

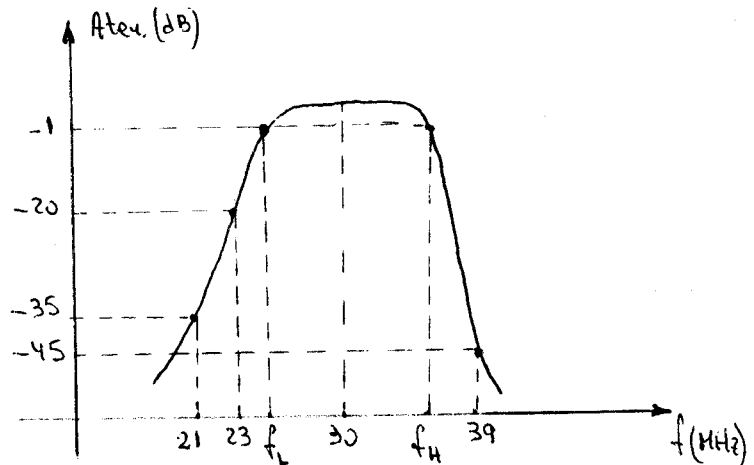
Cálculo de un filtro pasabanda tipo Butterworth

Ing. Daniel O. Perilli

Este filtro se utilizará en las FI de los mezcladores de Banda Base del Autocorrelador Digital de 1008 canales.

Datos de diseño:

- 1 DB en 25 MHz y 35 MHz
- 20 DB mínimos en 23 MHz
- 35 DB mínimos en 21 MHz
- 45 DB mínimos en 39 MHz
- BW = 10 MHz Q = 60
- Zin=Zout= 50



Normalización del pasabanda

Los filtros pasabanda caen en dos categorías; banda angosta y banda ancha. Si el cociente entre las frecuencias de corte superior e inferior es aproximadamente 2 o menos (una octava) el filtro es considerado del tipo de banda angosta y no puede diseñarse como filtros pasabajos y pasaaltos separados.

Pasos para el diseño:

- 1- Convertir los requerimientos del filtro pasabanda dado en los de un pasabajos normalizado.
- 2- Seleccionar un filtro pasabajos satisfactorio de las curvas normalizadas de respuesta en frecuencia.
- 3-Transformar el filtro normalizado pasabajos en el pasabanda deseado.

La frecuencia central esta definida como:

$$f_o = \sqrt{f_L \times f_H} = \sqrt{25\text{MHz} \times 35\text{MHz}} = 29,58 \text{ MHz}$$

Esta relación implica simetría geométrica de la curva por debajo y por arriba de f_o cuando se dibuja en escala logarítmica de frecuencias.

Se convierten los parámetros dados en la banda de atenuación en una característica geoméricamente simétrica. Es decir, se calcula la correspondiente frecuencia geométrica para cada frecuencia dada en la banda de atenuación.

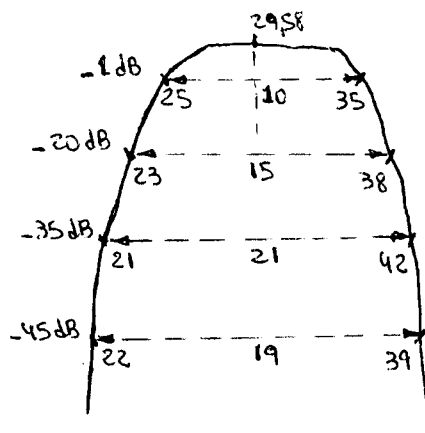
Si $f_o^2 = f_1 \cdot f_2$ entonces

para $f_1 = 23 \text{ MHz}$ ----> $f_2 = f_o^2 \div f_1 = (29,58\text{MHz})^2 \div 23\text{MHz} = 38,04 \text{ MHz}$
 $f_2 - f_1 = 15 \text{ MHz}$

para $f_1 = 21 \text{ MHz}$ ----> $f_2 = f_o^2 \div f_1 = (29,58\text{MHz})^2 \div 21\text{MHz} = 41,66 \text{ MHz}$
 $f_2 - f_1 = 21 \text{ MHz}$

para $f_2 = 39 \text{ MHz}$ ----> $f_1 = f_o^2 \div f_2 = (29,58\text{MHz})^2 \div 39\text{MHz} = 22,43 \text{ MHz}$
 $f_2 - f_1 = 19 \text{ MHz}$

