuesto que en $t = 0$, la tensión $v_o(t)$=0, determine:

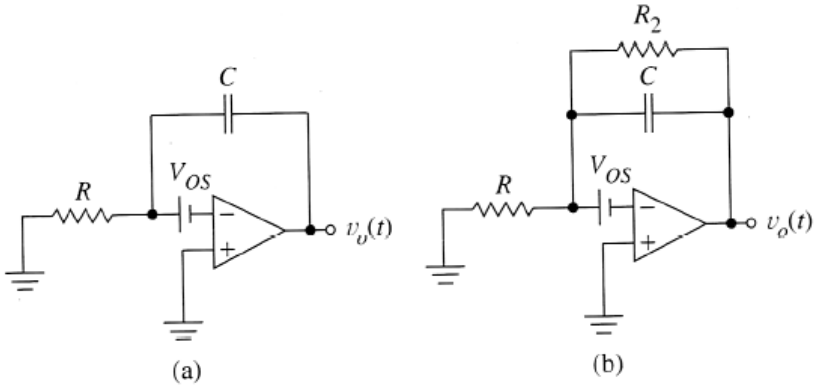


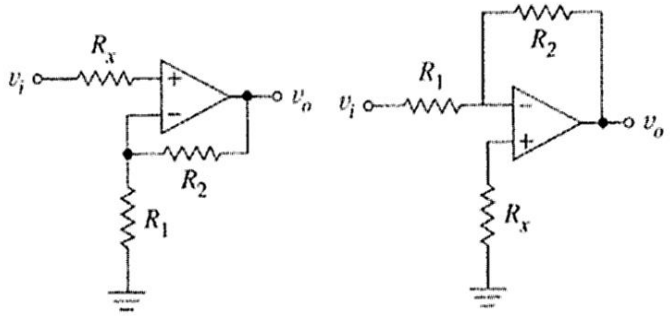
FIGURA P2.60

a) La expresión de $v_o(t)$ para $t > 0$.
b) Si el operacional estuviese alimentado a ±12V, RC=10ms y V_{OS}=+5mV, ¿cuánto se tardaría en llegar a la saturación?
c) ¿Qué tensión tiene el condensador C en el mismo momento de llegar a la saturación del OP?

Nota: para prevenir la saturación del OP debida al *offset*, en ocasiones se coloca un resistor de gran valor (R_2) en paralelo con C, tal y como se muestra en la figura P2.60-b. El condensador entonces sólo se carga hasta un cierto límite (dependiente de los valores relativos de R y R_2).

d) En el circuito modificado que se muestra en la figura P2.60-b, verifique que para la misma V_{OS} que en (c) y con R_2=100·R el valor de v_o es menor que el límite de saturación del OP. ¿Qué valor de R_2 sería el límite para impedir la saturación del OP?

AO-36.-(*) Las figuras adjuntas muestran una resistencia R_x que se añade para eliminar el efecto de las corrientes de polarización en amplificadores con OPs. Advierta que, anulando cada generador de entrada (v_i = 0), ambos circuitos resultan ser idénticos.
En estas condiciones y supuesta ganancia infinita, halle la expresión de v_o en función de I_B, R_2, R_1 y R_x. Encuentre el valor de R_x que hace nula la componente en la salida debida a la corriente de polarización, I_B.



AO-37.-(**) Los operacionales de ganancia infinita del circuito de la figura P2.64 se saturan a ±10V. Si cada uno de ellos tiene una tensión de *offset* $V_{OS,1}$= $V_{OS,2}$=+8mV.

a) Halle la componente de v_o debida a cada tensión de *offset*.
b) Dibuje la f. de t. (v_o/ v_s), mostrando claramente el valor de la ganancia, los límites de saturación y el efecto causado por las tensiones de *offset*.
c) Debido sólo a la componente de señal, la salida varía senoidalmente entre ±8V. Dibuje la señal de salida resultante si se tiene en cuenta además el efecto del *offset* de los AOs.

