

Práctica 7

FILTRADO DE SEÑALES

7.1. Objetivo de la práctica

En la última práctica se comprobará el funcionamiento de los filtros de primer orden que se han estudiado en la asignatura de Teoría de Circuitos.

Un filtro es un circuito que presenta un marcado comportamiento frecuencial, es decir, señales con distintas frecuencias se verán afectadas de distinta manera por un mismo filtro. El hecho de tener unos filtros de primer orden va a resultar en un comportamiento no muy selectivo en frecuencias, dicho de otra forma, que su característica no será muy similar a la ideal.

7.2. Material necesario para la práctica

Para el desarrollo de esta práctica es necesario el siguiente material:

- Generador de funciones HM 8131-2 y su latiguillo (BNC, cocodrilos).
- Osciloscopios modelos HM 407, HM 305 y las dos sondas correspondientes.
- Transformador.
- Resistencias y condensadores.

7.3. Desarrollo de la práctica

En el texto que tienen están descritos todos los pasos necesarios para el desarrollo de la práctica. El profesor realizará una pequeña introducción al principio del turno de laboratorio.

7.4. Conceptos básicos

7.4.1. Filtro paso-bajo

Un filtro paso bajo es aquél que, por encima de una frecuencia de corte dada, atenúa y desfasa la señal, a la vez que transmite sin alteración alguna las frecuencias inferiores a la de corte.

7.4.2. Filtro paso-alto

Un filtro paso alto es el que atenúa y desfasa las frecuencias situadas por debajo de una determinada frecuencia de corte y transmite por el circuito las situadas por encima de ésta sin alteración alguna.

7.4.3. Frecuencia de corte a 3 dB

La frecuencia de corte a 3 dB se define como aquella frecuencia en la que la potencia de la señal transmitida cae a la mitad de su valor máximo. Si se trabaja con voltajes (como van a trabajar en esta práctica) esto equivale a la frecuencia a la cual el módulo de la función de transferencia decae $\frac{1}{\sqrt{2}}$ veces de su valor máximo. *Siempre que en la realización de la presente práctica se les pida calcular una frecuencia de corte se referirá a la frecuencia de corte a 3 dB.*

7.5. Diseño de filtros

7.5.1. Diseño e implementación de un filtro paso bajo

Un filtro paso bajo sencillo puede construirse mediante una resistencia y un condensador como puede observarse en la Figura 7.1. La función de transferencia viene dada por la expresión:

$$H(\omega) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{N(\omega)}{D(\omega)} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (7.1)$$

Como se trata de una expresión compleja es interesante analizarla en módulo y fase. A continuación se muestran las expresiones del módulo tanto para escala natural:

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}} \quad (7.2)$$

como logarítmica (decibelios)

$$|H(\omega)| \text{ (dB)} = 20 \log(|H(\omega)|) \quad (7.3)$$

Por último, la fase de la función de transferencia corresponde con:

$$\angle H(\omega) = \angle N(\omega) - \angle D(\omega) = \arctan(-\omega RC) \quad (7.4)$$

Ejercicio 7.1. *Diseñe un circuito paso-bajo cuya frecuencia de corte a 3 dB sea de unos 5 kHz, y construya el circuito. Indique los valores obtenidos.*

NOTA: Recuerde de la práctica anterior que el generador de funciones presenta una impedancia de salida de 50 Ω . En consecuencia, tanto en este filtro como en los siguientes debe elegir resistencias cuyo valor sea suficientemente mayor que 50 Ω para que el efecto de dicha impedancia de salida sea despreciable.

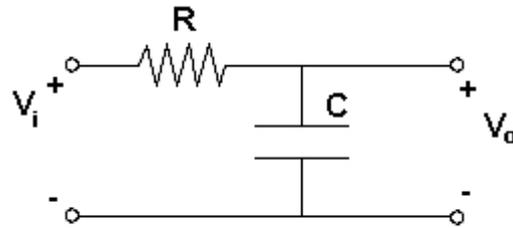


Figura 7.1: Filtro paso bajo de primer orden.

Tabla 7.1: Resultados obtenidos con el filtro paso bajo.