La respuesta geoméricamente simétrica va a ser:



Se calcula el factor de pendiente (A_s) para cada BW de la banda de atenuación.

siendo ----> $A_s = \text{BW de atenuación} \div \text{BW de paso}$

para - 20 dB ----> $A_s = 15 \text{ MHz} \div 10 \text{ MHz} = 1,5$

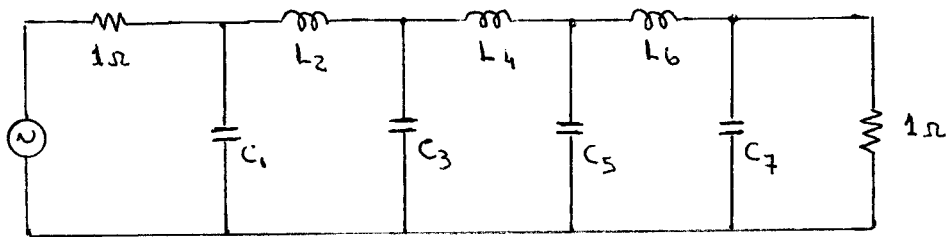
para - 35 dB ----> $A_s = 21 \text{ MHz} \div 10 \text{ MHz} = 2,1$

para - 45 dB ----> $A_s = 19 \text{ MHz} \div 10 \text{ MHz} = 1,9$

Ahora se selecciona un filtro pasabajos normalizado que tenga -20dB; -35dB ; -45dB de atenuación para 1,5 ; 2,1 ; y 1,9 veces el corte de 1dB.

De la figura 2-34 del Manual* se elige el número de secciones, obteniendo $n=7$.

El filtro normalizado pasabajos correspondiente va a ser (tabla 12-2 del Manual).



$$C_1 = 0,4450 = C_7 \quad ; \quad L_2 = 1,2470 = L_6$$

$$C_3 = 1,8019 = C_5 \quad ; \quad L_4 = 2,0000$$

Se desnormaliza el filtro pasabajos usando una $Z=50 \Omega$ y con un factor de escala de frecuencias dado por

$$FSF = 2\pi \times f_c = 2\pi \times 10 \text{ MHz} = 62,83 \times 10^6$$

$$C'_1 = C'_7 = C_1 + (FSF \times Z) = 0,4450 + (62,83 \times 10^6 \times 50) = 141,6 \text{ pF}$$

$$C'_3 = C'_5 = C_3 + (FSF \times Z) = 1,8019 + (62,83 \times 10^6 \times 50) = 573 \text{ pF}$$

$$L'_2 = L'_6 = (L_2 \times Z) + FSF = (1,2470 \times 50) + 62,83 \times 10^6 = 0,99 \mu\text{H}$$

$$L'_4 = (L_4 \times Z) + FSF = (2,0000 \times 50) + 62,83 \times 10^6 = 1,59 \mu\text{H}$$

Para hacer la transformación de pasabajos a pasabanda se hace resonar cada elemento capacitivo con una bobina en paralelo y cada bobina con un capacitor serie a la frecuencia $f_0 = 29,58 \text{ MHz}$.

Entonces:

$$L'_1 = L'_7 = 1 + (w_0^2 \times C'_1) = 1 + (2\pi \times 29,58 \times 10^6)^2 \times 141,6 \text{ pF} = 0,20 \mu\text{H}$$

$$L'_3 = L'_5 = 1 + (w_0^2 \times C'_3) = 1 + (2\pi \times 29,58 \times 10^6)^2 \times 573 \text{ pF} = 0,05 \mu\text{H}$$

$$C'_2 = C'_6 = 1 + (w_0^2 \times L'_2) = 1 + (2\pi \times 29,58 \times 10^6)^2 \times 0,99 \mu\text{H} = 29,24 \text{ pF}$$

$$C'_4 = 1 + (w_0^2 \times L'_4) = 1 + (2\pi \times 29,58 \times 10^6)^2 \times 1,59 \mu\text{H} = 18,20 \text{ pF}$$