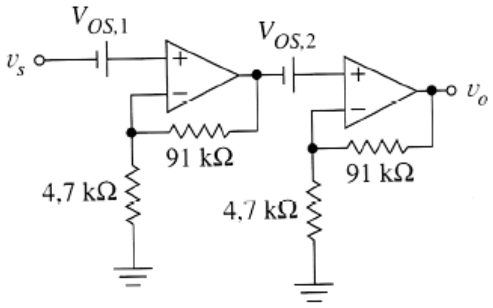
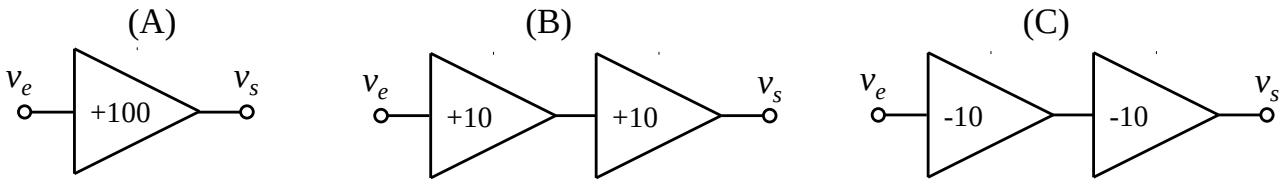


FIGURA P2.64

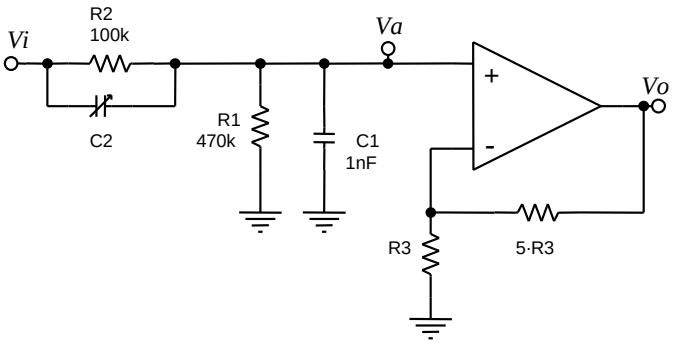
AO-38.-(*) Se desea construir, usando AO's, un amplificador de ganancia de tensión total G_V=+100(V/V). Los operacionales disponibles disponen de un ancho de banda para ganancia unidad (GBW) de 1MHz. En la figura siguiente se muestran tres formas distintas de conseguir la ganancia pedida (cada etapa sólo tiene un AO):



Apoyándose en sendos diagramas de Bode, estime la respuesta en frecuencia global de las TRES configuraciones mostradas. A la vista de estos diagramas ¿cuál de las tres configuraciones tiene mayor ancho de banda y por qué? Finalmente calcule el valor de la frecuencia de corte de la configuración elegida.

AO-39.-(**) El circuito de la figura adjunta representa la etapa de entrada de un instrumento de medida:

a) Obtenga la función de transferencia del atenuador de entrada, G_1(s)=*(Va/Vi)*, supuesto que ambos condensadores son iguales de valor C2=C1=1nF.
b) Represente en un diagrama de Bode el módulo de dicha función. Calcule el valor que debiera tener C2 para que la función G_1(s) no tuviera ni polos ni ceros.

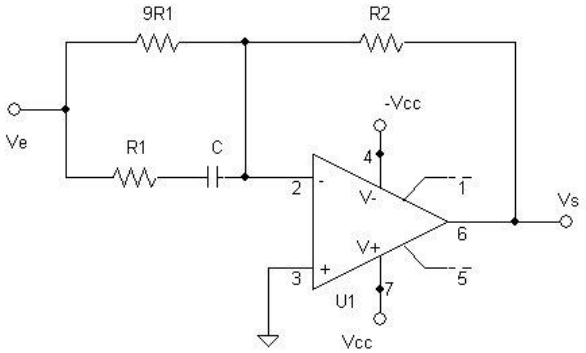


NOTA: en los siguientes apartados considere que los condensadores C1 y C2 se han retirado del circuito.

c) El operacional de la figura tiene un GBW=1MHz, con una A_m=120dB. ¿Cuál es el ancho de banda de toda la etapa?

d) Sabiendo que el SR del operacional es de 0'5V/μs, determine la amplitud ***A*** máxima admisible para una señal senoidal en la entrada de valor $\boldsymbol{v_i(t)=A\,\mathrm{sen}(\omega_i t)}$ [V], para una frecuencia de 10kHz. (**Nota:** considere que el circuito se encuentra en su banda de paso, muy por debajo de la frecuencia de corte).

