

## 4 FILTROS CON AMPLIFICAR OPERACIONAL

El uso del amplificador operacional con algunos resistores y capacitores se obtiene una amplia variedad de circuitos interesantes, como filtros activos, integradores y diferenciadores, entre otros.

### Objetivo

En este ejercicio se utilizan diversos IV de NI Elvis para medir las características de filtros pasa bajas, pasa altas y pasa banda.

### Instrumentos Virtuales (IV) utilizados

- Multímetro Digital, DMM[ $\Omega$ , X]
- Generador de Funciones, FGEN
- Osciloscopio, OSC
- Analizador de Impedancia
- Analizador de Bode

### Componentes Usados

- 10.0 k $\Omega$  resistor,  $R_1$ , (café, negro, naranja)
- 100.0 k $\Omega$  resistor,  $R_f$ , (café, negro, amarillo)
- 1  $\mu$ F Capacitor,  $C_1$
- 0.01  $\mu$ F Capacitor,  $C_f$
- 741, Amplificador Operacional

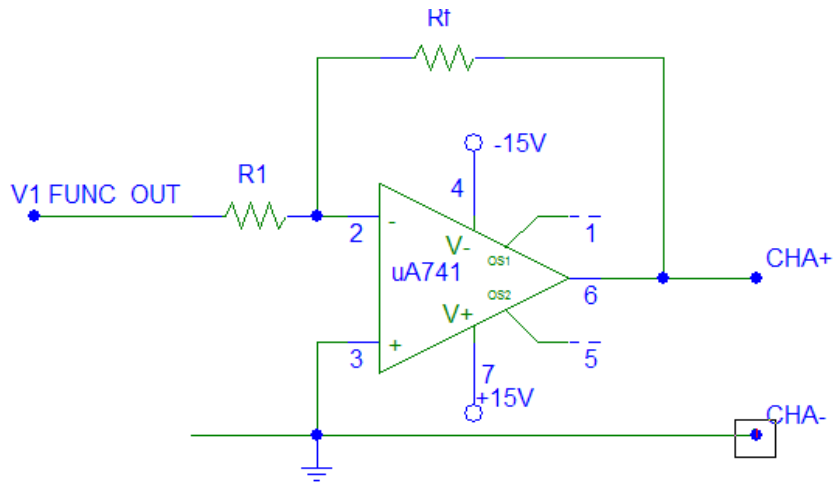
## Ejercicio 4-1 Medición de los valores de los componentes del circuito

Complete los siguientes pasos para medir los valores de los componentes del circuito:

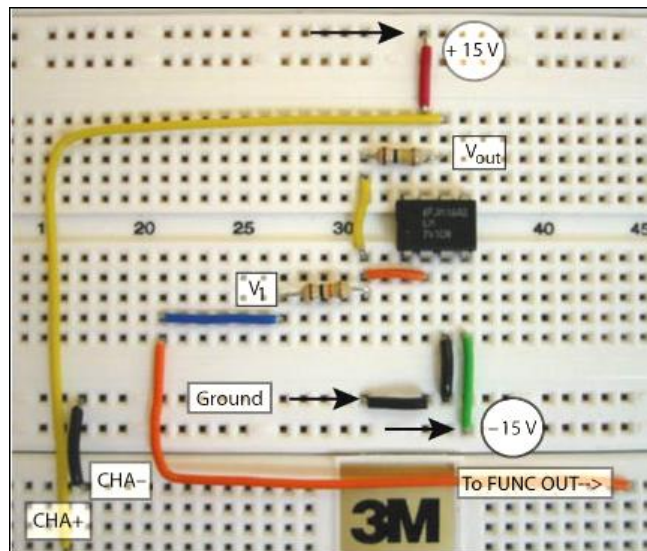
1. En NI Elvis, selecciones el **Multímetro Digital**.
2. Use el DMM[ $\Omega$ ], para medir los resistores.
3. Use el DMM[C], para medir los capacitores.
4. Anote los valores.
5. Complete la siguiente información.  
 $R_1$  \_\_\_\_\_  $\Omega$  (10 k $\Omega$  nominal)  
 $R_f$  \_\_\_\_\_  $\Omega$  (100 k $\Omega$  nominal)  
 $C_1$  \_\_\_\_\_  $\mu$ F (1  $\mu$ F nominal)  
 $C_f$  \_\_\_\_\_  $\mu$ F (0.01  $\mu$ F nominal)
6. Cierre el DMM.

