

# Mesura de la resposta freqüencial d'un filtre passa-banda

Margalida Amengual Jaume<sup>1</sup>, Vicenç Blanco Rosselló<sup>2</sup> i Margalida Rosselló Canals<sup>3</sup>

*Tercer curs d'Enginyeria Tècnica Industrial, Especialitat en Electrònica Industrial*

<sup>1</sup> lidamja@hotmail.com

<sup>2</sup> vicensblanco@hotmail.com

<sup>3</sup> margus\_hemingwai@hotmail.com

Aquest article descriu la primera pràctica de l'assignatura Instrumentació Electrònica II en la que s'implementa un analitzador de xarxes virtual. Un analitzador de xarxes és un element que mesura la resposta freqüencial d'un sistema lineal en règim permanent sinusoidal. La implementació és virtual perquè es fa a través d'instrumentació controlable mitjançant bus GPIB. Es tracta d'excitar un filtre passa-banda amb un senyal sinusoidal conegut tot monitoritzant-ne la seva resposta freqüencial.

## I. INTRODUCCIÓ

Una de les maneres més comuns de conèixer la resposta freqüencial d'un sistema és realitzar un escombrat de freqüències, que s'apliquen a l'entrada, i mesurar l'amplitud i el desfasament de la senyal a la sortida. Per conèixer la resposta freqüencial, s'han d'extreure dues gràfiques. En ambdues la freqüència, en escala logarítmica, ocupa l'eix x mentre que en una d'elles, -a l'eix y- hi ha el guany en decibels i a l'altra la diferència entre fases en graus. El conjunt d'aquests dos gràfics s'anomena Diagrama de Bode. En el Bode es veu clarament quin és el guany i el desfasament de cada freqüència en travessar el sistema i, en el cas d'un filtre, els valors de freqüència que aquest deixa passar o atenua.

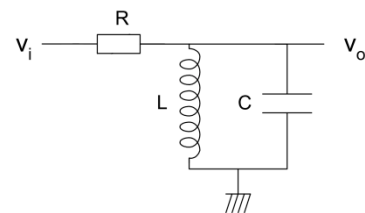
Per poder realitzar totes aquestes mesures i transportar-les a l'ordinador comptant amb un generador de funcions, un oscil·loscopi i un multímetre digitals, tots ells controlables via GPIB.

La pràctica consistirà en elaborar el Diagrama de Bode d'un filtre passa-banda, entre un rang de freqüències definit per l'usuari. Aquest podrà, des de l'ordinador, escollir paràmetres com l'amplitud del senyal d'entrada, la freqüència d'inici d'escombrat ( $f_{inicial}$ ), la freqüència final ( $f_{final}$ ), el nombre de mostres que es prendran o el tipus d'escombrat, lineal o logarítmic. Això vol dir que en seleccionar el mostreig lineal es prendran N mostres equidistants, i en seleccionar un mostreig logarítmic, la separació entre cada una de les mostres seguirà un patró de base logarítmica. A més, es podrà seleccionar la ruta on guardar els arxius de text que es creen amb les mesures de les gràfiques. Quan l'usuari hagi introduït els paràmetres de la mesura, el programa realitzarà un

mostreig d'acord a les especificacions per representar el Diagrama de Bode i calcular el factor de qualitat (Q), les freqüències de tall baixa i alta ( $f_L$  i  $f_H$ ), l'amplada de banda (BW) i la freqüència de ressonància ( $f_{res}$ ). La Q és un indicador de la forma que tindrà la gràfica del mòdul i de quan selectiu és el filtre. Les  $f_L$  i  $f_H$  ens indiquen freqüències de tall baixa i alta respectivament. El resultat de la resta d'ambdues es coneix com el BW i representa el rang de freqüències no atenuades pel sistema. La  $f_{res}$  és la freqüència central del BW i per tant, la que el sistema deixa passar amb l'atenuació més baixa possible.

