DISEÑO DE FILTROS ELÍPTICOS ANALÓGICOS

RAUL A. FUNES
Prof. Titular de Electrónica General

En el presente trabajo se considera que para el Filtro Analógico Pasabajo Elíptico, el borde límite de la banda pasante está normalizado a 1 (uno) y el máximo de la banda pasante al valor de 1 (uno). Veremos el diseño con una aplicación.

Hay cuatro parámetros de diseño a tener en cuenta y ellos son:

a) El borde límite de la banda rechazada,
b) La ondulación en la banda pasante,
c) La ondulación en la banda rechazada, y
d) El orden del filtro.

Borde límite de la banda pasante **(Pass-band edge):** $\omega_p := 1$ Para el cálculo del orden N del filtro a partir de las ondulaciones y el borde límite de la banda rechazada, y de acuerdo a los requerimientos del diseño, se deben asignar valores a los siguientes parámetros:

a) Borde límite de la Banda Rechazada: $\omega_s := 1.1$

b) Ondulación en la Banda Pasante: $\delta_1 := .1$

c) Ondulación en la Banda Rechazada: $\delta_2 := .14$ Luego con estos datos se calculará el Orden N del filtro, pero primero se definirán a partir de las ondulaciones y el borde límite de la banda rechazada:

Definiciones:

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{2\cdot\delta_1 - \delta_1^2}{1 - 2\cdot\delta_1 + \delta_1^2}} \qquad k_1 := \frac{\varepsilon}{\sqrt{\frac{1}{\delta_2^2} - 1}}$$

$$k'_1 := \sqrt{1 - k_1^2} \qquad k := \frac{\omega_p}{\omega_s} \qquad k' := \sqrt{1 - k^2}$$

Donde k and k', no serán mayores que $(1\text{-}10^{9})=0.999999999$

$$k = 0.9090909091 \qquad k'_1 = 0.9976525227 \qquad N := \mathrm{ceil}\left(\frac{K(k)\cdot K(k'_1)}{K(k')\cdot K(k_1)}\right)$$

Del cálculo resulta que en este caso planteado el orden mínimo será: N = 4

Ahora calculemos los *Polos* y *Ceros* de la función de transferencia.

Ceros

$$KK := K(k)$$

$$l := \mathrm{if}(\mathrm{mod}(N,2)=1,2,1)$$

$$m := 0..\ N-1$$

$$c_m := l + 2\cdot\mathrm{floor}\left(\frac{m}{2}\right)$$

$$z_m := \frac{(-1)^m\cdot j}{k\cdot \mathrm{sn}\left(c_m\cdot\frac{KK}{N},k\right)}$$

Polos

$$q := 0..\ N-1$$

$$\mathrm{conj}(n.q) := \mathrm{if}(\mathrm{mod}(q,2)=0,n,\tilde{n})$$

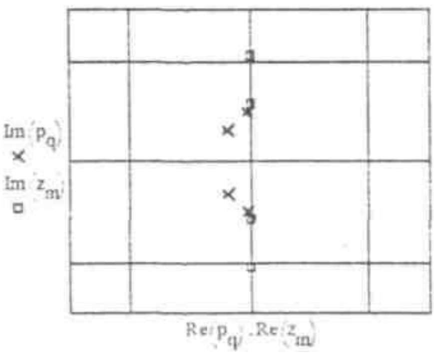
$$d_q := 1 - \mathrm{mod}(N,2) + 2\cdot\mathrm{floor}\left(\frac{q+\mathrm{mod}(N,2)}{2}\right)$$

$$v := \frac{KK}{N\cdot K(k_1)}\cdot U\left(\mathrm{atan}\left(\frac{1}{\varepsilon}\right),k'_1\right)$$

$$P_q := \mathrm{conj}\left(j\cdot\mathrm{sn}\left(\frac{d_q\cdot KK}{N}+j\cdot v,k\right),q\right)$$