## Ejercicio 4-2 Comportamiento del Circuito Amplificador Operacional Básico

1. En la tarjeta de prototipos, alambre el circuito inversor con el CI 741 con una ganancia de 10, como se muestra en el diagrama esquemático.



La siguiente figura muestra el circuito como se ve en la Tarjeta de prototipos NI Elvis



2. Polarice el amplificador operacional con +15 V y -15 V de CD, se encuentran en los socket pin de la Tarjeta marcados con +15V, -15V y Ground.
3. Conecte a la entrada  $V_I$  del amplificador [FUNCOUT] y conecte la tierra a los sockets pin [Ground].

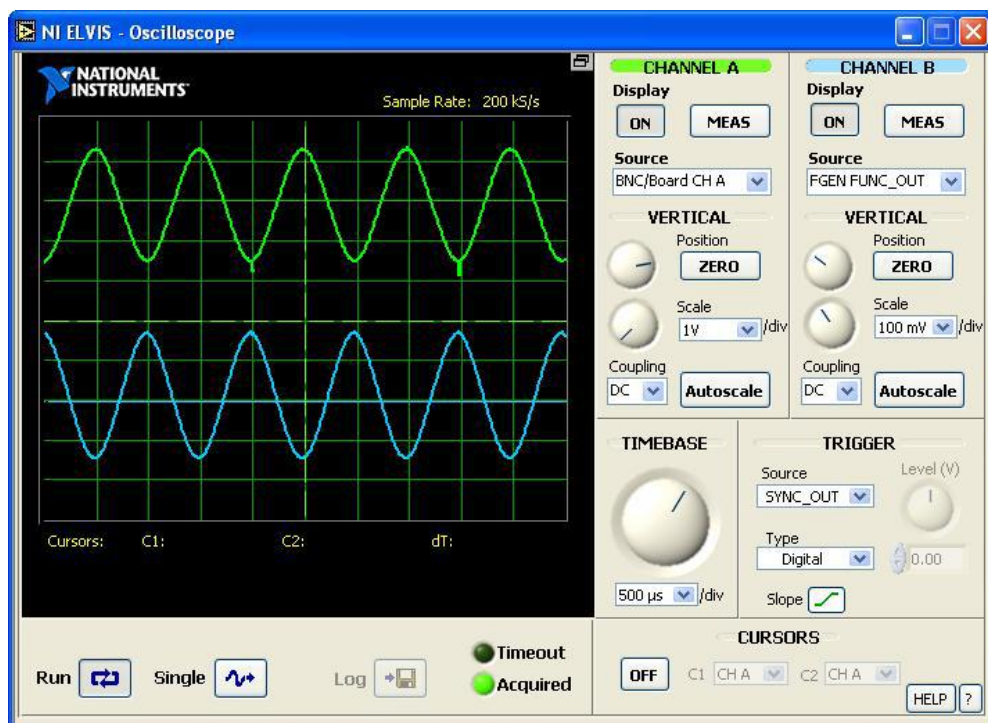
4. Conecte el voltaje de salida del amplificador a los sockets pin del osciloscopio [CHA+] y [CHA-].
5. Con el NI Elvis, seleccione **Function Generator** y **Oscilloscope**.
6. En el panel frontal virtual del osciloscopio establezca el CHANNEL A y la Fuente (Source) fíjela en **BNC/Board CH A**. Para ver la señal de entrada establezca el CHANNEL B y la Fuente (Source) fíjela en **FGEN FUNC\_OUT**.

**Nota** Esta es una forma rápida de conectar el Canal B del osciloscopio sin necesidad de cables adicionales.

1. En el panel frontal del generador, fije los siguientes parámetros:

- Forma de onda: **Sinusoidal**
- Amplitud Pico: **0.1 V**
- Frecuencia: **1000 Hz**
- Offset CD: **0.0 V**

2. Verifique el circuito y encienda la Tarjeta de Prototipos.
3. En el osciloscopio y el generador de clic en **Run** en modo continuo.
4. Verifique el voltaje de entrada en el Canal B y la salida del amplificador en el Canal A.
5. Debido a que la señal de prueba se origina en FGEN, seleccione **SYNC\_OUT** como fuente de trigger.