AO-40.-(**) Sobre el circuito de la figura siguiente, obtener:



DATOS:

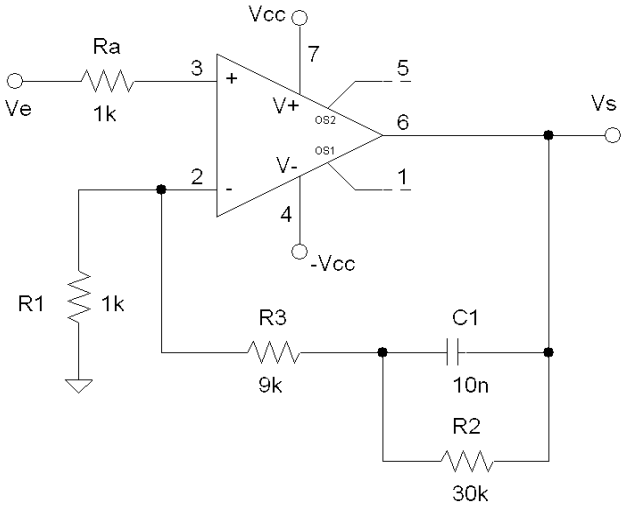
R1 = 1kΩ; C = 1μF; AO, ideal

a) Expresión de $G_V(\omega)=(Vs/Ve)(\omega)$, ordenada de forma que se identifiquen claramente los términos de interés para caracterizar su respuesta en frecuencia.

b) Representación en un diagrama de Bode, del módulo de $G_V(\omega)$, indicando todos los valores significativos.

c) Si el Amplificador Operacional tuviese ahora un GBW=1MHz, indicar las expresiones a utilizar para obtener el ancho de banda del diseño.

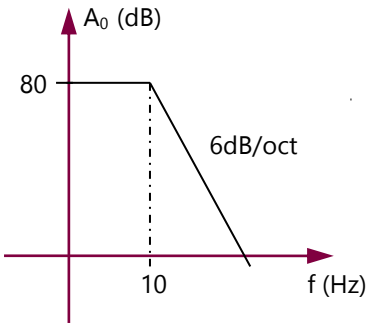
AO-41.-(**) Sobre el diseño de la figura siguiente, se desea saber:



a) Valores en dB de $G_V(\omega) = (Vs/Ve)(\omega)$ para los límites de frecuencia: $\omega \to 0$ y $\omega \to \infty$

b) Expresión de la ganancia $G_V(\omega) = (Vs/Ve)(\omega)$ y representación en diagrama de Bode del módulo de la misma, incluyendo todos sus valores significativos y pendientes.

c) Ahora, se elimina el condensador C1 del diseño anterior (circuito abierto), tomándose como respuesta real del AO la expuesta en la figura adjunta. Indicar el valor de la frecuencia de corte superior (f_H) del diseño así realizado.



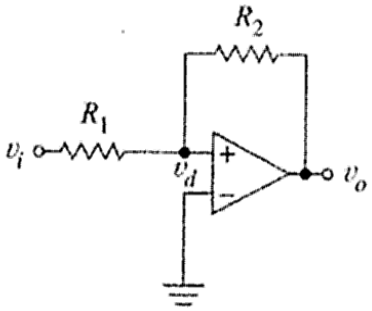
d) La frecuencia de corte del apartado anterior, ¿se podría mantener al volver a colocar el condensador C1? ¿Qué pasaría si considerásemos también el parámetro SR del AO?

Sección 3: Aplicaciones en Zona No-Lineal.

AO-42.-(**) Un termómetro electrónico produce una tensión de salida en mV dada por la expresión: $v_s(T)=30+3T$, en donde T es la temperatura en ºC.

a) Diseñe un circuito que, usando un comparador simple con una tensión de referencia de 5V, active su salida a nivel alto cuando la T supere los 50 ºC.
b) Suponga ahora que el OP usado como comparador tiene, según sus datos de catálogo, una tensión de *offset* de 5mV. ¿Qué incertidumbre introduce este dato a la hora de determinar a qué temperatura se activa el circuito?

AO-43.-(*) Al comparador Schmitt de la figura adjunta le entra una forma de onda triangular de 10V de pico. Dibuje las formas de onda en entrada y salida, indicando todos los valores esenciales de las mismas (en tiempos y valores). Datos: $V_P=V_M=10$V, $R_1=2{,}4$kΩ, $R_2=4{,}7$kΩ.



AO-44.-(*) Determine los valores de la f. de t. del comparador Schmitt de la figura P2.82 supuestos diferentes los valores de las tensiones de saturación V_P y V_M .

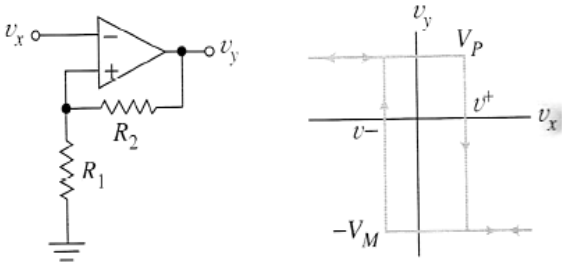


FIGURA P2.82

Sección 4: Filtros.