Frecuencia	50 Hz	500 Hz	2 kHz	5 kHz	10 kHz	50 kHz	500 kHz
V_i							
V_o							
$ H(\omega) $ (u.n.)							
$ H(\omega) $ (dB)							
$\angle H(\omega)$ ()							

Ejercicio 7.2. Utilice el generador de funciones para generar una senoide de amplitud $V = 10$ V pico-pico e inicialmente de 50 Hz de frecuencia. Utilice dicha señal como señal de entrada V_i del filtro que acaba de realizar. Visualice la señal de entrada V_i en el canal 1 del osciloscopio y la señal de salida V_o en el canal 2. Realice las medidas oportunas y rellene una tabla como la Tabla 7.1. En este caso no se han asignado unidades para la fase. Recuerde que la fase de la función de transferencia es el desfase del voltaje de salida con respecto al de entrada.

Ejercicio 7.3. Calcule experimentalmente la frecuencia de corte real del filtro. ¿Coincide con la teórica? ¿Por qué?

Ejercicio 7.4. Represente el módulo de la función de transferencia del filtro en unidades naturales, según la gráfica que se muestra en la Figura 7.2

Ejercicio 7.5. Es más habitual representar el módulo de la función de transferencia en unidades decibélicas, así que dibuje la gráfica en estas unidades siguiendo la Figura 7.3

Ejercicio 7.6. Represente la fase de la función de transferencia siguiendo la Figura 7.4. En este caso no se han asignado valores a las divisiones del eje vertical, de modo que las pueda adaptar a las unidades elegidas para representar la fase. En cualquier caso indique en la parte superior de la gráfica, al lado de la magnitud y entre paréntesis, la unidad seleccionada.

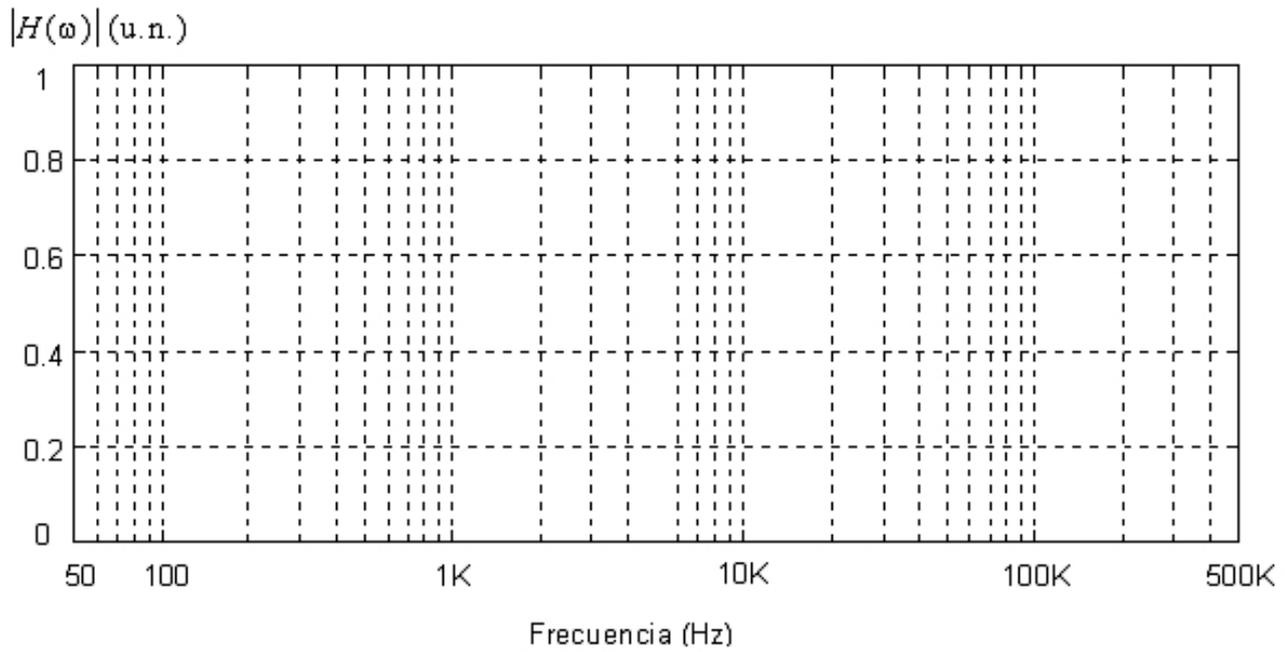


Figura 7.2: Función de transferencia en unidades naturales.