6. Mida las amplitudes de entrada (Canal B) y salida (Canal A) en el osciloscopio. Observe que la salida invertida con respecto a la entrada.
7. Con los valores anteriores calcule la ganancia de voltaje y verifique que corresponde al valor teórico de  $(R_f/R_i)$ .
8. Varíe la frecuencia de 100 Hz a 10 kHz y observe los cambios.
9. Calculate the voltage gain (the amplitude ratio channel A/channel B).

**Nota** También se puede usar una fuente de trigger analógica del CHA o CHB. Esta selección establece el tipo de trigger a Analógico (SW) permitiendo fijar la pendiente y el nivel del trigger.

10. Cierre las ventanas del FGEN y OSC.

## Ejercicio 4-3 Medición de la Característica de Frecuencia

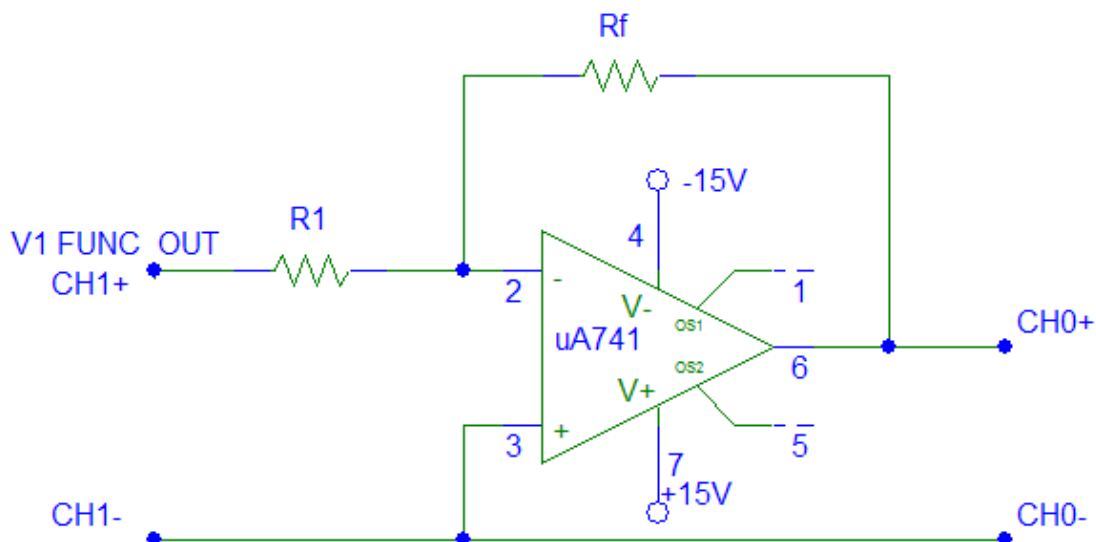
La mejor forma de analizar la curva de respuesta característica de CA del amplificador operacional es a través de la gráfica de Bode.

La gráfica de Bode corresponde a una gráfica de Ganancia (dB) y una de Fase (grados) como una función de la frecuencia logarítmica. La función de transferencia para el circuito inversor está dada por:

$$V_o = -\frac{R_f}{R_i} V_1$$

donde  $V_o$  es la salida y  $V_1$  es la entrada del amplificador operacional (la señal de FGEN en el circuito). En una gráfica de Bode se espera una línea recta con una magnitud de  $20 \log(G)$ . Para una ganancia de 10, la magnitud debe ser 20 dB.

Complete los siguientes pasos para obtener la gráfica de Bode del circuito.