F-1.-(*) Para filtrar el ruido presente en una señal digital, se desea incluir en el sistema de datos un filtro paso bajo analógico de las siguientes características:

- Banda de paso: ganancia máxima de 20dB; frecuencia de paso de 150kHz
- Banda atenuada: atenuación mínima de 40dB, respecto a la ganancia máxima a una frecuencia fa=600kHz.

a) Dibuje la plantilla que define el filtro especificado. Normalice adecuadamente dicha plantilla para poder usar las gráficas normalizadas (disponibles en la documentación).

b) Justifique qué tipo de filtro y de qué orden es el que mejor se ajusta a las especificaciones dadas.

c) Usando una herramienta de diseño software (FilterPro) obtenga el circuito que implementa el filtro buscado mediante circuitos VCVS en configuración Sallen-Key.

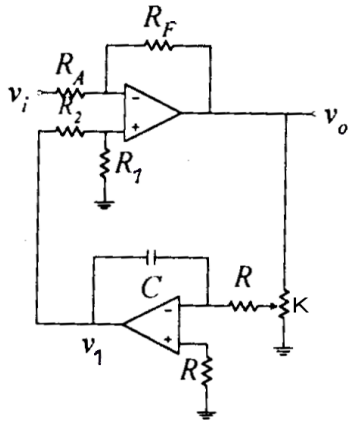
F-2.-(**) En cierto sistema se necesita incorporar un filtro paso bajo para eliminar los armónicos superiores de una señal, con objeto de disminuir su distorsión. Para ello se usa un filtro Butterworth de orden 6. Determine, usando las gráficas normalizadas:

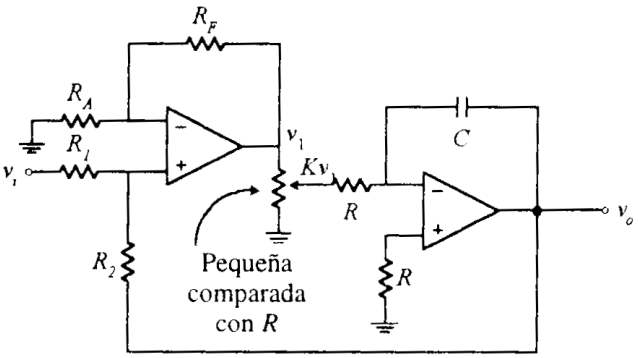
a) La atenuación mínima que se podrá conseguir para el primer armónico ($2 \cdot f_p$) de la frecuencia máxima de paso (f_p)

b) Si en lugar de usar el filtro de Butterworth se usase un Chebyshev del mismo orden y 2dB de rizado en la banda de paso ¿qué atenuación extra respecto a la del filtro anterior se podría obtener?

c) Teniendo en cuenta los datos conocidos en el enunciado general del problema ¿por qué no es conveniente el filtro de Chebyshev a pesar de la mejora en la eliminación de armónicos?

F-3.-(***) Los diseños mostrados a continuación corresponden a sendos filtros: paso alto y paso bajo, de orden 1, con frecuencia de corte ajustable mediante el potenciómetro. Asumiendo que el valor nominal de éste es muy pequeño frente al valor de R, se desea obtener, para cada uno de los circuitos mostrados:



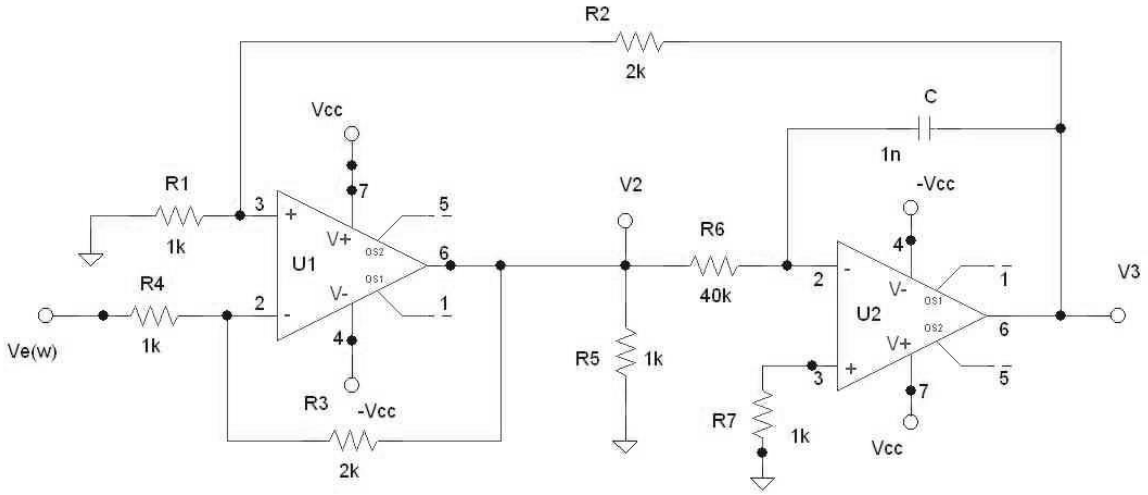


a) Expresión analítica de la ganancia de tensión en el dominio de la frecuencia.

b) Representación gráfica de la misma en diagramas de Bode.

c) Expresión de la frecuencia de corte inferior del circuito.

RF-4.-(***) El siguiente diseño, donde ambos amplificadores operacionales son ideales y con realimentación negativa, conforma en una de sus salidas (V2 o V3) un filtrado tipo paso bajo, mientras en la otra es paso alto, de la señal de entrada Ve(ω). De acuerdo a este funcionamiento, se desea conocer



a) Obtener la expresión de las ganancias: $G_1(\omega)=(V3/V2)(\omega)$; siendo $V2=f(Ve,V3)$ Utilícense los valores de los componentes dados en la figura.

b) A partir de los resultados anteriores, obtener las funciones: $G_2(\omega)=(V3/Ve)(\omega)$ y $G_3(\omega)=(V2/Ve)(\omega)$. En base a los resultados obtenidos, identifique la salida (V2 o V3) correspondiente al filtrado paso bajo y al filtrado paso alto de la entrada. Utilícense los valores de los componentes dados.

c) Representación gráfica de las funciones: $G_2(\omega)$ y $G_3(\omega)$ obtenidas en el apartado anterior, en diagramas de Bode (módulo), indicando los valores significativos del mismo.

Sección 5: ejercicios adicionales (Combinados).

C1.-(**) Diseñe los siguientes amplificadores, usando operacionales ideales y los elementos pasivos que considere necesarios:

a) Integrador, con Z_e = 10kΩ y constante de tiempo igual a 1ms.
b) Amplificador inversor, de ganancia -10 e impedancia de entrada infinita.
c) Amplificador diferencial, de ganancia 10 y con impedancias de entrada infinitas.
d) Amplificador de transconductancia, de ganancia +10 (mA/V) y cuya carga vaya referida a masa.

C2.-(**) Partiendo de amplificadores operacionales ideales, resistencias y condensadores, en el número que considere necesarios, proponga circuitos (indicando exactamente todos los valores de los componentes utilizados) para realizar las funciones recuadradas en cada una de las siguientes figuras (1 y 2):

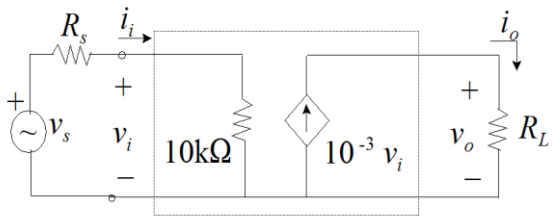


Figura 1

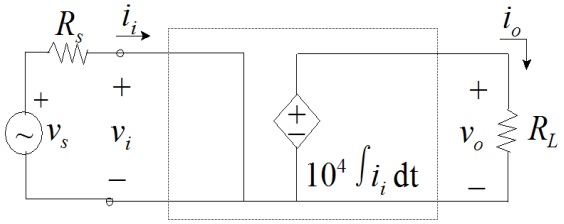
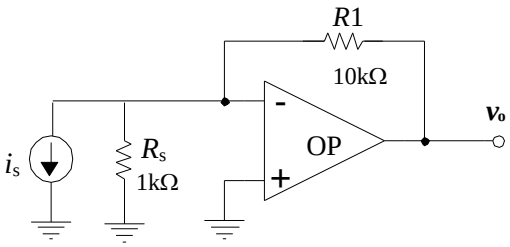


Figura 2

C3.-(**) En el circuito de la figura adjunta, siendo el AO ideal, se ha medido una tensión de salida dada por:

$$v_o(t) = 10\sin(10^3 t)\ \text{[V]}$$

Si se sustituye la resistencia $R1$ por un condensador de valor C=10nF, ¿cuánto valdrá ahora $v_o(t)$?