## II. CÀLCULS PREVIS

El tipus de filtre a analitzar és un passa-banda passiu, i aquest és el seu esquema elèctric:



S'obté la seva funció de transferència:

$$H(s) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{Z_L \parallel Z_C}{Z_L \parallel Z_C + R} = \frac{\frac{Ls}{LCs^2 + 1}}{\frac{Ls}{LCs^2 + 1} + R} = \frac{Ls}{RLCs^2 + Ls + R}$$

$$H(s) = \frac{\frac{s}{RC}}{s^2 + \frac{s}{RC} + \frac{1}{LC}}$$

Comparant amb la funció d'una passa-banda:

$$H(s) = \frac{K \left( \frac{\omega_0}{Q} \right) s}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2} \quad \text{D'aquí s'obté:}$$
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$
$$Q = R \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$$
$$K = 1 \quad (\text{Filtre passiu})$$

Sabem que:

$$BW = \frac{f_0}{Q} = \frac{\omega_0}{2\pi Q}; \quad BW = \frac{\omega_H - \omega_L}{2\pi}; \quad (1) \quad \omega_0 = \sqrt{\omega_H \cdot \omega_L}; \quad (2)$$

De l'equació (2) s'aïlla  $\omega_H$  i l'(1) s'igual a 0. Seguidament, es substitueix  $\omega_H$  dins (1) i s'obté una equació de segon grau amb  $\omega_L$  d'incògnita:

$$\omega_L^2 + 2\pi \cdot BW \cdot \omega_L - \omega_0^2 = 0$$

D'aquí s'obté  $\omega_L$  i substituint a l'equació (2)  $\omega_H$ .

Els valors dels components dels que disposam són:

$$R = 1K\Omega \quad C = 4'7nF \quad L = 10mH$$

Si aplicam valors a les equacions anteriors, obtenim:

$$\omega_0 = 145'865K \frac{rad}{s} \longrightarrow f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 23'2K \text{ Hz}$$

$$Q \approx 0'68 \quad BW = 34'117K \text{ Hz}$$

$$\omega_L = 73'861K \frac{rad}{s} \longrightarrow f_L = \frac{\omega_L}{2\pi} = 11'755K \text{ Hz}$$

$$\omega_H = 288K \frac{rad}{s} \longrightarrow f_H = \frac{\omega_H}{2\pi} = 45'836K \text{ Hz}$$

### III. DESCRIPCIÓ DEL DESENVOLUPAMENT

L'entorn de programació que s'utilitza és el *LabView*, que té dos espais de treball diferenciats. Un, anomenat Panell Frontal, que és on tenim la interfície de l'Instrument Virtual (en endavant VI) amb l'usuari i l'altre, anomenat diagrama de blocs, on hi trobam l'estructura interna de l'VI.

Al Panell Frontal, s'hi poden trobar tant els controls com els indicadors dels resultats obtinguts en la mesura. A la Figura 1, es pot apreciar com estan col·locats els diferents elements.

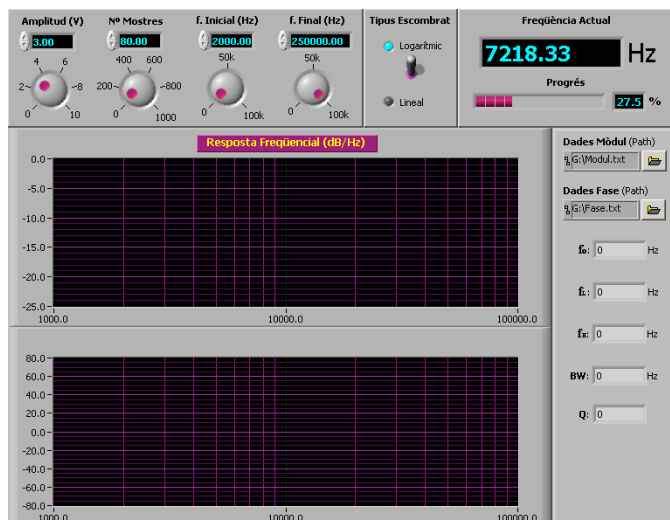


Fig. 1 Distribució dels elements en el Panell Frontal

Els controls, paràmetres que l'usuari pot escollir, són:

- L'amplitud del senyal d'entrada.
- El número de mostres que es duran a terme per realitzar l'escombrat de freqüències.
- La freqüència inicial i la final de l'escombrat.
- El tipus d'escombrat, logarítmic o lineal.
- Les rutes on es guardaran els arxius de text amb les dades resultants, tant de mòdul com de fase de la mesura.

Els indicadors que hi podem trobar són:

- Les gràfiques que representen el diagrama de Bode (la gràfica freqüència-mòdul i la freqüència-fase).
- La freqüència actual a la que es troba l'escombrat.
- El factor de qualitat (Q), l'amplada de banda (BW), la freqüència de ressonància (fres) i la freqüència de tall alta i baixa ( $f_H$  i  $f_L$ ).

La Figura 2 mostra el Diagrama de flux que segueix l'VI per fer la mesura.