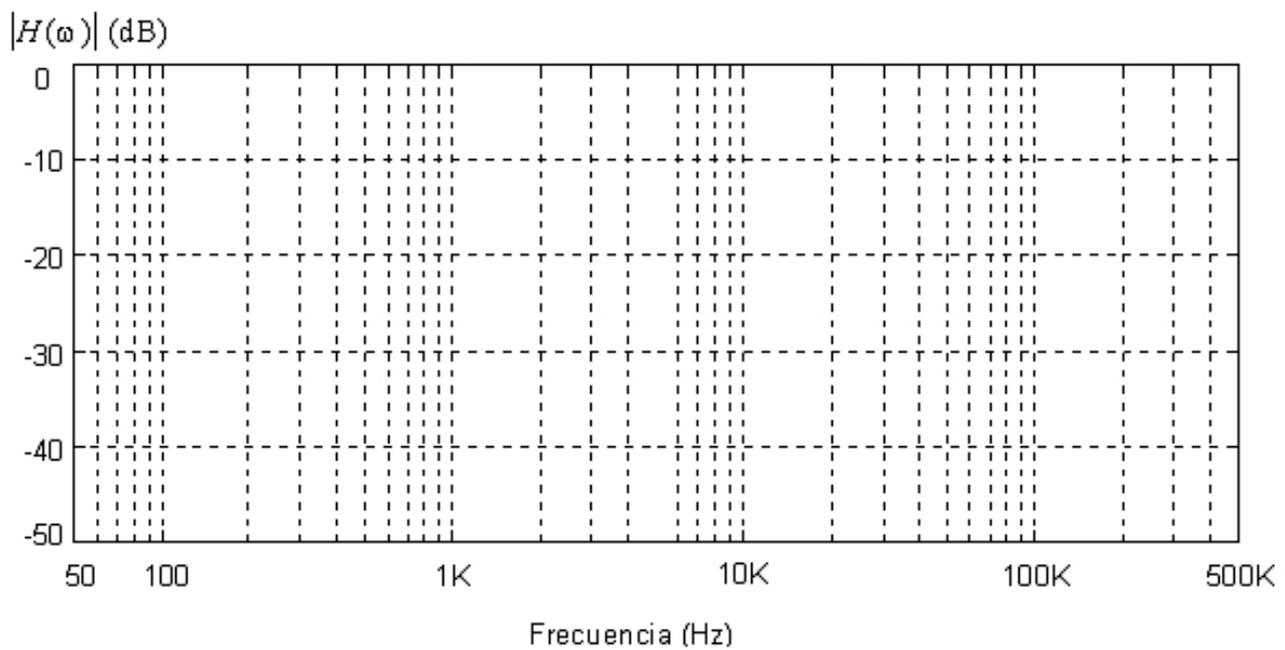


Figura 7.3: Función de transferencia en unidades logarítmicas.

