

Análisis de la respuesta frecuencial de un filtro pasa-banda mediante Labview (Instrumentación GPIB)

Eduardo Azcona Soria, Jorge Torres Lobera, Pedro Rodríguez Riquero

Asignatura: Instrumentació Electrònica II

A lo largo del documento veremos como se puede obtener la respuesta en frecuencia de un filtro pasa-banda. Se explicará el programa principal, los subprogramas creados para facilitar la estructuración y una serie de pruebas gráficas.

VIII. DISEÑO DEL FILTRO

En primer lugar y antes de presentar nuestro filtro y sus características más importantes, debemos recordar que un filtro electrónico es un circuito que altera la amplitud y la fase de una señal de entrada en función de su frecuencia para poder amplificar o atenuar señales dentro de un determinado rango de frecuencias.

En nuestro caso decidimos utilizar un filtro activo que permiten ajustar la ganancia con un valor superior a la unidad. A continuación, presentaremos el circuito y la función de transferencia obtenida (Ec.1):

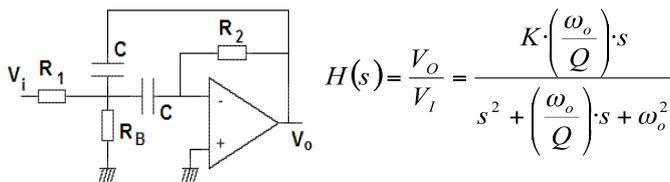


Fig. 1.1 Filtro pasa banda activo

$$H(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{K \cdot \left(\frac{\omega_o}{Q}\right) \cdot s}{s^2 + \left(\frac{\omega_o}{Q}\right) \cdot s + \omega_o^2}$$

$$H(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-\left(\frac{1}{R_1 \cdot C}\right) \cdot s}{s^2 + \frac{2}{R_2 \cdot C} \cdot s + \frac{R_1 + R_B}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_B \cdot C^2}} \quad \text{Ec. 1}$$

Como podemos observar, podremos determinar los distintos parámetros que definen nuestro filtro pasa-bandas: ganancia K del filtro, frecuencia de corte ω_o , factor de calidad del filtro Q y ancho de banda del filtro BW . Una vez obtenidas las expresiones y asignados valores a dichos parámetros, podremos aislar el valor de los componentes.

$$\omega_o = 2,0788 \cdot 10^4 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad f_o = 3308 \text{Hz}$$

$$Q = 5 \quad BW = 636,62 \text{Hz} \quad K = 3 \quad C = 15 \text{nF}$$

$$R_1 = -\frac{Q}{\omega_o \cdot K \cdot C} \approx 5,6 \text{k}\Omega \quad R_2 = \frac{2 \cdot Q}{\omega_o \cdot C} \approx 33 \text{k}\Omega \quad \text{Ec. 3}$$

$$R_B = \frac{Q}{\omega_o \cdot C \cdot (2 \cdot Q^2 + K)} \approx 314 \Omega$$

Una vez obtenidas todas las expresiones, el funcionamiento ideal del circuito se corresponderá con la figura 1.2. Cuanto mayor sea la calidad del filtro, podremos obtener un rango más restringido de frecuencias. En nuestro caso, el factor de calidad es igual a 5, puesto que

no se pretende implementar un filtro excesivamente selectivo en ancho de banda.

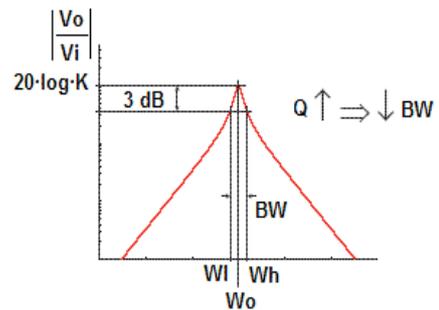


Fig. 1.2 Representación del filtro pasa banda

Antes de comenzar a describir cada uno de los indicadores y controles existentes en nuestro panel frontal así como el propio programa, debemos decir que el entorno de programación de LabVIEW se basa en la programación gráfica o lenguaje G; debido a ello, los indicadores y controles que introduzcamos en el panel frontal nos permitirán poder observar el valor de variables, gráficas, indicadores o controles de estado mientras se ejecuta el programa.

