59 a

18/05

Clase presencial

- Repaso transformación $\underbrace{\text{P. bajos} \rightarrow \text{P. altos}}$

(prototipo)

$T(s) \longrightarrow T(s)\Big|_{s=K(s)}$; $K(s) \rightarrow$ núcleo de transformación correspondiente.

$K(s)$

$T(s) \longrightarrow$ objetivo.

núcleo de transformación adecuado.

- Prototipo : $T(s) = \prod_i \underbrace{\left(\dfrac{K_i}{s^2 + s\,\dfrac{\omega_{oi}}{Q_i} + \omega_{oi}^2} \right)}_{SOS} \cdot \underbrace{\left(\dfrac{K_o \cdot \sigma_o}{s + \sigma_o} \right)}$

genérico. prototipo

1er orden (para las transferencias de orden impar)

$s \rightarrow \dfrac{1}{s}$

- Si $T_{PA}(s) = \prod_i \dfrac{K_i}{\left(\frac{1}{s}\right)^2 + \left(\frac{1}{s}\right) \cdot \frac{\omega_{oi}}{Q_i} + \omega_{oi}^2} \cdot \dfrac{K_o \cdot \sigma_o \text{ (impar)}}{\left(\frac{1}{s}\right) + \sigma_o}$

* $K_{PA}(s) = \dfrac{1}{s}$ } núcleo de transformación $\boxed{\text{P. bajos} \rightarrow \text{P. altos}}$

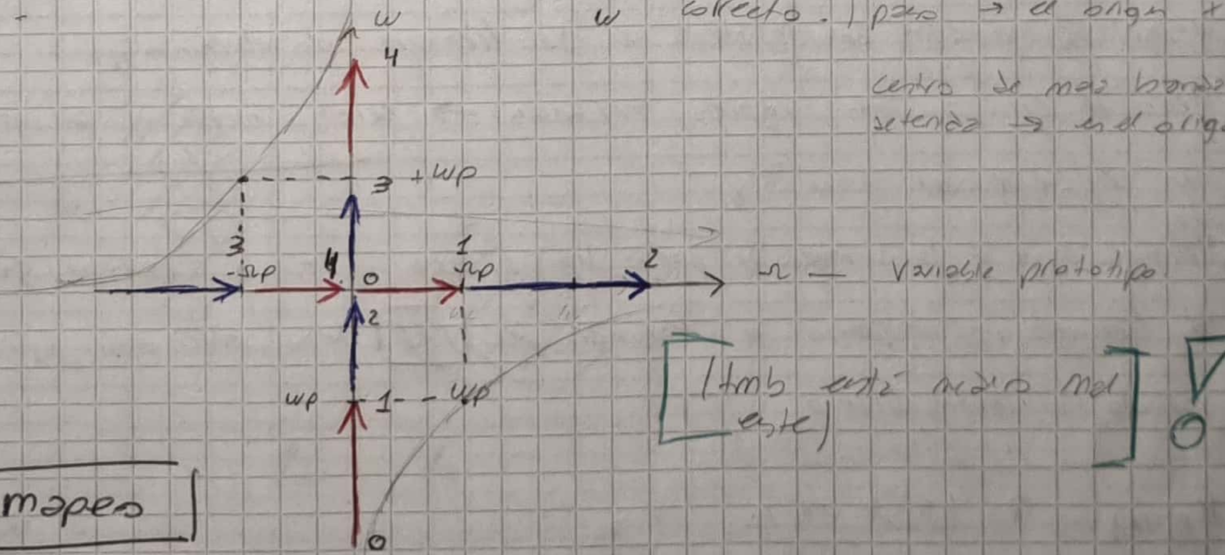
- Ω es la frecuencia ω en el dominio s prototipo. (nomenclatura)

$\dfrac{K_{PA}(\omega)}{\Omega} = \dfrac{-1}{\Omega}$ (viene del $\dfrac{1}{j\omega}$)

$\ominus \dfrac{1}{\omega}$ sería lo correcto.

centro de mi banda de paso $\rightarrow$ al origen +

centro de mi banda de detenida $\rightarrow$ en el origen.



banda de paso

banda de detenida

(tmb está medio mal este)

mapeo

- la función $K_{PA}(\omega) = \dfrac{-1}{\Omega}$ hace el cambio de variable y mapea las bandas de paso de cada filtro según corresponda.