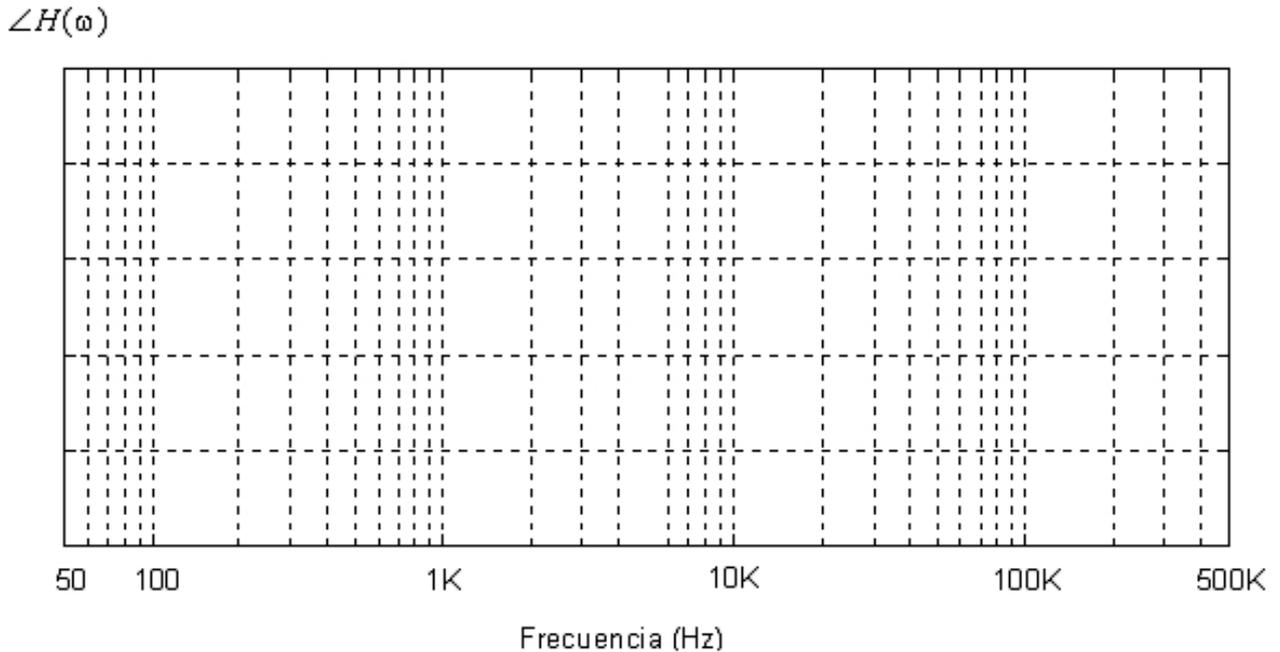


Figura 7.4: Fase de la función de transferencia.

7.5.2. Diseño e implementación de un filtro paso alto

Con una resistencia y un condensador también puede construirse un sencillo filtro paso alto siguiendo el esquema de la Figura 7.5. En este caso la función de transferencia viene dada por la expresión:

$$H(\omega) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{N(\omega)}{D(\omega)} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} \quad (7.5)$$

De nuevo debe analizarse separando módulo y fase. A continuación se muestran las expresiones del módulo tanto para escala natural :

$$| H(\omega) | = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}} \quad (7.6)$$

como logarítmica (decibelios)

$$| H(\omega) | (dB) = 20 \log (| H(\omega) |) \quad (7.7)$$

Por último, la fase de la función de transferencia, en radianes, corresponde con:

$$\angle H(\omega) = \angle N(\omega) - \angle D(\omega) = \frac{\pi}{2} - \arctan(\omega RC) \quad (7.8)$$

Ejercicio 7.7. *Elija los valores de R y de C para que la frecuencia de corte del filtro paso alto sea de unos 2 kHz, y construya el circuito.*

Ejercicio 7.8. *Utilice el generador de funciones para generar una senoide de amplitud $V = 10$ V pico-pico e inicialmente de 50 Hz de frecuencia. Siguiendo el mismo procedimiento que con el filtro paso bajo visualice realice las medidas oportunas y rellene la Tabla 7.2.*

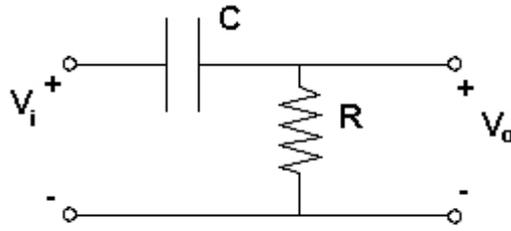


Figura 7.5: Filtro paso alto de primer orden.

Tabla 7.2: Resultados obtenidos con el filtro paso bajo.

Frecuencia	50 Hz	500 Hz	2 kHz	5 kHz	10 kHz	50 kHz	500 kHz
V_i							
V_o							
$ H(\omega) $ (u.n.)							
$ H(\omega) $ (dB)							
$\angle H(\omega)$ ()							

Ejercicio 7.9. Calcule experimentalmente la frecuencia de corte real del filtro. ¿Coincide con la teórica? ¿Por qué?

Ejercicio 7.10. Represente el módulo de la función de transferencia en unidades naturales (Figura 7.6).

Ejercicio 7.11. Represente el módulo de la función de transferencia en unidades decibélicas (Figura 7.7).

Ejercicio 7.12. Represente la fase de la función de transferencia (Figura 7.8).

7.6. Filtrado de señales.

Mediante la utilización de filtros se pueden eliminar señales en una determinada frecuencia, seleccionando así sólo aquellas que nos interesan. Realmente esto es lo que están haciendo cada vez que sintonizan un canal de radio o de televisión. Cada cadena emite centrada en una determinada frecuencia. Al manipular el dial se están modificando las características de un filtro interno del aparato de manera que únicamente una emisora llega con suficiente potencia al dispositivo detector y por tanto al altavoz, como se muestra en la Figura 7.9. En este apartado vamos a tratar de ilustrar este proceso utilizando únicamente dos señales de distintas frecuencias: una senoide de 50 Hz (proporcionada por el transformador) y otra senoide de 50 kHz (que obtendrán del generador de funciones).