C4.-(**) El amplificador OP de la figura adjunta es ideal, salvo los valores que se indiquen en cada uno de los apartados siguientes.

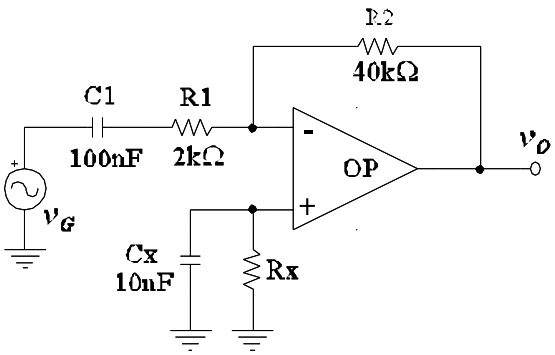


Figura 2.2

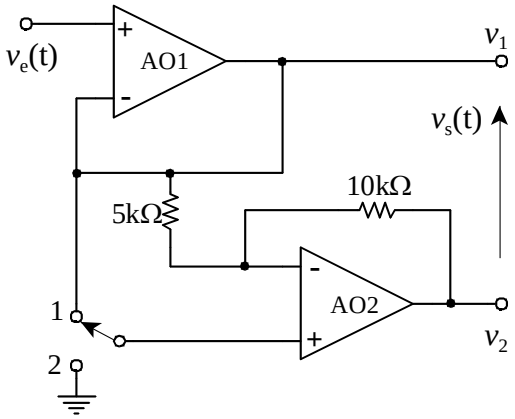
a) Determine el valor de Rx, para que la tensión de error debida a una corriente de polarización I_B=100μA sea nula.
b) Ignorando ahora la corriente I_B, obtenga la tensión de *offset* de entrada del OP sabiendo que se mide una tensión de error de 10mV y que el valor de Rx es de 10kΩ.
c) Ignorando cualquier otra fuente de error, obtenga la expresión de v_o (t) si la tensión del generador de entrada es v_G (t) = 0,5 sen(5000t) V, y Rx = 10kΩ. (Hállese en régimen permanente).

C5.-(***) Un sensor dado proporciona una tensión de salida de entre -1 y +1 V. Se pretende adaptar esta señal a un conversor de datos cuyo margen de entrada es entre 0 y +5V. Para esto se dispone de AOs alimentados a ±10V. Con estos datos:

a) Determine la función de transferencia $v_s = f(v_e)$ necesaria
b) Suponiendo que la función deseada sea $v_s = 3v_e + 2$, construya el circuito que realizaría tal función usando los AOs disponibles y componentes pasivos. Utilice el menor número de AOs posible.

C6.-(**) En el circuito de la figura adjunta se sabe que la tensión de entrada es:

$$v_e(t) = 0.5 \text{ sen } (1000\ t) - 0.2 \text{ sen } (2000\ t).$$



a) Halle el valor de la tensión diferencial de salida, $v_s = (v_1 - v_2)$, para los casos: (1) conmutador en la posición 1 y (2) conmutador en la posición 2.

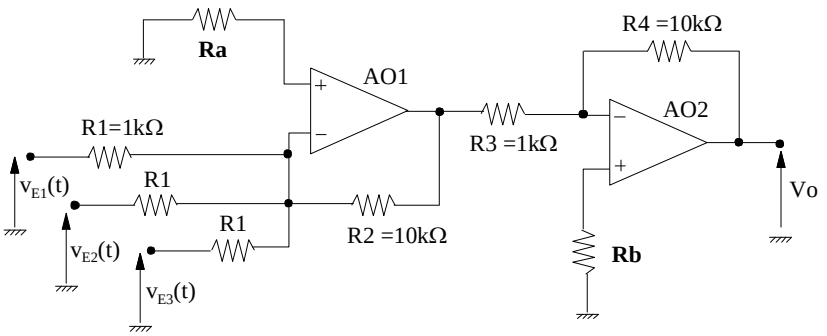
b) Halle el valor de la tensión de error existente en la salida, v_s , con el conmutador en la posición 2, sabiendo que se ha medido para ambos operacionales una tensión de *offset* de +10 mV.

c) Suponiendo de nuevo que los amplificadores operacionales son ideales, obténganse el valor de la tensión de salida, v_s , si el conmutador está en la posición 2 y se conecta una capacidad de 1μF en paralelo con la resistencia de 10 kΩ.