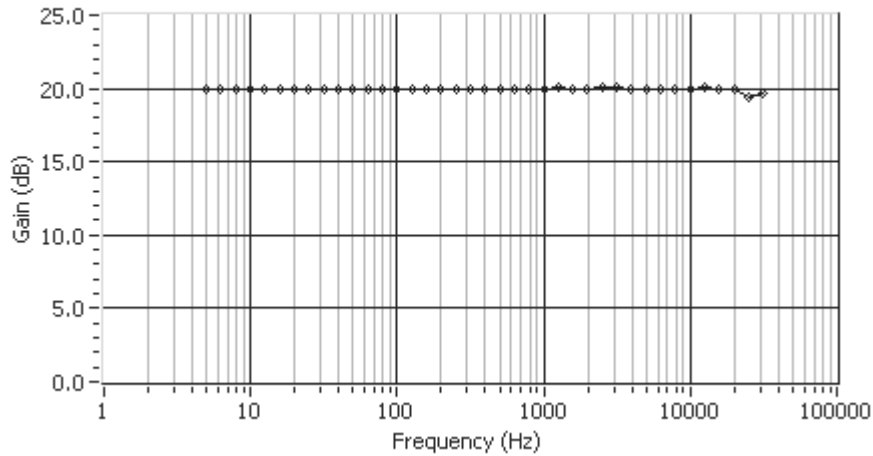


1. Con el NI Elvis, seleccione **Bode Analyzer**.
2. Conecte la señales de entrada  $V_1$  y de salida  $V_O$  a los sockets pin de entrada analógica como sigue:
  - $V_I \rightarrow$ ACH1+ (a partir de FUNCOUT) Ground  $\rightarrow$  ACH1-
  - $V_O \rightarrow$ ACH0+ (a partir de la salida del Op Amp) Ground  $\rightarrow$  ACH0-
3. En el Analizador de Bode, fije los parámetros como sigue:
  - Start: **5 (Hz)**
  - Stop: **50000 (Hz)**
  - Steps: **10 (per decade)**
4. De clic en **Run** y observe la gráfica de Bode para el circuito inversor.
5. Observe la respuesta de fase.

La ganancia es plana hasta aproximadamente 10,000 Hz, donde inicia la caída como se muestra en la gráfica. Esta curva es de esperarse, ya que la respuesta en frecuencia alta de un amplificador operacional depende de la ganancia del circuito en el límite de alta frecuencia. En este ejercicio se toma la curva como la gráfica de Bode para el amplificador operacional 741.



Connections: ACH0 - Signal ACH1 - FGEN FUNC\_OUT



## Ejercicio 4-4 Filtro Pasa Altas

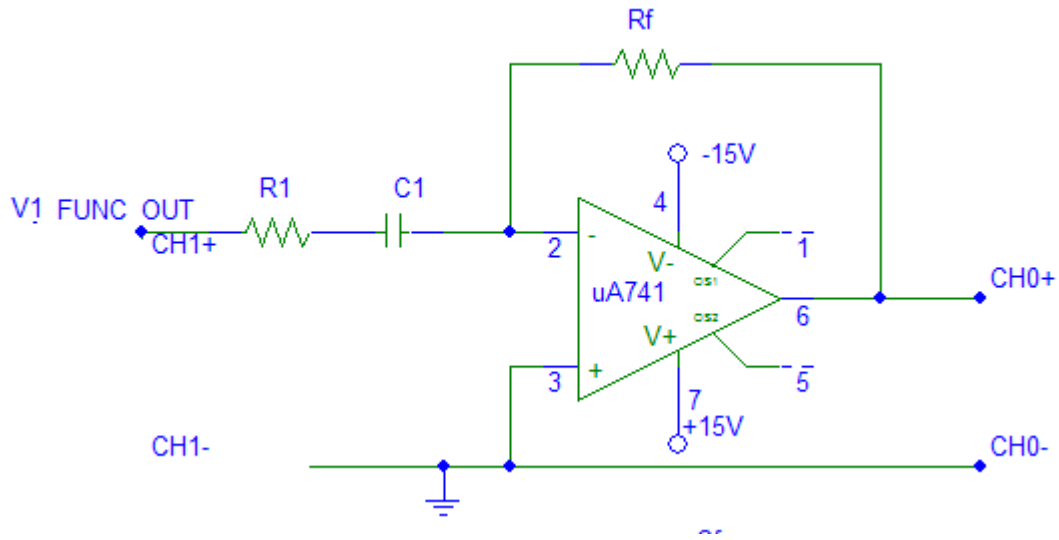
Complete los siguientes pasos para modificar el circuito amplificador operacional y realizar una medición de frecuencia.