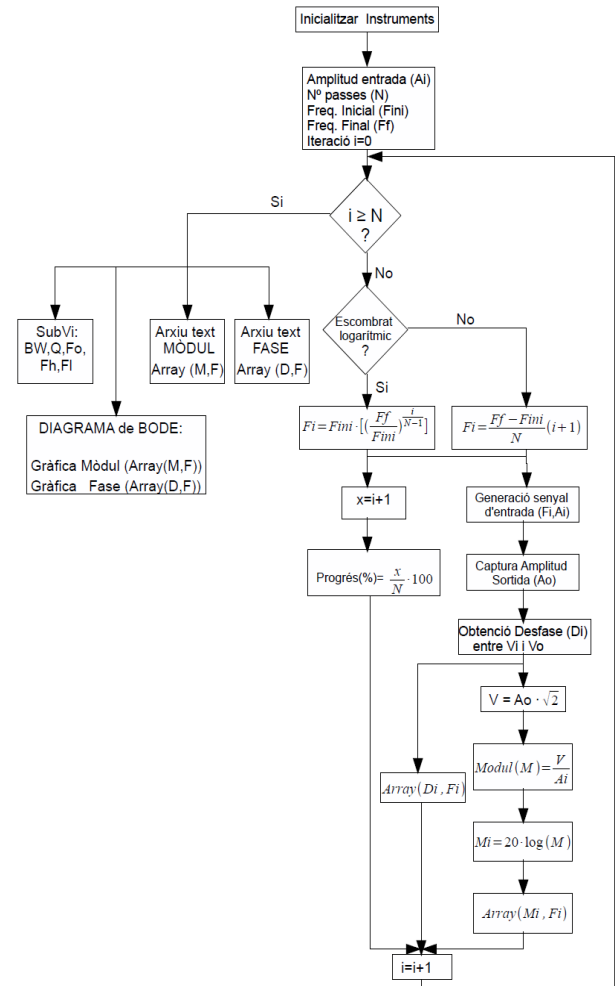


Fig. 2 Diagrama de flux de l'VI

Com hem comentat, el diagrama de blocs descriu l'estructura del programa. A més, representa el camí que seguiran les nostres dades, i les transformacions que patiran durant aquest. La Figura 5 mostra el diagrama de blocs del programa.

Dins el Diagrama de Blocs s'hi distingeixen clarament dues parts; una emmarcada per un bucle *for* i una altra fora del bucle. La part emmarcada pel bucle *for* està formada per un requadre (una estructura *case*) a la part superior que ens tria el tipus d'escombrat mentre que els requadres continuats de la part inferior (estructura *flat sequence*) forcen l'esdevenir seqüencial de les accions que s'hi especifiquen. D'aquesta manera, s'assegura que primer s'introdueixi el senyal, després s'espera un temps, perquè passi el transitori, es faci la lectura de la sortida i finalment es calculi la diferència entre les fases de la senyal d'entrada i de sortida. De no emprar aquesta estructura, no es seguiria aquest ordre.

Per a la generació de l'ona d'entrada, el primer que s'ha de fer és inicialitzar el dispositiu i assignar-li una direcció GPIB. Ambdues coses es fan a fora del bucle *for* perquè s'ha de fer tan sols una vegada, no a cada iteració. A més, en el cas del multímetre s'ha d'especificar també el tipus de lectura que es fa, com per exemple, si la lectura és de corrent continu o altern.

Com que les mesures que fan els multímetres són en valor eficaç, multiplicam la sortida per arrel de dos per tenir l'amplitud real del voltatge de sortida. Aquest, a la vegada, es divideix entre el senyal d'entrada i s'obté el mòdul. Ara bé, aquest mòdul no es troba en decibels (dB) sinó en escala decimal. Per això, es calcula el logaritme del guany i es multiplica per vint -ja que es tracta de tensió-. Així, el mòdul està en dB, enllestit per posar a l'eix Y de la gràfica del mòdul.

Per mesurar la diferència entre la ona d'entrada i la de sortida s'utilitza l'oscil·loscopi. El bloc que simbolitza el subprojecte encarregat del desfasament s'inclourà en el darrer dels requadres continuats i el seu funcionament s'explica en el diagrama de flux de la Figura 4.

Fora del bucle *for*, a més de la representació del Diagrama de Bode, hi trobam un bloc de color morat que simbolitza un subVI BW,fo,Q (Figura 3).

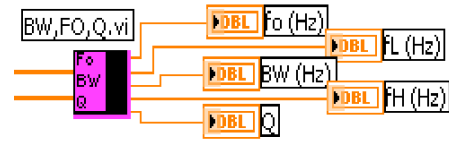


Fig. 3 Diagrama de flux del subVI del desfasament.

