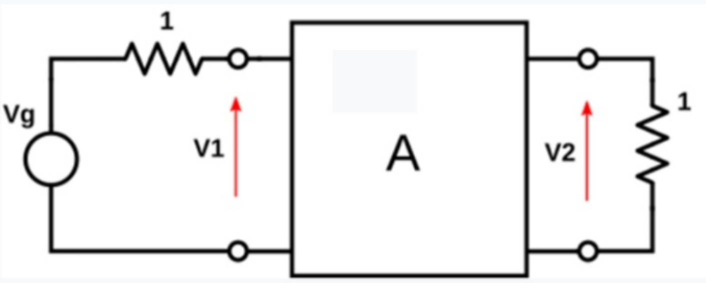
Parte A: **Diseñe el cuadripolo A para que se comporte como:**

- filtro pasa bajos Bessel de 3er. orden
- no disipativo
- normalizado en frecuencia e impedancia

respetando la siguiente topología:

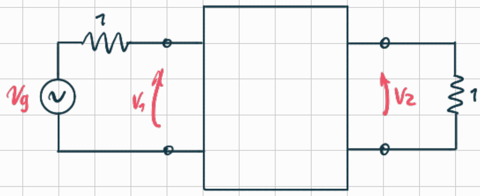


1. Obtenga la impedancia de entrada al cuadripolo A, cargado con un resistor de 1Ω a la salida.
2. Sintetice **A** como un cuadripolo escalera.
3. Simule el comportamiento de la red en *LTspice* graficando **S21** y **S11** en función de la frecuencia. (Ver explicación de Agustín Alba Chicar **1h 48m**)
4. Explique el comportamiento de A a partir de los valores de **S11** en las siguientes frecuencias:
   - centro de la banda de paso
   - frecuencia de corte
   - transición y centro de la banda de detenida
5. Modifique el circuito para que la frecuencia de corte sea 2 π 10^6 rad/s y la resistencia del generador sea 50Ω.

Parte B: **Trabajo de Investigación sobre NANO VNA (Vector Network Analyzer)**

1. Explique brevemente la función principal de un VNA y en que situación/es puede ser fundamental tenerlo como herramienta de medición.
2. Comparar respecto a un ***DSO GW Insteak*** características de: Ancho de Banda, Rango Dinámico e Impedancia de Entrada.
3. Además de las mediciones de **S11** y **S21** , ***investigar*** si el equipo cuenta con alguna medición en el dominio del tiempo.

Parte A



Bessel de 3er orden:

$$n=3: \quad \coth(s) = \frac{1}{s} + \frac{1}{\frac{3}{s} + \frac{s}{5}} = \frac{1}{s} + \frac{5s}{s^2+15} = \frac{6s^2+15}{s^3+15s}$$

$$S_{21} = \frac{1}{\operatorname{senh}(s) + \cosh(s)} = \frac{15}{s^3+6s^2+15s+15}$$

$$|S_{21}|^2 = S_{21}(s)\, S_{21}(-s)$$

$$|S_{21}|^2 = \frac{225}{(s^3+6s^2+15s+15)(-s^3+6s^2-15s+15)} = \frac{225}{-s^6+6s^4-45s^2+225}$$

$$* \quad |S_{11}|^2 + |S_{21}|^2 = 1 \longrightarrow |S_{11}|^2 = 1 - |S_{21}|^2$$

$$|S_{11}|^2 = \frac{-s^6 + 6s^4 - 45s^2 + \cancel{225} - \cancel{225}}{-s^6 + 6s^4 - 45s^2 + 225} = \frac{-s^2(s^4 - 6s^2 + 45)}{-s^6 + 6s^4 - 45s^2 + 225}$$

$$* \quad |S_{11}|^2 = S_{11(s)}\, S_{11(-s)}$$

$$(s^2 + ms + \sqrt{45})(s^2 - ms + \sqrt{45})$$

$$\sqrt{45}\, s^2 - m^2 s^2 + \sqrt{45}\, s^2 = (2\sqrt{45} - m^2)\, s^2 = -6s^2$$

$$m^2 = 2\sqrt{45} + 6$$

$$m = \sqrt{6 + 6\sqrt{5}}$$

$$S_{11(s)} = \frac{s\left(s^2 + \sqrt{6+6\sqrt{5}}\; s + \sqrt{45}\right)}{s^3 + 6s^2 + 15s + 15} = \frac{P_{(s)}}{Q_{(s)}}$$

$$S_{11(s)} = \frac{Z - R_{01}}{Z + R_{01}} \longrightarrow S_{11} Z - Z = -S_{11} R_{01} - R_{01}$$

$$Z(S_{11} - 1) = -R_{01}(S_{11} + 1)$$

$$\frac{Z}{R_{01}} = \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} = \frac{Q + P}{Q - P} = \frac{s^3 + 6s^2 + 15s + 15 + s^3 + \sqrt{6+6\sqrt{5}}\, s^2 + \sqrt{45}\, s}{\cancel{s^3} + 6s^2 + 15s + 15 - \cancel{s^3} - \sqrt{6+6\sqrt{5}}\, s^2 - \sqrt{45}\, s}$$

$$\frac{Z}{R_{01}} = \frac{2s^3 + (6 + \sqrt{6+6\sqrt{5}})\, s^2 + (15 + \sqrt{45})\, s + 15}{(6 - \sqrt{6+6\sqrt{5}})\, s^2 + (15 - \sqrt{45})\, s + 15}$$