Más concretamente, deberán realizar el montaje que se muestra en la Figura 7.10. Como pueden observar está compuesto por:

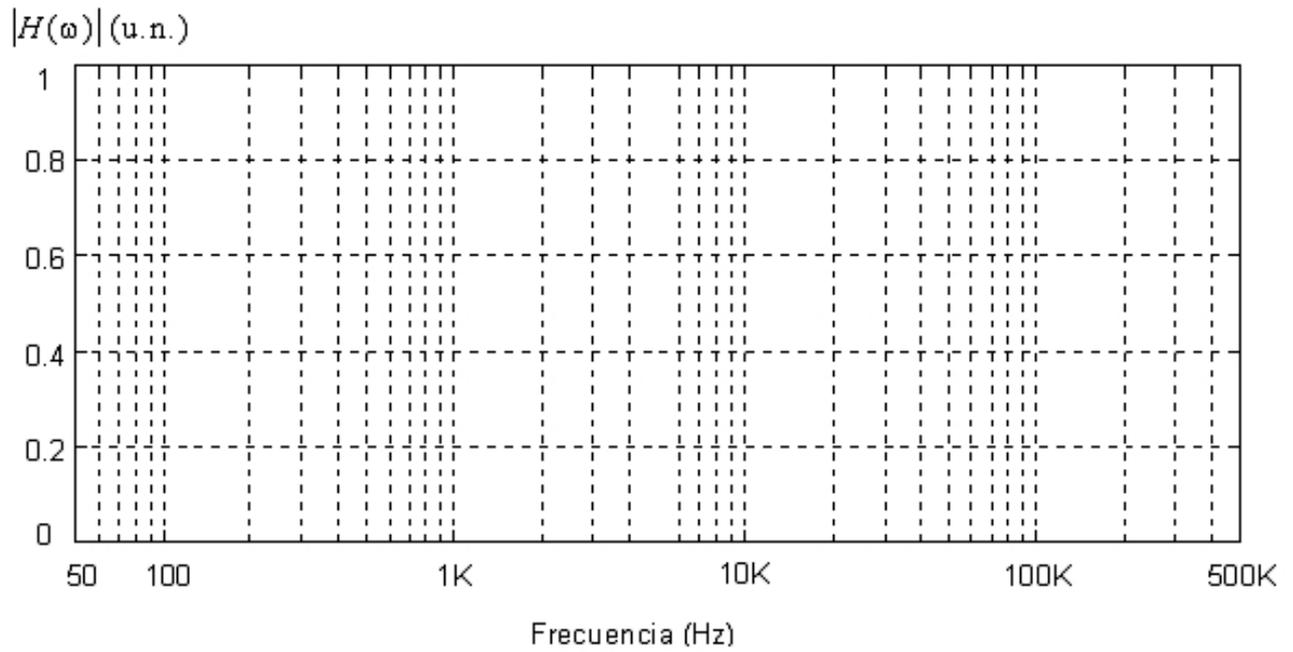


Figura 7.6: Función de transferencia en unidades naturales.