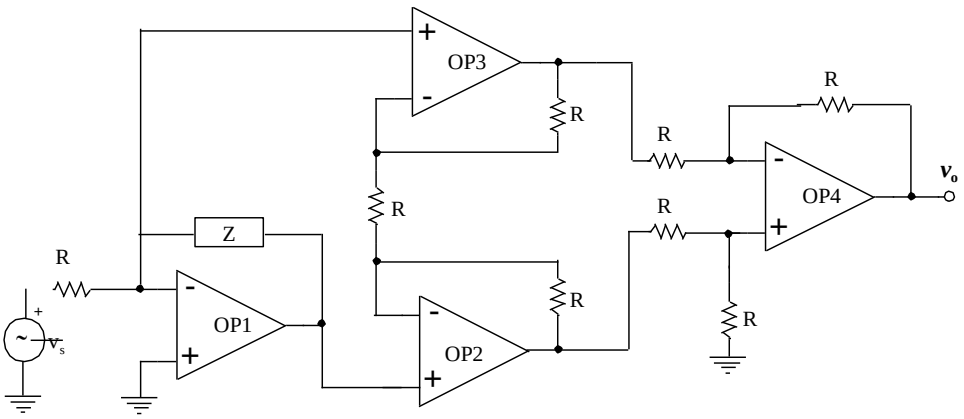
C7.-(**) Sea el circuito de la figura adjunta, donde se sabe que R1=R3=1kΩ y R2=R4=10kΩ.

a) Según el fabricante, ambos AOs poseen una tensión de desviación (*offset*) de valor 1mV. ¿Entre qué valores puede variar la tensión de salida, V_o, si se introduce en las entradas $v_{E1} = v_{E2} = v_{E3}$=10mV?

b) Determínense los valores de *R*a y *R*b para garantizar que en la salida se compensa el efecto de las corrientes de polarización (I_B) de los AOs.



C8.-(**) El circuito de la figura se usa para medir el módulo de la impedancia Z. Para ello se excita con una tensión sinusoidal: $v_s = 0{,}1\sin(315t)$ [V]

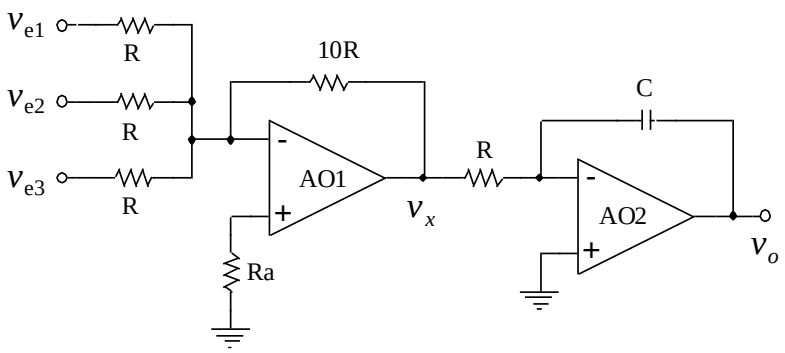


a) Se coloca una impedancia, *Z*, con módulo 1kΩ a la frecuencia de la señal de entrada. Obténgase el valor de *R* para que el valor eficaz de la tensión de salida sea 0,3V.

b) Suponiendo que *R*=1kΩ, realícese una representación entre el valor eficaz de la tensión de salida en función del valor del módulo de la impedancia *Z*.

c) Si todos los AOs están alimentados entre ±12V, y pueden proporcionar este margen de variación a su salida, ¿cuál es el valor máximo de módulo de impedancia que podría medirse?

C9.-(**) En la figura adjunta los OPs son de características ideales, salvo en lo que se indique en cada apartado, en su caso. Otros datos: R=10kΩ, C = 100nF.



a) Obtenga la relación:

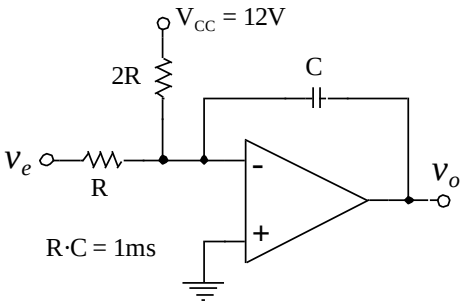
$v_o\,(t) = f(v_{e1}\,,\, v_{e2}\,,\, v_{e3})\,(t)$

b) Según sus datos de catálogo, AO1 tiene un *offset* de valor V_{IO} = 5mV; determine el margen de valores de la tensión de error que puede aparecer en su salida, v_x .

c) ¿Qué valor debe tener Ra para cancelar el efecto de la corriente de polarización de AO1 (I_B) en su salida, v_x?

d) Suponga ahora v_x = 0. Si AO2 tuviera una I_B=10μA y una corriente de *offset* I_{OS} =2μA ¿cuál sería el tiempo mínimo que tardaría en saturarse su salida, supuesta una alimentación simétrica con V_{CC} = 12V?