Lleva la banda de paso del FPB a la banda de detenida del FPA y viceversa.

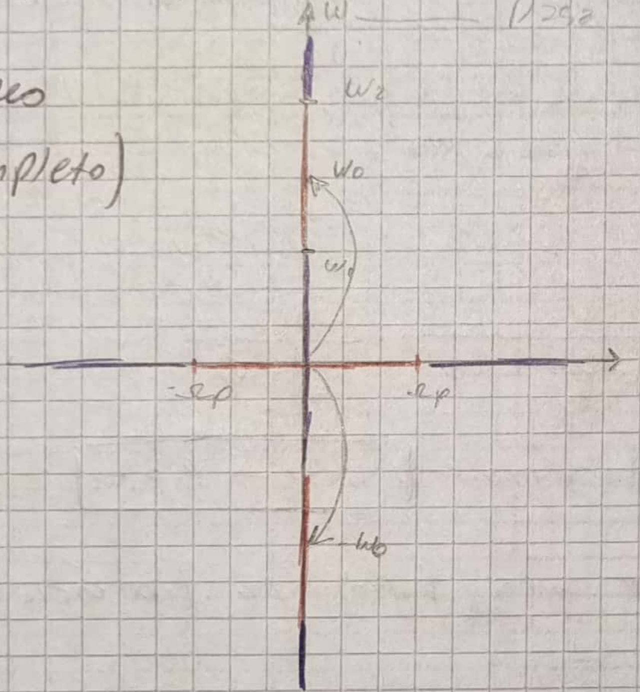
$K_{PB}(\omega) = \ominus \frac{1}{\Omega}$ $\qquad K_{PB}(s) = \frac{1}{s}$ el $\ominus$ lo pongo solamente para que el núcleo objetivo me quede positivo.

* Cero en el centro de la banda de paso (objetivo) } observaciones, corolario.
* Polo " " " " " " " detenida.

importante.

- Pasabajo → Pasa banda.

mapeo (incompleto)



Recordar la distancia de los polos implícitos en los infinitos

- tengo que mapear el centro de la banda de paso hacia dos lugares distintos, hacia los dos infinitos en la frecuencia objetivo.
- llevo el cero a dos lugares simétricos → ceros complejos conjugados en el eje ω.
- llevo el cero de la banda de paso hacia $+\omega_0$ y $-\omega_0$. recordar que la frecuencia, el espectro de frecuencia es |PAR| todo esto es módulo de transferencia.

$$K_{BP}(s) = Q \cdot \frac{(s^2 + \omega_0^2)}{s}$$

$$K_{BP}(\omega) = \frac{(\omega_0^2 - \omega^2)}{\omega}$$

la explicación de esto, el mapeo, es un quilombo.
el pasa banda tiene dos bandas de detenida, que coinciden en el cero y el infinito. Es mejor ver los gráficos del notebook directamente.

60 b

la explicación correcta está en el Schaumann

Para entender, hay que recorrer el eje ω B al Ω

lo que importa acá es: $K_{BP}(s) = Q \cdot \dfrac{|s^2 + \omega_0^2|}{s}$

el núcleo de transformación, para la parte operativa.

$\Rightarrow$ Filtro de máxima planicidad

Ej: 4 LPF $\rightarrow$ HPF

... la ... guía de ejercicios

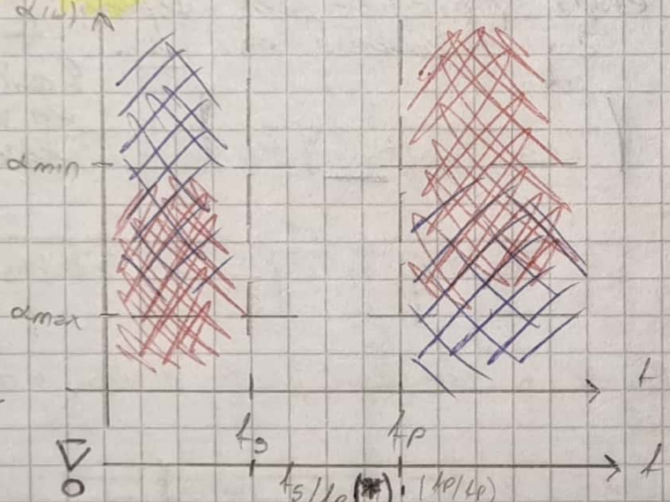
- $\alpha_{max} = 1dB$ • $\alpha_{min} = 35dB$
- $f_p = 3500 Hz$
- $f_s = 1000 Hz$

$f_s < f_p$

[Requerimientos de una plantilla pasa altos.]

está bien

está mal.