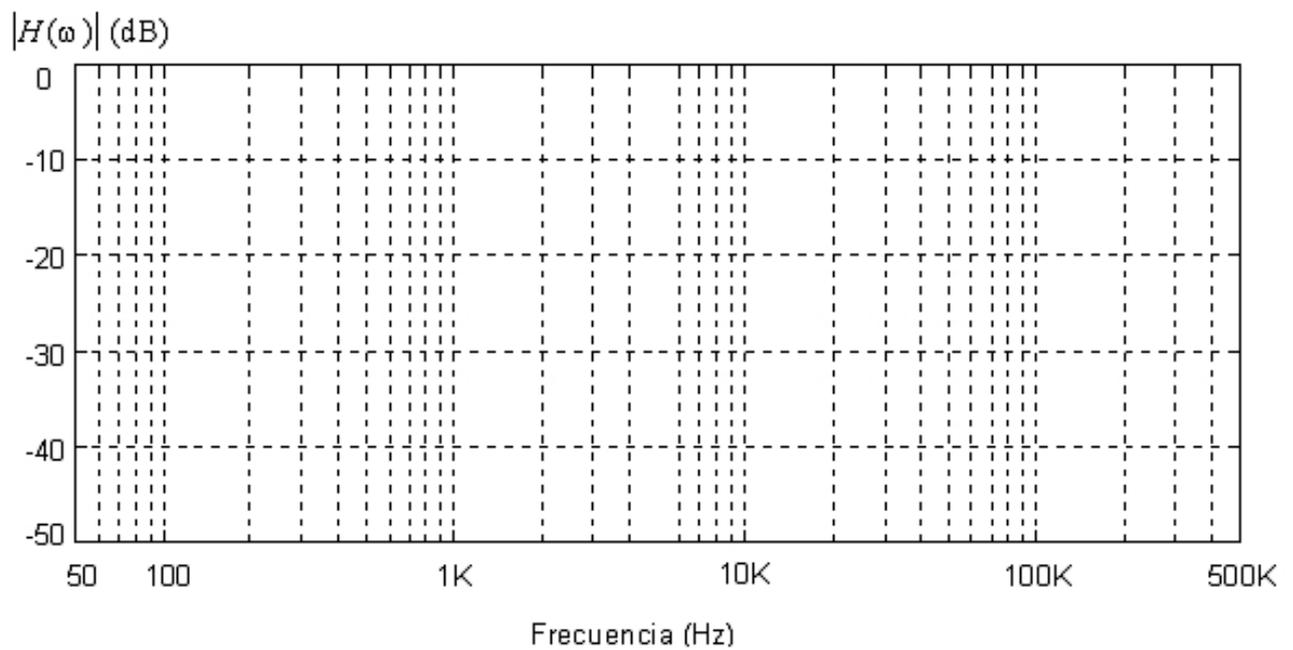


Figura 7.7: Función de transferencia en unidades logarítmicas.

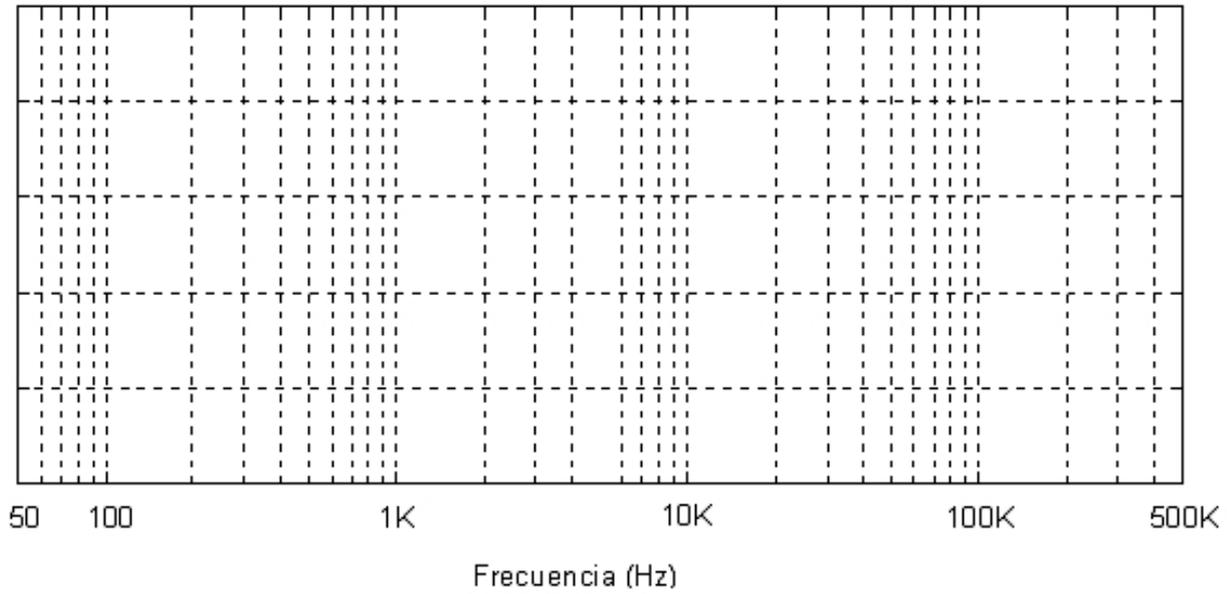
$\angle H(\omega)$ 

Figura 7.8: Fase de la función de transferencia.