1. Conecte un capacitor  $C_1$  de  $1 \mu\text{F}$  en serie con un resistor  $R_1$  de  $1 \text{ k}\Omega$ , como se muestra. La frecuencia de corte inferior filtro está dada por la ecuación:

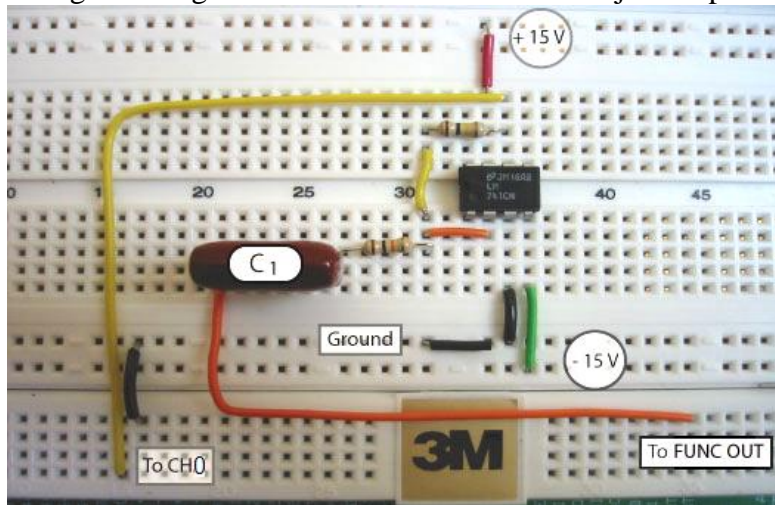
$$\omega_L = 2\pi f_L = \frac{1}{R_1 C_1}$$

La frecuencia de corte baja es donde la ganancia cae  $-3 \text{ dB}$ . Este punto ocurre cuando la impedancia del capacitor es igual a la del resistor.

$$R_1 = X_C = \frac{1}{\omega_L C_1}$$

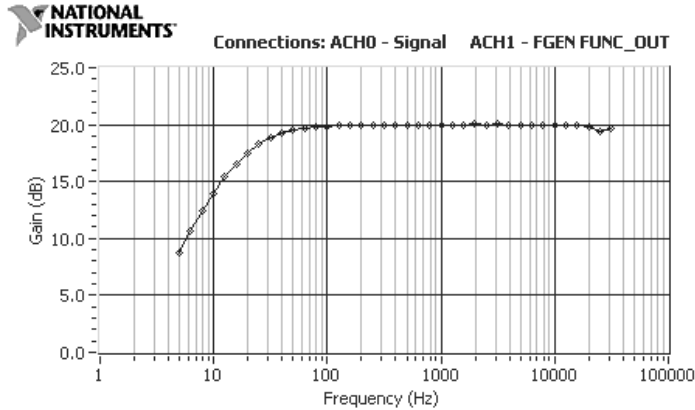


La siguiente figura muestra el circuito en la Tarjeta de prototipos.



2. De **Run** a una segunda gráfica de Bode usando los mismos parámetros que en el Ejercicio 4-3.

Observe que la respuesta en frecuencia a bajas frecuencias está atenuada mientras que a altas frecuencias es similar a la gráfica del amplificador operacional básico.



- Use el cursor para determinar la frecuencia de corte baja, que corresponde a cuando la amplitud cae -3 dB o el cambio de fase es 45°.
- Compare los resultados con los teóricos:

$$\omega_L = 2\pi f_L = \frac{1}{R_1 C_1}$$

## Ejercicio 4-5 Filtro Pasa Bajas

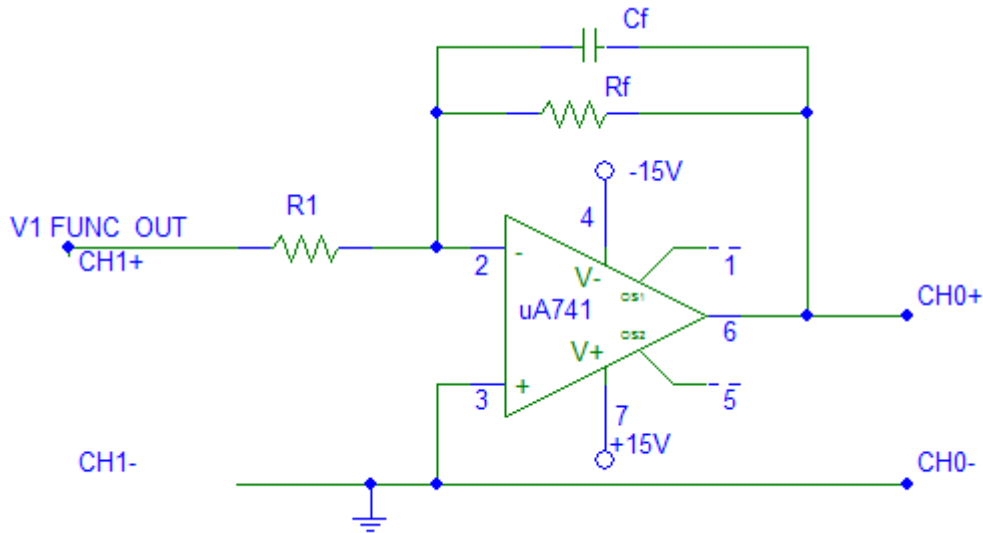
La caída de frecuencia alta en el circuito con amplificador operacional, se debe a la capacitancia interna del CI 741, la cual está en paralelo con el resistor  $R_f$ . Si se conecta un capacitor externo  $C_f$  de 0.01  $\mu\text{F}$  en paralelo con el resistor de realimentación  $R_f$ , se reduce la frecuencia de corte superior  $f_U$ :

$$\omega_U = 2\pi f_U = \frac{1}{R_f C_f}$$

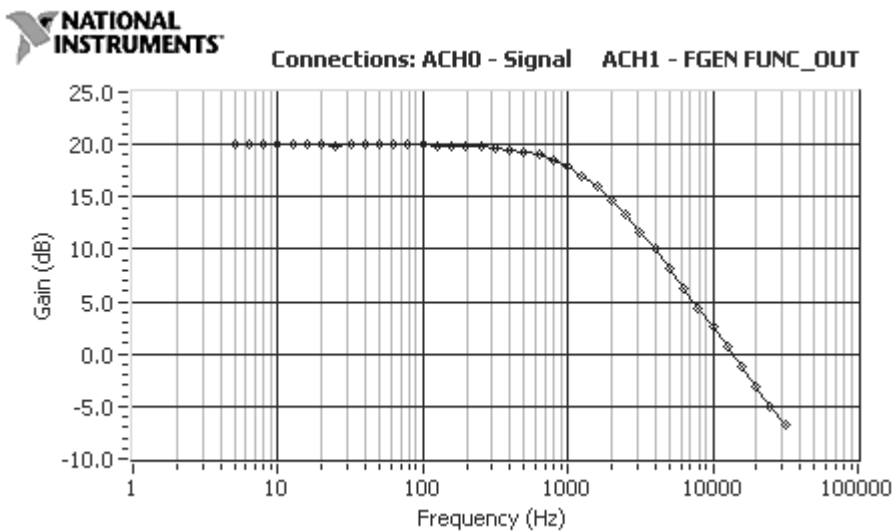
Complete los siguientes pasos para realizar la medición de frecuencia en circuito:

- Ponga en corto el capacitor de entrada (no lo quite, ya que se utilizará en el Ejercicio 4-6).
- Conecte un capacitor  $C_f$  de realimentación en paralelo con el resistor de realimentación de 100 k $\Omega$ .





3. De clic en **Run** en la gráfica de Bode usando los mismos parámetros.
4. Observe la respuesta en frecuencia y verifique que a altas frecuencia la respuesta de magnitud se atenúa, como es de esperarse.