Ceros: z_m Gráfica de polor (x) y ceros (o) Polos: P_q

z_m
2.086i
-2.086i
1.136i
-1.136i



P_q
-04.11 + 0.646i
-04.11 - 0.646i
-0.056 + 1.005i
-0.056 - 1.005i

De manera que:

$$A := \mathrm{if}\left(\mathrm{mod}(N,2)=0, 1 - \delta_{1,1}\right) \cdot \frac{\prod_{q} P_q}{\prod_{m} z_m} \qquad F(s) := A \cdot \frac{\prod_{m} (s - z_m)}{\prod_{q} (s - P_q)}$$

$$A = 0.09517625$$

O también lo que es igual a la:

Expresión General de la función de la transferencia en términos cuadráticos

La cual es muy apropiada desde el punto de vista del diseño electrónico porque permite su realización con circuitos de segundo orden.

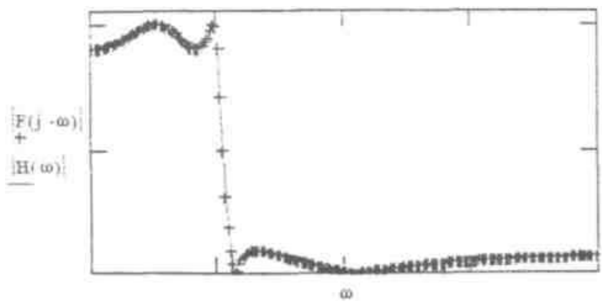
$$b := 1,3..\ N - 1$$

$$H(\omega) := A \cdot \frac{\prod_{b} \left[(j \cdot \omega \cdot)^2 + z_{b-1} \cdot z_b\right]}{\prod_{b} \left[(j \cdot \omega \cdot)^2 + j \cdot \omega \cdot \left(\left|P_{b-1} + P_b\right|\right) + \left(P_{b-1} \cdot P_b\right)\right]}$$

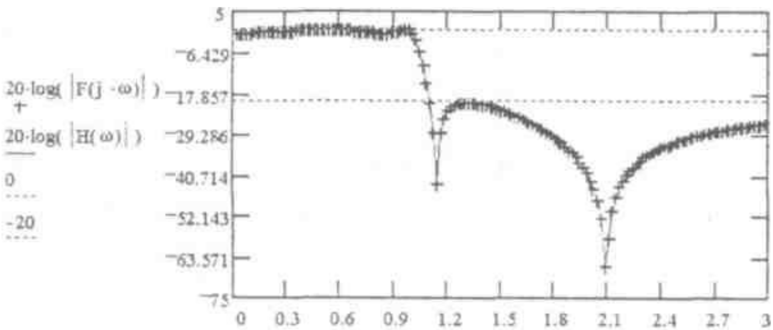
$z_{b-1} \cdot z_b$	$\left\|P_b + P_{b-1}\right\|$	$P_b \cdot P_{b-1}$
4.34993	0.82196	0.58583
1.29092	0.11114	1.01367

La función de transferencia F, normalizada de manera que e lmáx F(jω) = 1 se verá graficada como:

$\omega := 0, .02 .. 4$

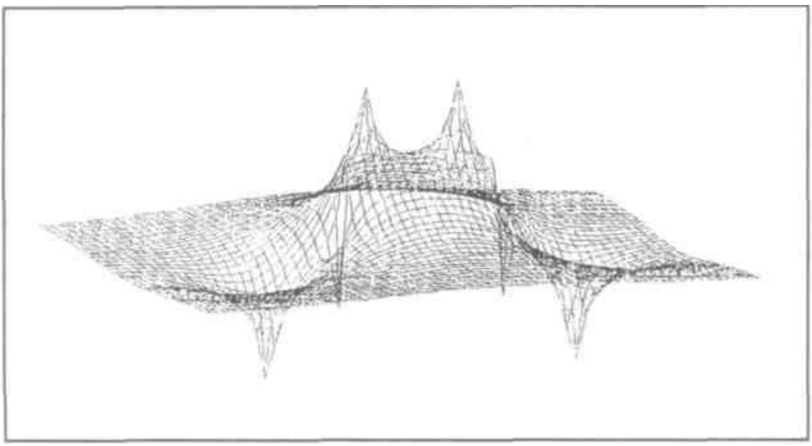


Definición de Magnitud [db]: $db(\omega) := 20 \cdot \log(|F(j \cdot \omega)|)$



Otra forma de graficar los polos y cero de la función es la siguiente:

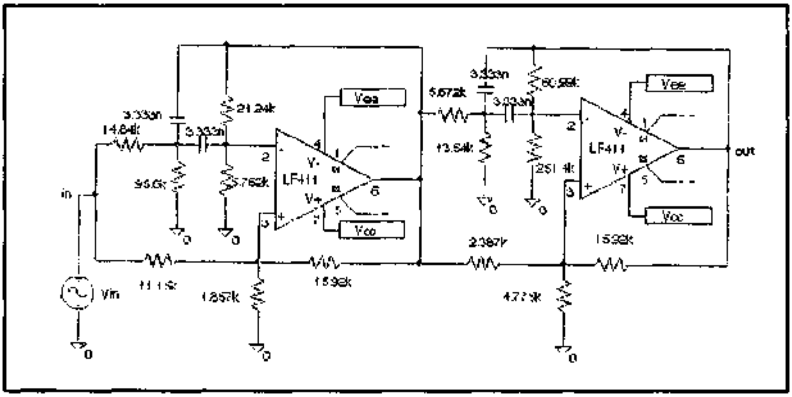
$$x_{t,n} := \left(-4 + \frac{t}{8}\right) + \left(-3 + \frac{n}{8}\right) \cdot j \qquad K_{t,n} := H\left(x_{t,n}\right) \qquad MK_{t,n} := \log\left(\left|K_{t,n}\right|\right)$$



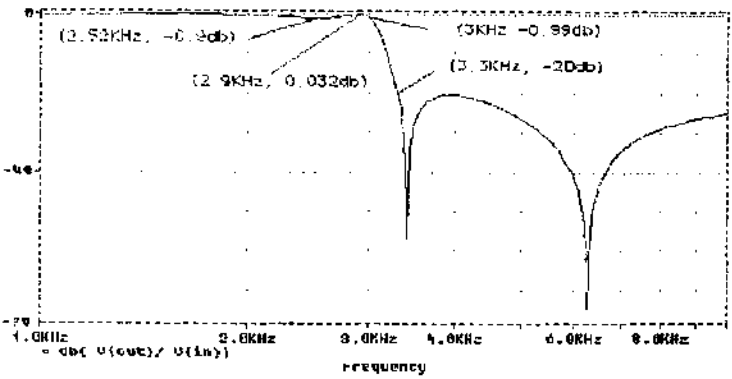
MK

Ejemplo: Aplicación del caso anterior para una frecuencia pasante límite de 3000Hz, utilizando el circuito de Deliyannis-Friend, y método de resolución de acuerdo **a [1].**

El presente caso es de orden N=4 lo cual indica la necesidad de utilizar dos circuitos de segundo orden en cascada, como se muestra a continuación.



Utilizando el PSIPICE v6.1 para su evaluación obtenemos:



En la figura anterior se ha etiquetado los puntos de interés, que comprueban la validez del método de diseño, como lo anticipaba el modelo matemático.

Referencias Bibliográficas

1) RC Active Filter Design Handbook - F. W. Stephenson - 1985 - John Wiley & Sons.

2) Modern Filter Design - Ghausi y Laker -1981 - Prentice-Hall, Inc.

3) Mathcad Electrical Engineering Aplications Pack -1989 - Mathsoft Inc.

4) Mathcad 5.0 Plus User's Guide -1994 0 Mathsoft Inc.