IX. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROGRAMA

El objetivo del programa es el de proporcionar información relevante sobre las características de un filtro pasa banda. En particular es capaz de realizar las siguientes funciones:

- Gráfica con el módulo de la respuesta frecuencial
- Gráfica con la fase de la respuesta frecuencial
- Ancho de banda
- Frecuencia de resonancia
- Factor de calidad
- Generación de un fichero con los datos obtenidos en el módulo de la respuesta frecuencial
- Selección entre escala logarítmica o lineal
- Selección de la frecuencia inicial, final y número de pasos del barrido frecuencial
- Selección de la amplitud de la onda de entrada

Para implementar todos los puntos se ha creado un VI principal separado por un bloque "sequence" que lo divide en cuatro partes. Cada una de ellas se encuentra claramente diferenciada por el conjunto de acciones que incorpora, tal y como se puede ver en la Figura 2.1.



Fig. 2.1 Estructura del programa principal

La primera parte se encarga de inicializar todos los instrumentos a utilizar (Generador de funciones, multímetro y osciloscopio).

El segundo paso se caracteriza por incorporar un bloque “for”, en el cual se realiza el barrido de frecuencias, el cálculo de la fase y la medida de la magnitud. Al finalizar las iteraciones, que coinciden con el número de pasos a muestrear, tendremos tres matrices, una con las frecuencias, otra con la magnitud y la última con la fase. Para implementar estas funcionalidades, se han creado tres subvi, uno que calcula el desfase temporal para cada frecuencia, otro encargado de controlar el generador de funciones y un tercero cuya función se reduce a controlar la adquisición de la amplitud de la onda de salida, como veremos más adelante. Finalmente, se grafican los conjuntos de pasos obtenidos y se obtiene la frecuencia angular central (f_0).

En la tercera parte se cierran los instrumentos que ya no utilizaremos (multímetro y generador) y se preparan los cálculos para obtener el ancho de banda. Para ello, creamos una estructura iterativa, que se ejecuta tantas veces como número de pasos contenga el barrido frecuencial, recorriendo las amplitudes hasta obtener “fo-3db”, es decir, “fh” y “fl”.

En último paso se calcula el ancho de banda y el factor de calidad, con los valores recibidos anteriormente. Finalmente, se genera un fichero con los datos obtenidos en el módulo de la respuesta frecuencial, del paso dos. Para ello, se abre un fichero, se escribe en él mediante una estructura iterativa y se cierra.

Estos cuatro pasos conforman la totalidad del programa y una vez ejecutados, se vuelve a repetir el ciclo tantas veces como queramos.

X. DESCRIPCIÓN DEL PANEL FRONTAL

Por lo que respecta a nuestro panel frontal, podríamos dividirlo en cuatro partes:

En primer lugar, disponemos de una serie de controles numéricos, tanto de pestaña como de rueda, que nos permiten controlar: la amplitud de la onda de entrada, el número de pasos a evaluar y la frecuencia inicial y final del análisis. También disponemos de un indicador que nos permite saber para qué frecuencia se está ejecutando el programa.

En segundo lugar, disponemos de dos gráficos en los cuales representaremos la magnitud y la fase. También disponemos de un interruptor, que nos permite determinar la escala de frecuencia de la magnitud; logarítmica o lineal.

En tercer lugar, disponemos de una serie de controles de pestaña que nos permiten controlar la acción a realizar: leer o escribir, sobre un archivo determinado por otro controlador que nos permite introducir el ‘path’ de dicho archivo.

En cuarto lugar, disponemos de cinco indicadores numéricos: frecuencia de resonancia, ancho de banda, frecuencia inferior y superior del ancho de banda y factor de calidad. La figura 3.1 muestra nuestro panel frontal.