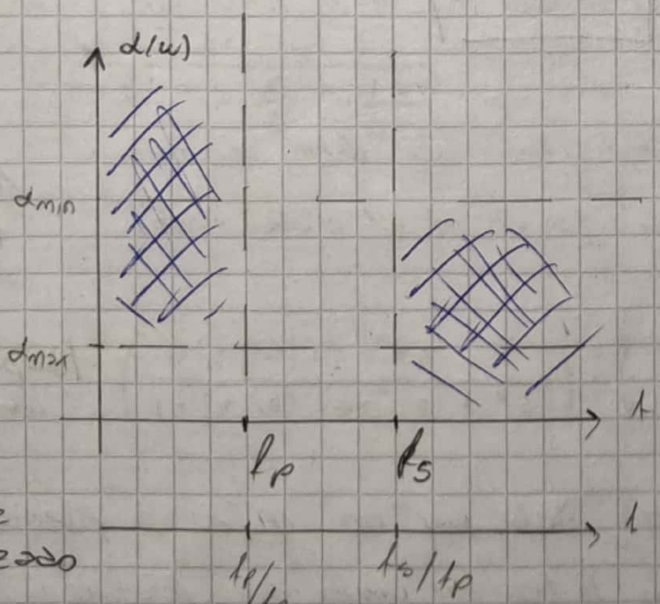


normalizo ... $\omega = f_p \cdot 2\pi$

• Primero tengo que convertir la plantilla en una de un pasa bajos prototipo para poder obtener el FPB prototipo.

(*) $\dfrac{f_s}{f_p} = \dfrac{1000}{3500} = \dfrac{2}{7} < 1$

Plantilla filtro pasa bajos prototipo



$\Omega_\omega \rightarrow 1$ $\quad 7/2 > 1$

- Plantilla normalizada.
- Como $\alpha_{max} = 1dB \rightarrow$
  $\rightarrow \xi^2 = 0,256$ (Con ...)
  $n = 4$ (Lo calculo)

lo calculo con el truco de Wbutter para máxima planicidad

- $\omega_B = \xi^{-1/n}$

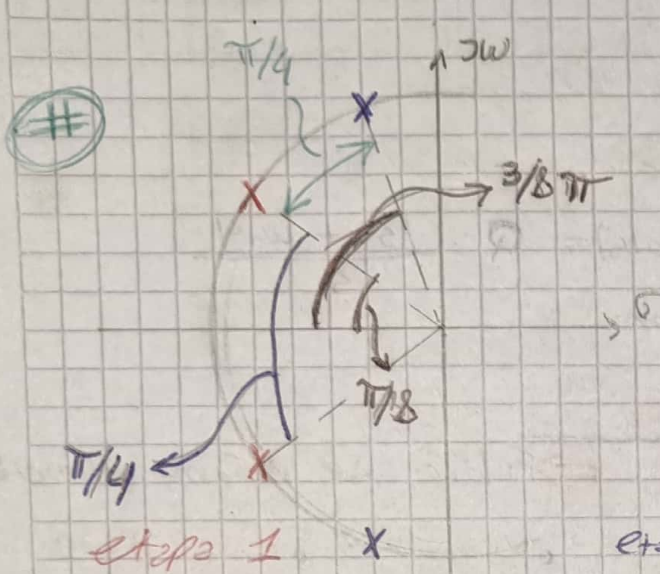
• $\xi^2 = 10^{\frac{\alpha_{max}}{10}} - 1 = 0,2589...$

$\xi = \sqrt{0,2589...} = 0,5088...$

• $\Omega_s = \dfrac{1}{\omega_s} = \dfrac{1}{2/7} = \dfrac{7}{2} > 1$

$8\pi = \pi/8 + \pi/4$

LPF



• Calculo el orden "n" del filtro:

* $\alpha_{min} = \alpha(\Omega = \Omega_S)$; $\Omega_S = 7/2$

$= 10 \cdot \log(1 + \xi^2 \cdot \Omega_S^{2n})$ (#)

$\alpha_{min}(n=3) = 26,78\,dB < 35\,dB$ ✗

$\alpha_{min}(n=4) = 37,66\,dB > 35\,dB$ ✓

$\Rightarrow n = 4$

(#) Recordar que estamos calculando el orden del filtro pasa bajos prototipo del espacio "p", cuya frecuencia es Ω.

Recordar usar Ω_S en vez de ω_S en este caso.

etapa 2

• $T(\$) = \left(\dfrac{1}{\$^2 + \$ \cdot 2\cos(\pi/8) + 1}\right) \cdot \left(\dfrac{1}{s^2 + 2\cos(3/8\,\pi) + 1}\right)$

• $T(s) = T(\$)\Big|_{\$ = K_{PA}(s)} = \dfrac{1}{\left(\frac{1}{s^2} + \frac{1}{s} \cdot 2\cos(\pi/8) + 1\right)} \cdot \dfrac{1}{\left(\frac{1}{s^2} + \frac{1}{s} \cdot 2\cos(3/8\,\pi) + 1\right)}$

$\$ = K_{PA}(s) = \dfrac{1}{s_{n_1}}$

Opero así directamente, en Butter y reemplazo por el núcleo, sin haber desnormalizado.

(Este procedimiento no es correcto, es un ejemplo nomás)

• No es indistinto artificialmente desnormalizar antes o desps.

• No aceptable si aparece una $\boxed{\text{ganancia } K}$ en el numerador haciendo este procedimiento.

* Recomendable: hacer la desnormalización al final de todo.

la desnormalización tiene que pasar por el núcleo tmb.

(stand by)

$T(s) = \left(\dfrac{s^2}{s^2 + s \cdot 2\cos(\pi/8) + 1}\right) \cdot \left(\dfrac{s^2}{s^2 + s \cdot 2\cos(3/8\,\pi) + 1}\right)$ (desps de hacer común denom)

Aclaraciones parte operativa.

(#) Recordar que el filtro debe ser en máxima planicidad (M.P.), pero lo puedo trabajar como en Butter y luego desnormalizo al final.

$|T(\omega)|^2_{MP} = \dfrac{1}{1 + \xi^2 \cdot \omega^{2n}} = \dfrac{1}{1 + \left(\dfrac{\omega}{\xi^{-1/n}}\right)^{2n}} = \dfrac{1}{1 + (\omega'')^{2n}}$

Aplique la transformación en frecuencia $s \to \frac{1}{\phi}$ o $\omega = \frac{-1}{\Omega}$ (ignorar el ⊖)

61.1 e

$$|T(j\omega)|^2 = \frac{1}{1+\xi^2\cdot\left(\frac{1}{\omega}\right)^{2n}} = \frac{1}{1+\left(\frac{1}{\omega\cdot\xi^{-1/n}}\right)^{2n}}$$

(→) sigue

• Cuando sabemos que vamos a un pasa-altos (desde un pasa bajos)

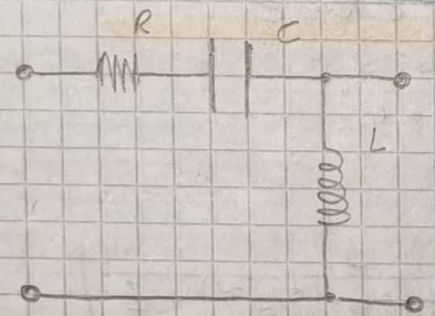
$\omega_{B_{PA}} = \xi^{+1/n}\cdot\omega_p$ le cambio el signo al exponente.

(en pasabanda es otra historia, queda muy complicado).

Primero tengo que desnormalizar y después transformar.

sigue (→)

Implementación: RLC serie.