Ahora se estima si el $Q=100$ es suficiente

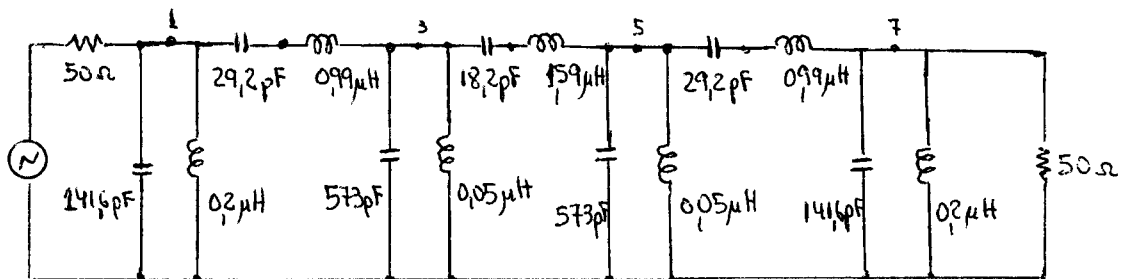
Cálculo del Q_{MIN} del pasabanda:

$$Q_{\text{MIN bp}} = Q_{\text{MIN lp}} \times Q_{\text{bp}}$$

$Q_{\text{MIN lp}}$ está dado por el gráfico 3-8 para $n=7$, entonces $Q_{\text{MIN lp}}=4$
De la fórmula anterior se tiene:

$$Q_{\text{MIN bp}} = 4 \times (f_0 \div BW_{3\text{db}}) = 4 \times 3 = 12$$

Como el Q disponible de 100 es mucho mayor que $Q_{\text{MIN bp}}$, la respuesta del filtro estará cercana a la teórica.



Procedimiento para calibración del filtro

El alineamiento se cumple mejor armando el filtro y luego concentrándose en el fenómeno de amplitud que ocurre en el primer circuito resonante de la cadena del filtro en la frecuencia de resonancia f_0 deseada.

- 1- Fijar la frecuencia del generador de señal a la frecuencia central deseada f_0 y al primer circuito sintonizado del filtro pasabanda.
- 2- Acoplar un detector (mV de RF con punta de alta Z) al nodo de tensión del primer circuito resonante de la cadena del circuito del filtro.
- 3- Desintonizar completamente todos los circuitos resonantes, significando esto que todos los circuitos series estén efectivamente en circuito abierto y todos los circuitos resonantes paralelos cortocircuitados.

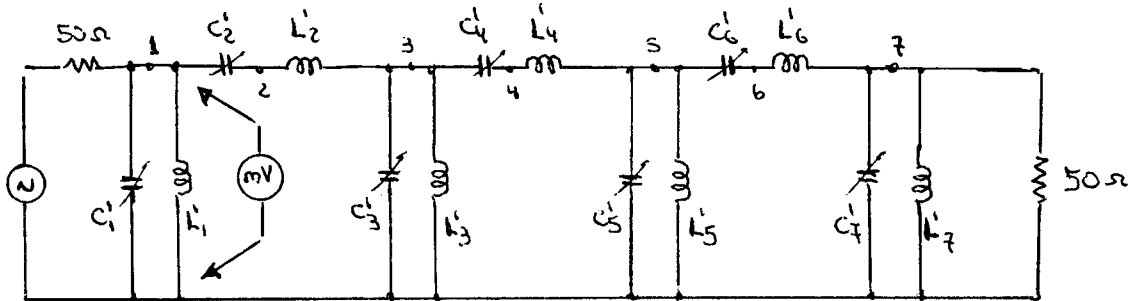
4- Sintonizar el circuito resonante número 1 a f_0 para máxima indicación de tensión del detector (con el circuito resonante número 2 abierto) y fijar el ajuste del capacitor de este circuito para esa condición.