Fig. 3.1 Panel frontal

XI. CONTROL DEL MULTÍMETRO Y GENERADOR DE FUNCIONES (SUBVI)

El control de los instrumentos viene facilitado por las librerías que nos proporcionan los fabricantes.

En el caso del generador, una vez inicializado, se habilita la salida y se permite su control, introduciendo los parámetros de la onda a generar.

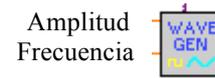


Fig. 4.1 Bloque del generador de funciones

El multímetro, después de inicializarse y especificarse el tipo de señal a leer, en nuestro caso AC, se limita a proporcionar la medida en cuestión.



Fig. 4.2 Bloque de lectura del multímetro

XII. OBTENCIÓN DE LA FASE DE LA RESPUESTA FRECUENCIAL

Con la obtención de la respuesta en magnitud y fase del circuito a analizar, disponemos de información suficiente como para decidir si será útil en nuestro sistema final. Este estudio es imprescindible para elegir los filtros y amplificadores a incorporar.

R. Planificación

Al la hora de estudiar la respuesta frecuencial de un filtro, es esencial conocer su respuesta en magnitud, es decir, la atenuación que sufre a lo largo del barrido frecuencial, no obstante, en muchas ocasiones también puede ser de gran utilidad la fase. De este modo obtendremos el desfase de la onda de salida respecto a la de entrada, o lo que es lo mismo, el desplazamiento temporal que sufre la salida respecto a la entrada.

Para realizar un estudio de la fase mediante Labview nos haremos valer de la siguiente expresión:

$$Fase(^\circ) = 360^\circ \cdot dT(seg) \cdot freq(Hz) \quad \text{Ec.4}$$

La ecuación 4 es una relación a partir de la cual obtener la respuesta en fase para una determinada frecuencia. Si

analizamos detenidamente la expresión, nos guiará a la hora de planificar el proceso de implementación. Vemos esquemáticamente los puntos a seguir:

1. Configurar mediante Labview los canales del osciloscopio.
2. Adquirir la onda de salida y entrada mediante un osciloscopio de dos canales.
3. Transmitir las señales capturadas hacia el ordenador para su posterior procesamiento.
4. Determinar los pasos por cero de la señal.
5. Comprobar que los pasos por cero hayan sido iguales en las dos señales (de positivo a negativo o viceversa).
6. Asegurarse que en ningún caso el desfase temporal sea mayor a un periodo.
7. Aplicar la ecuación 1.
8. Cuando tenemos la matriz de valores de fase, graficarlos en función de la frecuencia.

S. El programa principal

Una vez definidos los pasos a seguir, hay que adentrarse en la programación que debe llevarse a cabo para la implementación del módulo. Existen dos posibilidades, utilizar bloques predefinidos proporcionados por los fabricantes, o implementar manualmente dicha funcionalidad. En nuestro caso, elegimos la segunda opción, ya que de este modo teníamos un mayor control sobre el proceso que se estaba llevando a cabo. Para ello, creamos un Subvi, cuyas entradas provienen de la inicialización del instrumento (osciloscopio), y como salida proporciona el desfase temporal $dt(seg)$:



Fig. 5.1 Bloque de desfase temporal

En el programa principal, introduciremos este bloque, que implementa los seis primeros pasos expuestos anteriormente. Seguidamente, aplicaremos los pasos 7 y 8, que se reducen a introducir dos bloques de multiplicación y a la representación de los dos arrays (fase y frecuencia) en un gráfico.

T. Subvi "dt"

El subvi se divide en tres partes, que se ejecutarán secuencialmente.

La primera, una vez inicializado el instrumento, realiza un autoajuste del osciloscopio junto con el posicionamiento en el origen del eje vertical de la onda y la adquisición de las ondas del canal uno y dos.

La segunda parte de la estructura recibe las dos matrices de onda (entrada y salida) y calcula el punto en que la onda de entrada realiza la transición por cero de positivo a negativo. Ya que la onda de salida no se posiciona en el cero del eje vertical, debemos calcular cual es "su cero", obteniendo el valor máximo, el mínimo y dividiendo su diferencia entre dos.