$\omega'' = \frac{1}{\omega\cdot\xi^{-1/n}} = \frac{1}{\omega}\cdot\frac{1}{\xi^{-1/n}}$

• $\omega = \frac{1}{\omega''}\cdot\xi^{+1/n}$

$\omega_{B_{HP}} = \omega_p\cdot\xi^{+1/n}$ $= 1$

Esto lo utilizo cuando ya apliqué el núcleo de transformación $\phi = K(s)$ y obtengo el HPF, pero todavía sigue en Butter y necesito pasarlo a M.P.

$$T(s) = \frac{sL}{R + \frac{1}{sC} + sL} = \frac{s^2LC}{sRC + 1 + s^2LC}$$

$$T(s) = \frac{s^2}{s^2 + s\frac{R}{L} + \frac{1}{LC}}$$

• los polos son siempre los mismos, lo que yo utilizo donde poner son los ceros.

• Primer sección:

$\omega_{o_1}^2 = 1$

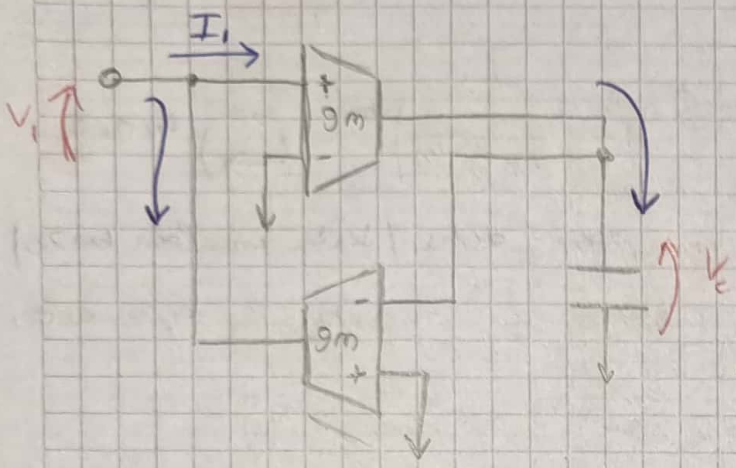
$\frac{\omega_{o1}}{Q_1} = 2\cdot\cos(\pi/8) = \frac{R}{L}$ ~ $\Omega_2 = R \to R = 1$

$L = \frac{1}{2\cdot\cos(\pi/8)}$, $C = \frac{1}{L}$

• En este caso, me conviene asumir L_1 y L_2 son iguales, para así después me sirve para poder reemplazarlos por el FDNR. Usaría un solo GIC.
me quedan L y C iguales en las dos secciones. Buena Aclaración.

Activarlo: con un GIC Antoniou.

tmb se puede activar con dos OTA's y un capacitor
↳ forma un girador.



$V_c = V_1 \cdot gm \cdot \frac{1}{sC}$

$I_1 = +V_c \cdot gm$

$\frac{V_1}{I_1} = \overset{L_{eq}}{\frac{sC}{gm^2}} = s \cdot \underbrace{\frac{C}{gm^2}}_{L_{eq}}$

gm es un parámetro de ajuste del OTA.

Desnormalización: con la W_B con el signo positivo. (Último Paso)

Continuo el ejercicio Post-clase

$\Rightarrow \xi^2 = 0{,}2589 \rightarrow \xi = 0{,}5088 \quad , \quad n = 4$

- Transferencia del LPF prototipo:

$$T_{LP}(\$) = \left(\frac{1}{\$^2 + \$ \cdot \underbrace{2\cos(\pi/8)}_{1{,}848} + 1}\right) \cdot \left(\frac{1}{\$^2 + \$ \cdot \underbrace{2\cos(3/8\,\pi)}_{0{,}765} + 1}\right)$$

$$T_{HP}(\$) = T_{LP}(\$ = K/s) = T_{LP}(\$ = 1/s)$$

$$T_{HP}(s) = \left(\frac{1}{\frac{1}{s^2} + \frac{1}{s} \cdot 2\cos(\pi/8) + 1}\right) \cdot \left(\frac{1}{\frac{1}{s^2} + \frac{1}{s} \cdot 2\cos(3/8\,\pi) + 1}\right)$$

$$= \left(\frac{1}{\frac{1 + s \cdot 2\cos(\pi/8) + s^2}{s^2}}\right) \cdot \left(\frac{1}{\frac{1 + s \cdot 2\cos(3/8\,\pi) + s^2}{s^2}}\right)$$

$$T_{HP}(s) = \left(\frac{s^2}{s^2 + s \cdot 2\cos(\pi/8) + 1}\right) \cdot \left(\frac{s^2}{s^2 + s \cdot 2\cos(3/8\,\pi) + 1}\right) \quad \#$$