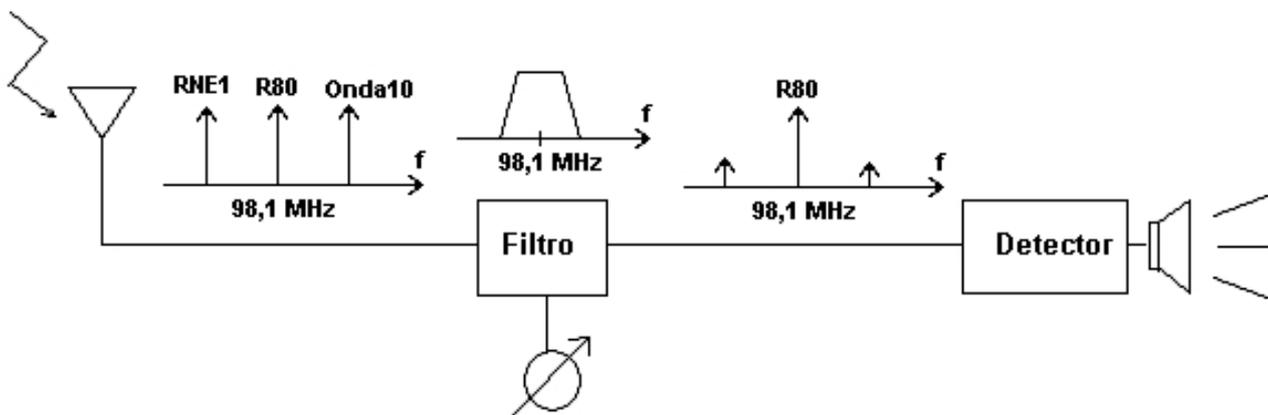


Figura 7.9: Proceso de sintonización de una emisora específica.

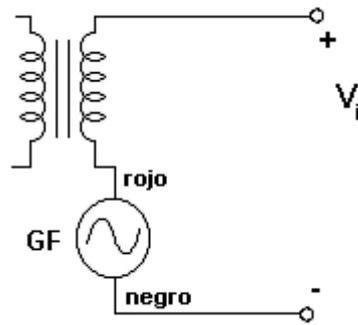


Figura 7.10: Montaje para obtener dos señales de diferentes frecuencias.

- El transformador para que proporcione la señal de baja frecuencia.
- El generador de funciones para que proporcione la señal de alta frecuencia (seleccionen 10 voltios pico-pico y 50 kHz de frecuencia).

Asocien en serie el generador de funciones y el transformador siguiendo las indicaciones de la Figura 7.10 respecto a los cocodrilos del generador de funciones.

¡MUY IMPORTANTE!

CUIDADO CON LA CONEXIÓN. Cuando utilicen el osciloscopio, los cocodrilos negros del mismo deben estar al aire o bien conectados con el cocodrilo negro del generador de funciones (mejor esto último). **¡NO LOS CONECTEN EN OTRO SITIO!** En caso de duda, consulten al profesor.

De esta forma, la señal que se obtiene está compuesta por un primer sumando que corresponde a la señal que proporciona el transformador y un segundo que es la señal entregada por el generador de funciones.

Ejercicio 7.13. *Observe y dibuje la señal V_i utilizando el osciloscopio. No olviden indicar la sensibilidad y base de tiempos utilizada. Calcule, a partir de su representación la frecuencia de dicha señal. Se trata de una señal "ruidosa", que debe resultar similar a la de la Figura 7.11, y que no corresponde exactamente con ninguna de las sinusoides que la forman. En efecto, lo que se aprecia es una senoide de baja frecuencia que presenta un rizado.*

Ejercicio 7.14. *Haga un zoom en el eje de tiempos (disminuya la escala de ms/div) para ver qué es realmente la zona "oscura". Tras "jugar" un poco con el trigger, se apreciará que el rizado se trata de una senoide de frecuencia elevada debido a lo cuál se ve así de negro. Mida la amplitud de este rizado y su frecuencia.*

Resumiendo, como se ha podido comprobar, la señal $V_i(t)$ se puede considerar una senoide de 50 Hz que presenta un rizado de 50 kHz.

7.6.1. Eliminación de la interferente de 50 kHz.

En este apartado vamos a suponer que la señal que nos interesa es la de 50 Hz. El objetivo es eliminar la señal de 50 kHz (que suponemos se trata de una interferencia) y analizar en qué medida se logra esto. Para ello van a utilizar uno de los dos circuitos que han montado en los apartados anteriores.

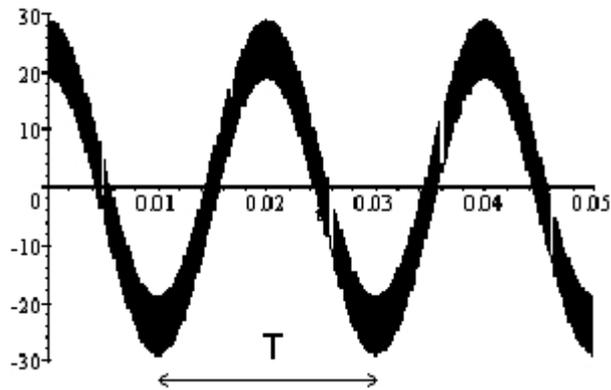


Figura 7.11: Resultado de la suma de ambas señales.