C10.-(***) En el circuito de la figura, el operacional puede considerarse de características ideales y está alimentado simétricamente entre +/-V_{CC}.



a) Determine el valor que debiera tener la tensión de entrada en continua (V_E) para que la tensión de salida, v_o(t), no varíe con el tiempo.

b) Se conecta en v_e(t) un generador de onda cuadrada cuya amplitud va de +V_{CC} a -V_{CC}. Suponga que en t=0 el condensador C está descargado; en estas condiciones determine el periodo **T** y el ciclo de trabajo **D** de v_e(t) para que la salida sea periódica y varíe entre cero y +V_{CC}. Represente gráficamente el resultado para v_e(t) y v_o(t).

(**Nota**: *el operacional no debe saturarse*)

C11.-(**) El amplificador de la figura adjunta está formado por AO's de características ideales, salvo en su tensión *offset* de entrada que es de: V_{OS} = 15mV.

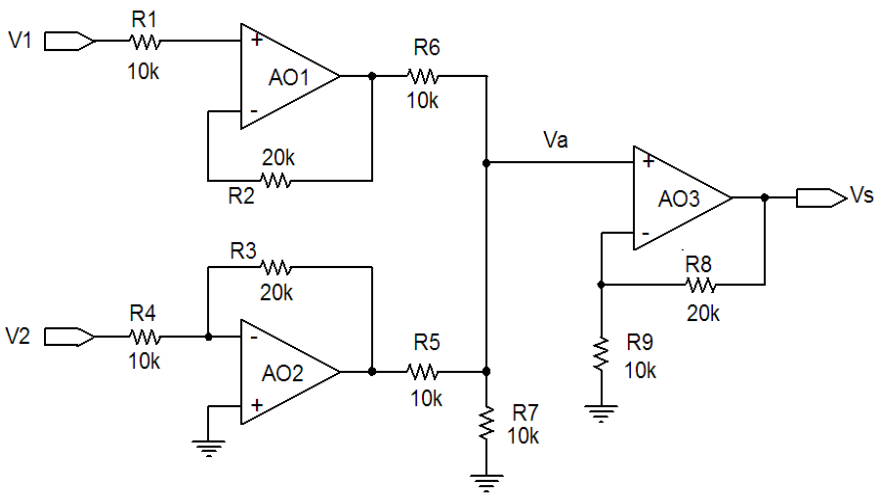
a) Obtenga las siguientes funciones de transferencia para señal:

$v_a = f(v_1)$

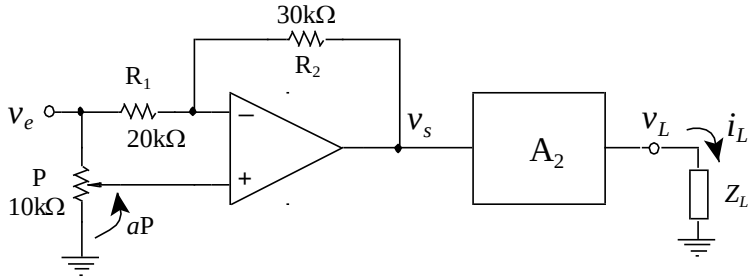
$v_a = f(v_2)$

$v_s = f(v_1, v_2)$

b) Determine el máximo valor que puede tomar la tensión de error debida al *offset* de todos los operacionales en la salida, V_{so} .



C12.-(***) El circuito de la figura se ha construido usando amplificadores operacionales de ganancia infinita.



a) Diseñe el circuito necesario para que el bloque **A2**, entregue una corriente i_L = -10 v_S (mA). Utilice un único amplificador operacional y las resistencias que sean necesarias.

b) En la entrada, el cursor del potenciómetro **P** se encuentra en una posición *'a'*, siendo $0 \le a \le 1$. Determine la ganancia del bloque **A1**, (v_S / v_e), en función del factor *'a'* y represéntela gráficamente.

c) Suponga ahora que a = 0'5. Supuesto que el primer operacional tiene una corriente de polarización I_B=100μA, ¿qué corriente circulará por la carga debida a esta corriente de error?