- $Q_1 = \frac{1}{2 \cdot \cos(\pi/8)} = 0{,}541$ • $Q_2 = \frac{1}{2 \cdot \cos(3/8\,\pi)} = 1{,}3066$

↳ Q de las singularidades para el LPF normalizado

- $\omega_B = \omega_P \cdot \xi^{-1/n} = 1 \cdot \xi^{-1/4} = 1{,}184$ //

Importante: Al re-normalizar la transferencia desde Butter hacia Máxima Planicidad, lo que varía es $\omega_P \rightarrow \omega_B$, pero "Q", el Q de los polos, se mantiene cte. ya que este está en función de (→)

ejemplo de lo que no hay que hacer.

1→)

del ángulo ψ de la amplitud angular de los polos, lo cual es la misma para ambos casos.

\# Para re-normalizar, reemplazo $w_p = 1 \to w_B$

$$T_{HP}(s) = \left(\frac{s^2}{s^2 + s\cdot\frac{w_B}{Q_1} + w_B^2}\right)\cdot\left(\frac{s^2}{s^2 + s\cdot\frac{w_B}{Q_2} + w_B^2}\right)$$

$$= \left(\frac{s^2}{s^2 + s\cdot 2{,}188 + 1{,}402}\right)\cdot\left(\frac{s^2}{s^2 + s\cdot 0{,}906 + 1{,}402}\right)$$

$p_1 = -1{,}094 \pm 0{,}45295\, j$

$p_2 = -0{,}453 \pm 1{,}09398$ (verificados en spyder)

* cero de orden 4 en el origen.

○ Nota: Lo anterior está mal porque la renormalización de Butterworth → Máxima planicidad tmb debe pasar por el núcleo de transformación en frecuencia, por ende cambia la w_B que utilizo para renormalizar.

$$\bullet\, w_{B(HPF)} = \frac{1}{w_{B(LPF)}} = \frac{1}{\xi^{-1/n}} = \xi^{+1/n}$$

Haciendo uso de la transformación $p = k(s) = \frac{1}{s}$

○ $\Omega = \frac{-1}{w}$ (ignorar el negativo ⊖)

$w_{B(LPF)}$ en realidad debería ser $\Omega_{B(LPF)}$, ya que corresponde al LPF prototipo, pero se entiende.

⟹ Por lo tanto, la $w_{B(HPF)}$ que debo utilizar es:

$$\bullet\, w_{B(HPF)} = w_p \cdot \xi^{+1/n} = 1\cdot(0{,}5088)^{+1/4} = 0{,}8445$$

$\Rightarrow$ Vuelvo a armar las funciones transferencia del HPF, ~~[illegible]~~ para re-normalizarlas.

$$T_{HP}(s) = \left(\frac{s^2}{s^2 + s\cdot\frac{w_B}{Q_1} + w_B^2}\right)\cdot\left(\frac{s^2}{s^2 + s\cdot\frac{w_B}{Q_2} + w_B^2}\right)$$

Utilizando: $w_B = 0{,}84457$; $Q_1 = 0{,}5411$; $Q_2 = 1{,}3066$

$$= \left(\frac{s^2}{s^2 + s\cdot 1{,}5608 + 0{,}713298}\right)\cdot\left(\frac{s^2}{s^2 + s\cdot 0{,}64639 + 0{,}713298}\right)$$

$$\left.\begin{array}{l} P_1 = -0{,}7804 \pm 0{,}3229\, j \\ P_2 = -0{,}323195 \pm 0{,}780284 \end{array}\right\}$$ Verificado con el Spyder

(a)

* cero de orden $n=4$ en el origen

(#) Dato de color, los valores de la parte real e imaginaria de cada par de polos CC están cruzados, son exactamente iguales en simulación numérica.

(b) Implementar el circuito con estructuras pasivas adaptadas mediante buffers.