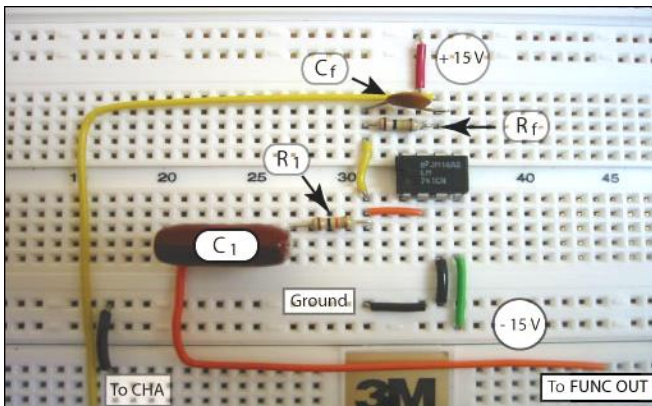
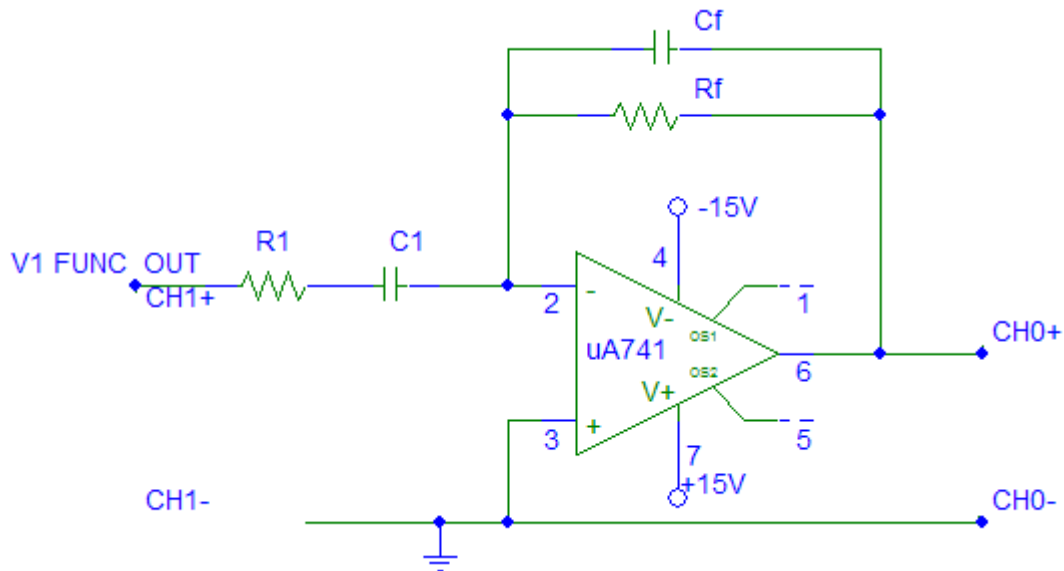
5. Use los cursores para determinar la frecuencia de corte alta, es decir la frecuencia correspondiente a la amplitud con -3 dB o el cambio de fase de 45°.
6. Compare el resultado con el valor teórico.

$$\omega_U = 2\pi f_U = \frac{1}{R_f C_f}$$

## Ejercicio 4-6 Filtro Pasa Banda

Si se conecta un capacitor de entrada y uno de realimentación en el circuito con amplificador operacional, la curva de respuesta corresponde a un filtro pasa banda teniendo una frecuencia de corte baja  $f_L$ , y una alta  $f_U$ . El intervalo de frecuencia ( $f_U - f_L$ ) es el ancho de banda.

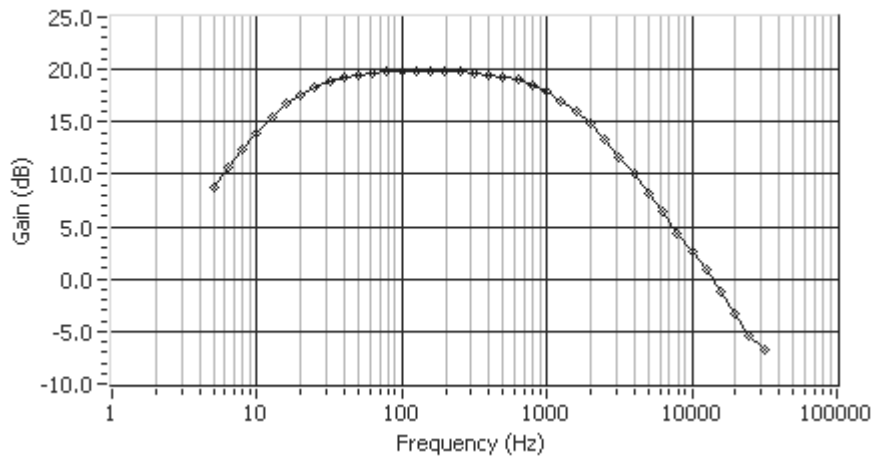
La siguiente figura muestra un filtro pasa banda en la Tarjeta de prototipos.