5- Sintonizar el circuito resonante número 2 (con el circuito resonante número 3 en cortocircuito) para una indicación mínima de tensión del detector. Es decir, la baja resistencia del circuito resonante serie número 2 queda en paralelo con el circuito resonante número 1 y provoca una caída de tensión en sus terminales.

6- Sintonizar el circuito número 3 para máxima indicación de tensión del detector (con el circuito resonante número 4 abierto).

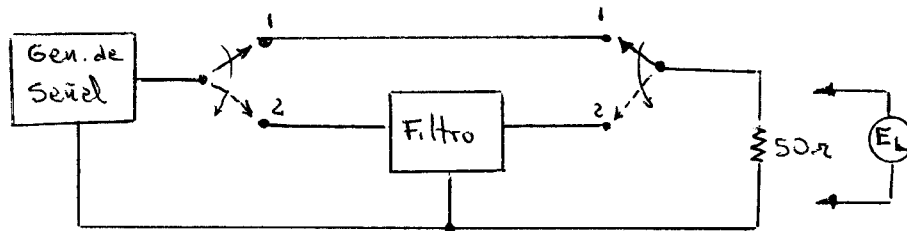
7- Seguir este procedimiento para las restantes etapas de la cadena de filtro. Si este queda correctamente alineado, la frecuencia de resonancia f_0 de cada circuito resonante separado es idéntica.

De este modo comenzando con la etapa de entrada del filtro todos los circuitos resonantes paralelos producirán una tensión máxima y todos los circuitos serie una tensión mínima en los terminales número 1.



Medición de la pérdida de inserción del filtro

La pérdida de inserción, L_{dB} de un filtro se define como la reducción en potencia suministrada a la carga cuando el filtro se pone entre la fuente y la carga.



De la figura anterior, la pérdida de inserción esta dada por:

$$L_{dB} = 10 \log (P_{L1} \div P_{L2})$$

donde P_{L1} es la potencia entregada a la carga con ambas llaves en posición 1 y P_{L2} es la potencia de salida con ambas llaves en posición 2. La ecuación anterior también puede expresarse en términos de una relación de tensiones como:

$$L_{dB} = 10 \log (E_{L1}^2 \div R_L) \div (E_{L2}^2 \div R_L) = 20 \log (E_{L1} \div E_{L2})$$

Así, un decibelímetro puede ser utilizado en la salida directamente para medir la pérdida de inserción en términos de la tensión de salida.

Además
$$VSWR = (1 + \sqrt{1 - (1 - L)}) \div (1 - \sqrt{1 - (1 - L)})$$

Medición de la atenuación relativa del filtro

La atenuación relativa es la atenuación ofrecida por un filtro a una frecuencia especificada, relativa a la pérdida de inserción que tiene el pasabanda a la frecuencia de interés. De este modo, la atenuación relativa en la frecuencia correspondiente a la pérdida de inserción es cero.

Se empleará el método de medición clásico de frecuencia-amplitud punto a punto.

Seguidamente se listan los valores medidos:

f (MHz)	At. (dBm)	f (MHz)	At. (dBm)
10	-58	29,5	-1
11	-58	30	-1
12	-62	31	-1
13	-56	31,5	0
14	-55	32	0
15	-55	33	0
16	-54,5	34	0
17	-55	34,75	-0,6
18	-57	35	-1,3
19	-55	35,5	-4,5
20	-50	36	-8,5
21	-44	36,5	-12,5
21,5	-40	37	-17
22	-35	37,5	-20
22,5	-30,5	38	-23,5
23	-25	38,5	-27
23,5	-19	39	-29
24	-12,5	39,5	-31,5
24,5	-6	40	-34
25	-1,3	41	-38
25,25	-0,5	42	-40,5
25,50	-0,2	43	-42,5
25,75	-0,1	44	-43,5
26	0	45	-44
27	0	46	-44,3
28	0	47	-44,5
29	0	48	-44,5
		50	-44

Pérdida de inserción $L_{dB} = 1,5$ dBm

Bibliografía: *Electronic Filter Design Handbook. Arthur B. Williams

FILTRO PASA BANDA