Ejercicio 7.15. *¿Qué filtro, de entre los dos que ha construido hasta ahora, piensa que debe utilizar? ¿Por qué razón?*

Filtren, mediante el circuito que han elegido en el ejercicio anterior, la señal V_i proporcionada por el generador de funciones en serie con el transformador. Utilicen el osciloscopio para ver las señales a la entrada y a la salida.

- En el CH1 visualicen la señal de entrada.
- En el CH2 visualicen la señal de salida.

Comprueben los mandos del trigger en cada paso, ya que tendrán que utilizarlo para poder ver correctamente las señales.

Análisis cualitativo del filtro

Ejercicio 7.16. *Coloque, tanto el canal 1 (entrada) como el canal 2 (salida), en la misma escala. Ponga el osciloscopio en el modo adecuado para ver simultáneamente la señal a la entrada y a la salida. También puede ser conveniente que conmute entre el canal 1 y canal 2 para ver mejor el cambio que ha experimentado la señal. A simple vista, ¿qué señal tiene a la salida? ¿qué ha ocurrido con el rizado?*

Análisis cuantitativo del filtro.

Ejercicio 7.17. *Utilizando los datos de la tabla 1 ó 2 (dependiendo del filtro elegido) estime qué señal se va a obtener, calculando las amplitudes de las dos sinusoides, deseada (50 Hz) e interferente (50 kHz), a la salida del filtro.*

Ejercicio 7.18. *Compruebe utilizando el osciloscopio qué señal tiene realmente a la salida. Anote la amplitud y la frecuencia.*

Ejercicio 7.19. *Haga un zoom del eje de tiempos. Observe que todavía existe un pequeño rizado. ¿Por qué?. Averigüe su amplitud y su frecuencia.*

Ejercicio 7.20. *¿Coincide la señal que ha estimado con la señal real? ¿En qué medida cree que se ha cumplido el objetivo de eliminar la señal interferente? Si la interferencia hubiera sido de 100 kHz, ¿Habría mejorado o empeorado el resultado? ¿Y si hubiera sido de 10 kHz? ¿Qué relación puede establecer con la frecuencia de corte del filtro?*

Ejercicio 7.21. *Rediseñe el filtro utilizado para tratar de eliminar mejor la señal interferente de 50 kHz. (Pista: varíe la frecuencia de corte del filtro). Indique los nuevos parámetros de resistencia y capacidad elegidos y con qué fin los ha variado. Anote la amplitud de la señal deseada y la interferente a la salida y compárelos con los obtenidos con el filtro anterior.*

7.6.2. Filtros Paso Banda / Banda eliminada

A partir de las características de los filtros paso bajo y paso alto que ha aprendido en esta práctica podría intentar diseñar un filtro paso banda, es decir, un filtro que transmita las frecuencias que se encuentran entre un determinado rango, y elimine el resto. En este tipo de filtros existen dos frecuencias de corte a 3 dB, una inferior f_{c_1} y una superior f_{c_2} que delimitan la banda de paso. El filtro banda eliminada realiza la función contraria, es decir, elimina las frecuencias de un determinado intervalo, entre las dos frecuencias de corte, transmitiendo el resto.

Ejercicio 7.22. *Supongamos que aplica a una señal un filtro paso alto y a la señal que obtiene a la salida la hace pasar por un filtro paso bajo, ¿Cómo debería diseñar la frecuencia de corte del filtro paso alto y del filtro paso bajo para conseguir un filtro paso banda, es decir, cuál debería ser mayor? Indiquen el esquema circuital del filtro resultante, de forma análoga a los representados en las figuras 7.1 y 7.5 para los filtros paso bajo y paso alto.*

Ejercicio 7.23. *Diseñe el valor de los componentes de los dos filtros anteriores para conseguir un filtro paso banda con banda de paso de frecuencias entre 1 kHz y 6 kHz.*

Ejercicio 7.24. *¿Se podría colocar primero el filtro paso bajo y después el paso alto? En caso afirmativo, ¿sería válido el diseño de parámetros anterior o se debería modificar?*

Ejercicio 7.25. *Expliquen cómo diseñarían un filtro banda eliminada.*