1. Conecte de nuevo el capacitor  $C_1$  del Ejercicio anterior y ejecute la gráfica de Bode con los mismos parámetros.
2. Verifique que la respuesta sea como la mostrada en la figura:



Connections: ACHO - Signal ACH1 - FGEN FUNC\_OUT



3. Dibuje una línea en 3 dB por debajo de la amplitud máxima, el intervalo de frecuencias contenidas por arriba de la línea define el ancho de banda. Calcule el ancho de banda para este filtro.

## Ejercicio Adicional 1

La curva de transferencia del circuito generalizado con amplificador operacional está dada por la ecuación

$$V_o = -\frac{Z_f}{Z_1} V_i$$

Donde las impedancias para los cuatro circuitos son:

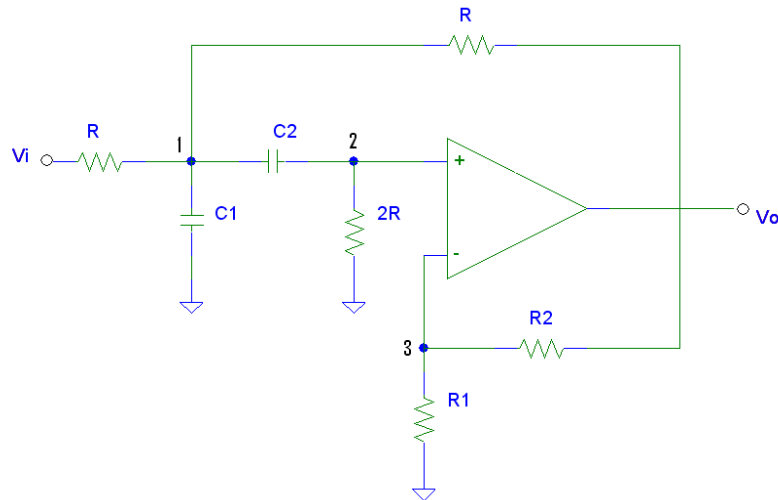
<i>Circuito con Amplitud Op</i>	$Z_f$	$Z_1$	<i>Ganancia</i>
Básico	$R_f$	$R_1$	$R_f/R_1$
Pasa Altas	$R_f$	$R_1 + X_{C1}$	$R_f / (R_1 + X_{C1})$
Pasa Bajas	$R_f + R_{Cf}$	$R_1$	$(R_f + R_{Cf}) / R_1$
Pasa Banda	$R_f + R_{Cf}$	$R_1 + X_{C1}$	$(R_f + R_{Cf}) / (R_1 + X_{C1})$

Para cualquier frecuencia, se puede usar el Analizador de Impedancia para medir  $Z_f$  y  $Z_1$ . Puede realizar un programa para calcular la razón de dos números complejos y obtener la ganancia  $|Z_f/Z_1|$ .

**Nota** También puede usar el Analizador de Impedancia para determinar en que valor  $R_1$  es igual  $X_{C1}$  y  $R_f$  es igual a  $X_{Cf}$  para verificar las frecuencias de corte a partir de la gráfica de Bode.

## Ejercicio Adicional 2

Verifique la operación de un filtro activo paso banda de segundo orden, cuyo circuito es el siguiente:



$$R = 1.2 \text{ k}\Omega$$

$$R1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R2 = 18 \text{ k}\Omega$$

$$C = C1 = C2 = 0.22 \mu$$

La frecuencia de central es  $\omega_0 = \frac{1}{RC}$  y la ganancia es  $K_0 = \frac{G}{3-G}$  y el Factor de calidad

$$\text{es } Q = \frac{1}{3-G} = \frac{R1}{2R1-R2}$$

Establezca las condiciones de prueba para observarlas en el Analizador de Bode.