En la tercera parte, obtendremos el índice del paso por "cero" de la segunda onda. Imponiendo la condición de que sea de positivo a negativo y con un índice superior a la onda de entrada, asegurándonos que se coge siempre el

inmediatamente posterior cuyo cambio de signo sea idéntico.

En el procesamiento de las dos ondas, lo que obtenemos es el punto en que se ha producido el paso por cero, conociendo el espacio temporal existente entre cada punto, sabremos mediante una simple multiplicación el desfase expresado en segundos entre las dos ondas para una determinada frecuencia.

XIII. OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE LA RESPUESTA FRECUENCIAL

En este apartado se detallarán los pasos seguidos para la obtención y representación del módulo de la respuesta frecuencial correspondiente al filtro pasa-banda que hemos realizado.

En el primer "frame", realizamos una serie de operaciones que pueden parecer simples a primera vista pero que nos resultan imprescindibles a la hora de manipular los diferentes instrumentos, se trata de las inicializaciones de los mismos, las cuales nos pondrán en funcionamiento la comunicación con los instrumentos y nos permitirán configurarlos de acuerdo con las operaciones que deseemos realizar.

Por lo que respecta al segundo "frame", hay que decir que es el lugar en el que se encuentra la operación en si, la cual pasaremos a explicar. Para la obtención de la magnitud será necesaria la definición de una serie de parámetros, la amplitud de la señal de entrada, el número de pasos a muestrear de la señal de salida, el formato de la escala a muestrear (lineal o logarítmica) y las frecuencias de muestreo alta y baja.

Definiremos una estructura "for", que nos realizará las operaciones, un número 'N' de veces, en nuestro el valor del número de pasos a muestrear. El primer paso será calcular la frecuencia de la señal de entrada a muestrear mediante una ecuación cuyos parámetros de entrada serán el número de pasos a muestrear y las frecuencias alta y baja. Cabe decir que hemos incorporado una estructura "case" que nos realizará la ecuación para la obtención de los valores de escala lineales o logarítmicos dependiendo de el valor del switch incorporado en el panel frontal.

Una vez obtenida la frecuencia a muestrear pasaremos a indicársela al generador de funciones para que nos genere la onda correspondiente, la cual haremos pasar a través del filtro para muestrear la salida. Este muestreo de la salida será precisamente el siguiente paso a realizar.

Los dos pasos explicados anteriormente los realizaremos mediante dos bloques "subVi" anteriormente explicados y en el interior de los cuales configuramos los parámetros del multímetro y del generador de señales la cual le introduciremos el valor de la frecuencia a muestrear y la amplitud de la señal mediante patillas de entrada.

Una vez tenemos el valor de la amplitud de la señal muestreada en RMS pasaremos a convertirla para poder representar el bode.

Este proceso lo repetiremos para todos los intervalos de muestreo mediante la estructura "while", la cual nos dará un array de salida con todos los valores, los cuales graficaremos en función de las frecuencias muestreadas para obtener el diagrama de bode de la ganancia.

En el siguiente “frame” procederemos a cerrar la comunicación con el generador y el multímetro mediante los bloques “close”.

XIV. ANCHO DE BANDA (‘BW’), FRECUENCIA DE RESONANCIA (‘F0’) Y FACTOR DE CALIDAD (‘Q’)

En nuestro programa hemos incorporado la obtención de una serie de parámetros tales como la frecuencia de resonancia, el ancho de banda y el factor de calidad.

La frecuencia de resonancia será aquella para la cual el diagrama de bode de la ganancia obtiene el valor máximo. Por ello, para su obtención hemos hecho uso de un bloque estadístico que nos calculará el índice en el cual se encuentra el valor máximo de ganancia a partir de la señal de las ganancias. Una vez tenemos el índice del máximo, pasaremos a buscarlo en las frecuencias de entrada, la seleccionada será la frecuencia de resonancia.