Transferencia de una estructura pasiva de segundo orden (RLC):

$$T_{2-HP}(s) = \frac{s^2}{s^2 + s\cdot\frac{R}{L} + \frac{1}{L\cdot C}} = \frac{s^2}{s^2 + s\cdot\frac{w_0}{Q} + w_0^2}$$

Asumo: $\underbrace{R_1 = 1}$ $\rightarrow$ $\Omega_Z = R = 1$ (resistencia primer etapa)

• etapa 1:

$$\frac{R_1}{L_1} = 1{,}5608 \rightarrow \frac{1}{1{,}5608} = L_1 \rightarrow L_1 = 0{,}6407 \;//$$

$$\frac{1}{L_1 C_1} = 0{,}713298 \rightarrow C_1 = \frac{1}{L_1}\cdot\frac{1}{0{,}713298} = 2{,}1881 \;//$$

• etapa 2:

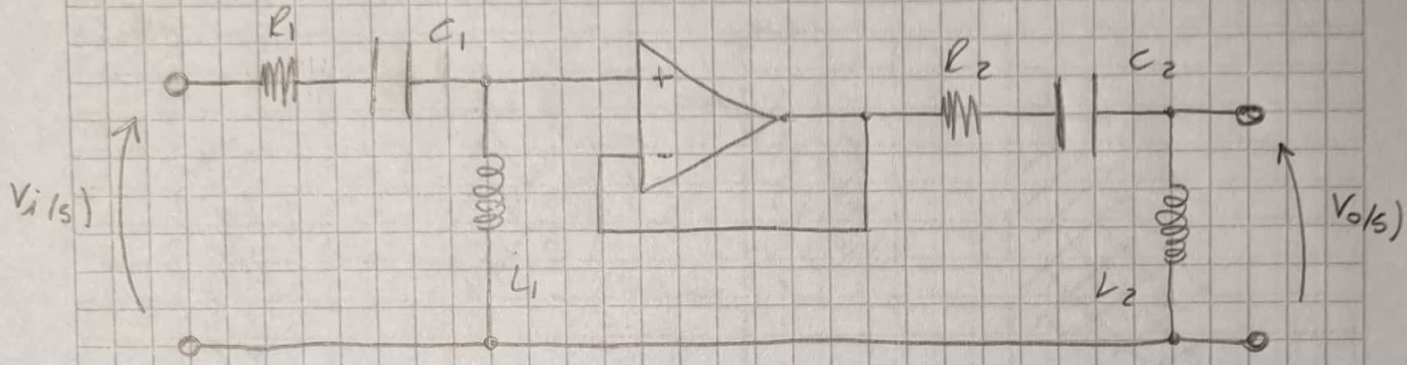
Asumo $L_1 = L_2$ $\rightarrow$ Así después cuando tengo que activar el circuito me queda solamente un único FDNR.

$$\frac{R_2}{L_2} = 0{,}64639 \;;\; R_2 \neq 1 \;,\; L_2 = L_1 = 0{,}6407$$

$$R_2 = L_2\cdot 0{,}64639 = (0{,}6407)\cdot 0{,}64639 = 0{,}414142 \;//$$

Escaneado con CamScanner

$$\frac{1}{L_2 C_2} = 0{,}713298 \rightarrow C_2 = \frac{1}{L_2} \cdot \frac{1}{0{,}713298} = 2{,}1881$$



• Valores componentes normalizados:

$$\begin{cases} R_1 = 1 \\ R_2 = 0{,}414142 \end{cases} \quad \begin{cases} L_1 = 0{,}6407 \\ L_2 = 0{,}6407 \end{cases} \quad \begin{cases} C_1 = 2{,}1881 \\ C_2 = 2{,}1881 \end{cases}$$

(c) Utilizando una norma de impedancia $Z_N = 1k\Omega$, obtenga el valor de los componentes.