En ell s'hi fan els càlculs pertinents per extreure el factor de qualitat Q, l'amplada de banda BW, la freqüència de ressonància i les freqüències de tall baixa i alta ( $f_L$  i  $f_H$ ).

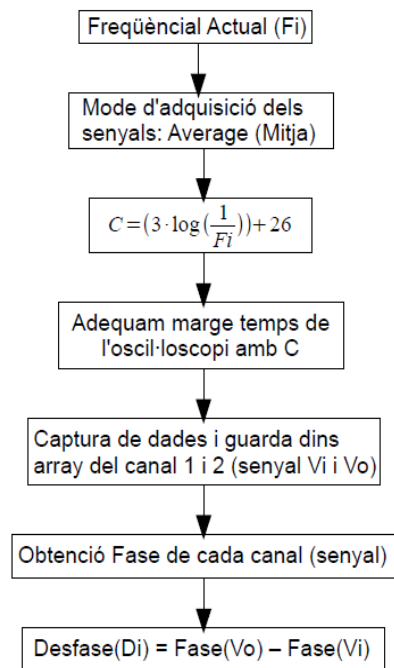


Fig. 4 Diagrama de flux dels càlculs

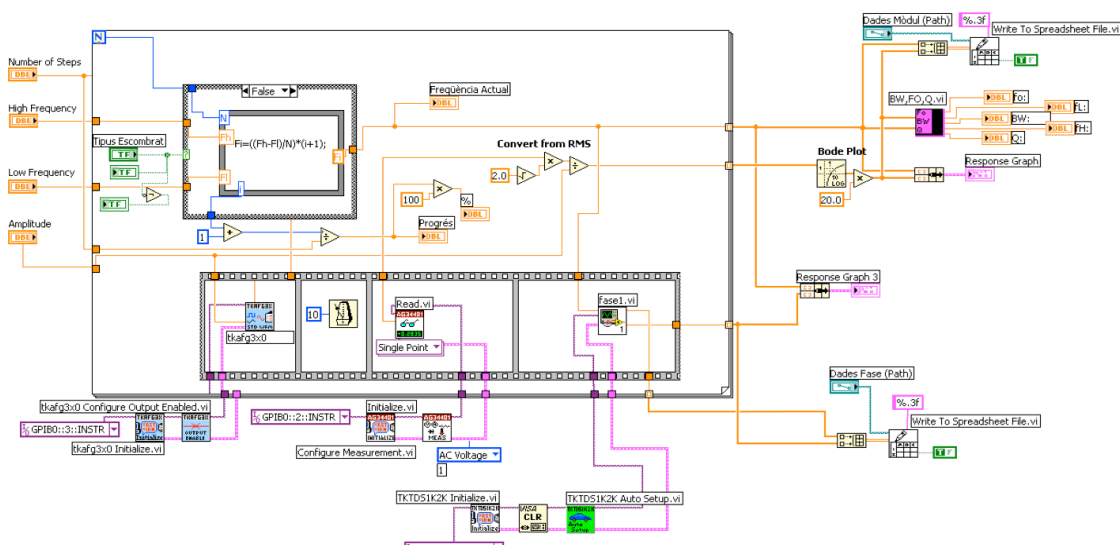


Fig. 5 Diagrama de Blocs del VI

La Figura 6 mostra el Diagrama de flux que descriu el procediment per obtenir aquestes dades.