Para la obtención del ancho de banda, hemos aprovechado el mismo bloque que para el cálculo de la frecuencia de resonancia, al cual le hemos incorporado una nueva salida que nos facilitará el máximo valor de resonancia en dB. Una vez obtenido dicho valor, realizaremos una serie de operaciones con él para determinar el ancho de banda.

En primer lugar, le restaremos 3 dB’s a dicho valor e iremos muestreando los valores de la ganancia hasta obtener un valor mayor a éste, tras almacenar ese valor pasaremos a buscar un valor que sea menor a la frecuencia de resonancia menos 3 dB’s y pasaremos a almacenarlo también. De este modo hemos obtenido los límites superior e inferior del ancho de banda el cual obtendremos realizando la resta de ambos.

Una vez tenemos el ancho de banda y la frecuencia de resonancia podemos pasar a calcular el factor de calidad “Q”, que vendrá definido por la división entre la frecuencia de resonancia y el ancho de banda (f_0/BW).

Todos los valores calculados en este apartado quedarán representados mediante indicadores en el panel frontal.

XV. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este apartado veremos los resultados obtenidos tras ejecutar el programa con nuestro filtro pasa banda:

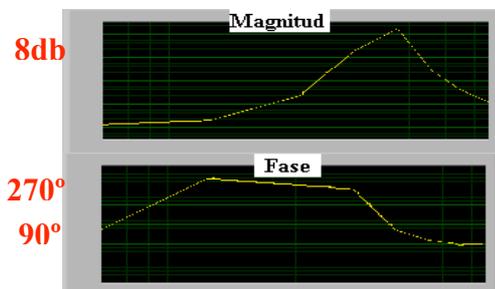


Fig. 8.1 Bloque de desfase temporal

Como podemos ver en la figura 8.1, en la representación de la magnitud, la frecuencia de resonancia se encuentra cercana a los 3308Hz. En este punto la ganancia es cercana a los 8,68db ($K=2.71$).

La fase, a partir del segundo paso se comporta como cabía esperar, tenemos un filtro con un cero en el origen, por lo que debe empezar en -90° , o lo que es lo mismo, 270° . Al estabilizarse tras pasar por la década posterior al último polo, bajamos 180° , hasta los 90° .

Por último, mostraremos el fichero (.txt), en donde se guardan los datos de la respuesta frecuencial (magnitud) :

Frecuencia (Hz)	Amplitud (db)
2000,000000	-6,161716
2188,574761	-4,504971
2394,929742	-2,560095
2620,741394	-0,197813
2867,844235	2,787480

XVI. CONCLUSIONES

Hemos podido ver como controlar instrumentos de medida y generación mediante GPIB. La programación visual de Labview facilita su implementación y resulta muy aconsejable segmentar el programa mediante subvi que doten al programa principal de claridad.

En cuanto a los resultados obtenidos, han sido similares a los impuestos analíticamente. Estas diferencias se deben a las no idealidades del circuito unido a la imposibilidad de obtener los componentes con el valor exacto obtenido mediante las expresiones analíticas.

AGRADECIMIENTOS

Esta asignatura ha sido impartida por los profesores Jaume Verd, Bartomeu Alorda y Vicenç Canals (ETG – Departamento de Física de la UIB).

REFERENCIAS

- [22] http://www.uib.es/depart/dfs/GTE/education/industrial/ins_electronica_1/index.htm.
- [23] LabView 6i : programación gráfica para el control de instrumentación / Antonio Manuel Lázaro.
- [24] LabVIEW for data acquisition / Bruce Mihura
- [25] Instrumentación electrónica / Miguel A. Pérez García



Eduardo Azcona Soria (Pamplona, 1987) es estudiante de tercer curso de Ingeniería Técnica Industrial (esp. Electrónica Industrial) en la UIB.



Jorge Torres Llobera (Palma de Mallorca, 1987) es estudiante de tercer curso de Ingeniería Técnica Industrial (esp. Electrónica Industrial) en la UIB.



Pedro Rodríguez Riquero (Palma de Mallorca, 1987) es estudiante de tercer curso de Ingeniería Técnica Industrial (esp. Electrónica Industrial) en la UIB.