$\Omega_\omega = 2\pi \cdot 3500Hz$

Desnormalización conjunta:

• $R = R'' \cdot \Omega_Z$ • $L = \frac{L'' \cdot \Omega_Z}{\Omega_\omega}$ • $C = \frac{C''}{\Omega_\omega \cdot \Omega_Z}$

• $R_1 = R_1'' \cdot \Omega_Z = 1 \cdot 1k\Omega = 1k\Omega$

• $R_2 = R_2'' \cdot \Omega_Z = 0{,}414142 \cdot 1k\Omega = 414{,}142\ \Omega$

• $L_1 = L_2 = L = \frac{L'' \cdot \Omega_Z}{\Omega_\omega} = \frac{0{,}6407 \cdot 1k\Omega}{2\pi \cdot 3500Hz} = 0{,}0291344 = 29{,}1344\ mHy$

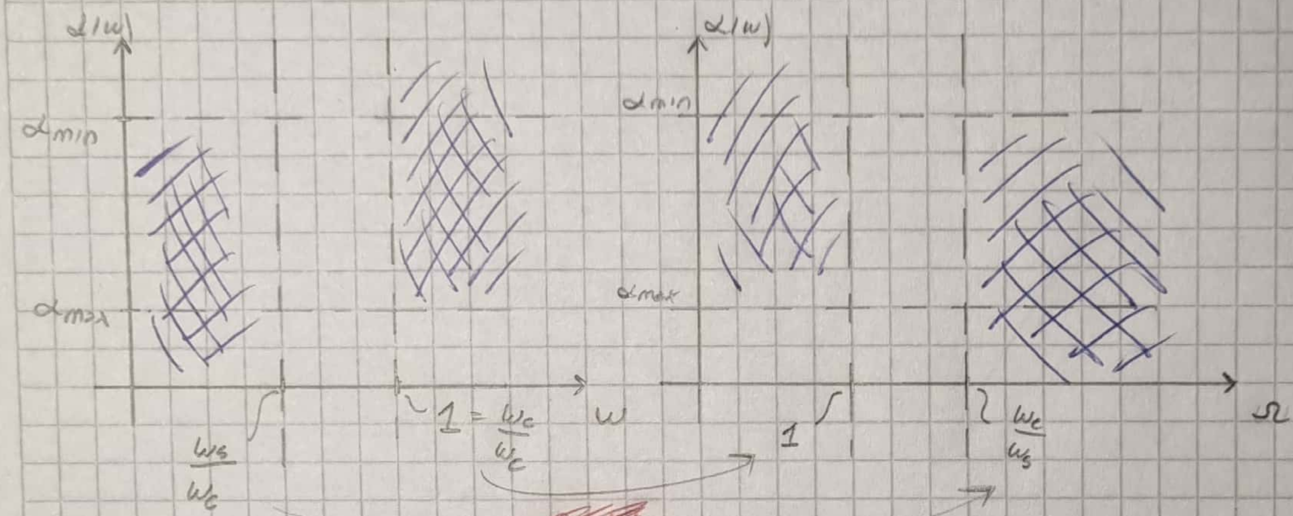
• $C_1 = C_2 = C = \frac{C''}{\Omega_\omega \cdot \Omega_Z} = \frac{2{,}1881}{(2\pi \cdot 3500Hz) \cdot 1k\Omega} = 99{,}4991\ nF$

(d) Active las bobinas utilizando una estructura con $\underbrace{\text{OPAMP's}}_{\text{FDNR}}$.

Resuelto en LTSpice

HPF → LPF

Algunas anotaciones transformación ~~LPF~~ → ~~HPF~~



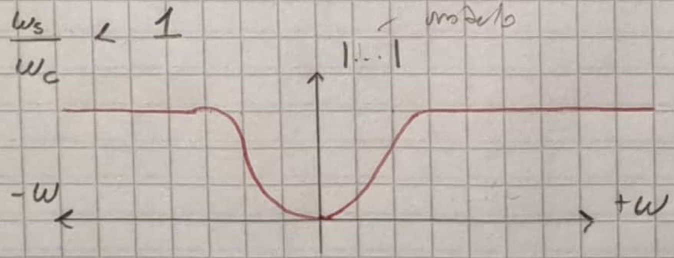
Plantilla de un filtro para altos → Plantilla de un filtro para bajos

$K(\Omega) = \frac{1}{-w}$ (funciona en ambos sentidos)

$K(w) = \frac{1}{-\Omega}$

- w_c es la frecuencia de corte, la cual se toma como norma de frecuencia: $\Omega_w = w_c$.

$\frac{w_s}{w_c} < 1$ $\qquad$ $1 > \frac{w_c}{w_s}$



módulo ~~par~~ PAR del espectro de frecuencia.