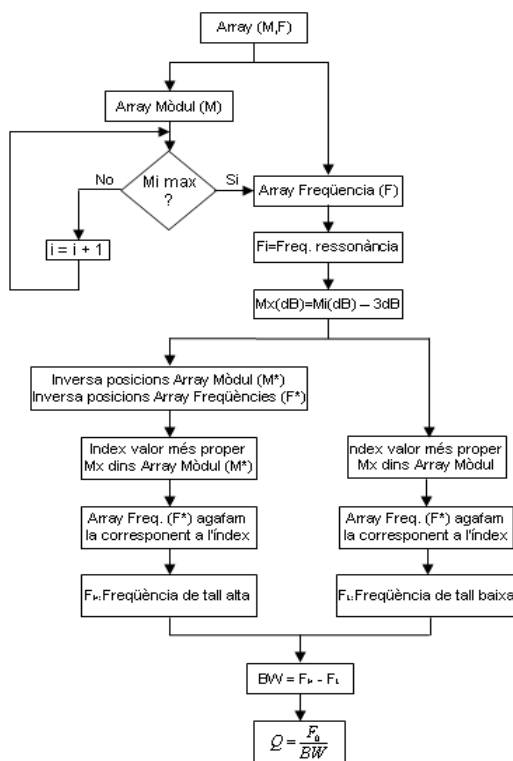


Fig. 6 Diagrama de flux del subVI dels càlculs

Finalment defora del bucle for, hi trobam dos conjunt de blocs pràcticament iguals i que realitzen la mateixa funció, crear un arxiu de text en què s'hi emmagatzemen les dades. Cada conjunt, crea un arxiu per les dades que rep. Un, per les freqüències amb el seu corresponent mòdul, i un altre per les freqüències amb la corresponent diferència entre fases.

#### IV. RESULTATS OBTINGUTS

La Figura 7, mostra el resultat quan l'escombrat ha acabat.

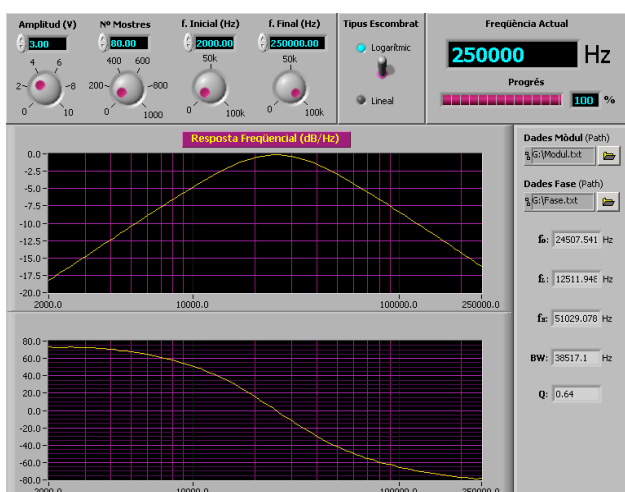


Fig. 7 Panell Frontal amb les dades de la sortida

Les Figures 8 i 9 mostren les dades que es guarden a l'arxiu de text de la carpeta que hem especificat.

1000.000	-23.897	999.686	68.385
1389.495	-21.269	1389.637	71.479
1930.698	-18.538	1931.093	72.827
2682.696	-15.764	2682.595	72.913
3727.594	-12.967	3727.716	71.512
5179.475	-10.176	5179.455	67.402
7196.857	-7.426	7197.339	59.985
10000.000	-4.773	9999.758	51.754
13894.955	-2.382	13894.272	37.550
19306.977	-0.644	19306.872	18.505
26826.958	-0.155	26826.491	-4.073
37275.937	-1.153	37275.763	-26.437
51794.747	-3.169	51794.206	-43.103
71968.567	-5.673	71969.337	-56.168
100000.000	-8.369	99995.010	-65.006

Fig. 8 i 9 Contingut de l'arxiu de dades del mòdul i la fase

#### V. CONCLUSIONS

Com s'ha pogut comprovar la instrumentació virtual ens permet mesurar magnituds d'un sistema de manera més ràpida, acurada i eficient que de manera manual. A més a més, l'entorn de programació ens permet fàcilment realitzar càlculs sobre aquestes mesures i arrossegar errors, cosa que resultaria bastant tediosa si es fes manualment, sense comptar amb possibles errors humans.

A més, en aquest cas, mitjançant el software del *Labview* hem aconseguit implementar funcions, com ara la mesura del desfasament, que d'entrada l'oscil·loscopi no és capaç de mesurar per si mateix, amb la qual cosa obtenim un valor afegit important.

ASSIGNATURA: Instrumentació Electrònica II

PROFESSOR: Jaume Verd



**Margalida Amengual Jaume** (Biniamar)  
Estudiant d'Enginyeria Tècnica Industrial  
Especialitat Electrònica Industrial a la UIB.  
[lidamja@hotmail.com](mailto:lidamja@hotmail.com)



**Vicenç Blanco Rosselló** (Felanitx)  
Estudiant d'Enginyeria Tècnica Industrial  
Especialitat Electrònica Industrial a la UIB.  
[vicensblanco@hotmail.com](mailto:vicensblanco@hotmail.com)



**Margalida Rosselló Canals** (Bunyola)  
Estudiant d'Enginyeria Tècnica Industrial  
Especialitat Electrònica Industrial a la UIB.  
[Margus\\_hemingwai@hotmail.com](mailto:Margus_hemingwai@hotmail.com)