* Cauer: remoción en ∞

$$\begin{array}{l|l}
2s^3 + 10{,}406\, s^2 + 21{,}708\, s + 15 & 1{,}594\, s^2 + 8{,}292\, s + 15 \\
\underline{2s^3 + 10{,}406\, s^2 + 18{,}825\, s} & 1{,}255\, s \\
\end{array}$$

$1{,}255$

$$\begin{array}{l|l}
1{,}594\, s^2 + 8{,}292\, s + 15 & 2{,}883\, s + 15 \\
\underline{1{,}594\, s^2 + 8{,}292\, s} & 0{,}553\, s \\
\end{array}$$

$0{,}553$

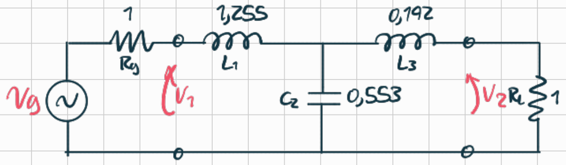
$$\begin{array}{l|l}
2{,}883\, s + 15 & 15 \\
\underline{2{,}883\, s} & 0{,}192\, s \\
\end{array}$$

$0{,}192$

$$\begin{array}{l|l}
15 & 15 \\
0 & 1 \\
\end{array}$$

1

* Circuito Final



* Análisis de α_{max}

$$S_{21(s)} = \frac{15}{s^3 + 6s^2 + 15s + 15} \longrightarrow S_{21(\omega)} = S_{21(s)}\Big|_{s=j\omega} = \frac{15}{15 - 6\omega^2 + j(15\omega - \omega^3)}$$

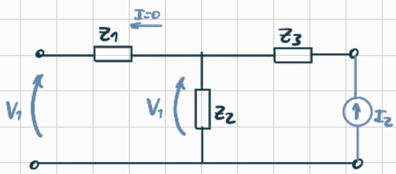
$$\alpha_{max} = -20 \log \left(\frac{15}{\sqrt{(15 - 6\omega^2)^2 + (15\omega - \omega^3)^2}} \right) \Bigg|_{\omega = \omega_p = 1} = 0{,}9029725095 \text{ dB}$$

/ /

* Verificación:

$$T_{ABCD} = T_Z \cdot T_{Tee} = \begin{pmatrix} 1 & R_g \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_{Tee} & B_{Tee} \\ C_{Tee} & D_{Tee} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/R_L & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$$

* TEE pasiva:



$$Z_{11} = \left.\frac{V_1}{I_1}\right|_{I_2=0} = Z_1 + Z_2 \qquad A_{Tee} = \left.\frac{V_1}{V_2}\right|_{I_2=0} = \frac{Z_{11}}{Z_{21}} = \frac{Z_1+Z_2}{Z_2}$$

$$Z_{22} = \left.\frac{V_2}{I_2}\right|_{I_1=0} = Z_3 + Z_2 \qquad D_{Tee} = \left.\frac{I_1}{(-I_2)}\right|_{V_2=0} = \frac{Z_{22}}{Z_{21}} = \frac{Z_3+Z_2}{Z_2}$$

$$Z_{12} = Z_{21} = \left.\frac{V_1}{I_2}\right|_{I_1=0} = Z_2 \qquad C_{Tee} = \left.\frac{I_1}{V_2}\right|_{(-I_2)=0} = \frac{1}{Z_{21}} = \frac{1}{Z_2}$$

$$B_{Tee} = \left.\frac{V_1}{(-I_2)}\right|_{V_2=0} = \frac{Z_{11}Z_{22}}{Z_{21}} - Z_{12} = \frac{Z_1Z_3+Z_1Z_2+Z_2Z_3}{Z_2}$$

$$S_{21} = 2\frac{V_2}{V_g} = 2\,\frac{V_1}{V_g}\,\frac{V_2}{V_1} = 2\,\frac{1}{A} = \frac{\frac{2R_L}{C_2L_1L_3}}{s^3 + s^2\frac{(L_1R_L+L_3R_g)}{L_1L_3} + s\frac{(C_2R_gR_L+L_1+L_3)}{C_2L_1L_3} + \frac{R_g+R_L}{C_2L_1L_3}}$$

Obtenido con simulación simbólica

- Reemplazando valores:

$$S_{21} = \frac{15}{s^3+6s^2+15s+15}$$ ✓ Verifica

* Desnormalizando para $\omega_0 = 2\pi\,10^6$ rad/seg y $R_g = 50\Omega$

$$S_{21} = \frac{15}{s^3+6s^2+15s+\underbrace{15}_{\omega_0^3}}$$

$$\omega_0 = \sqrt[3]{15}$$

- $\Omega_\omega = \dfrac{2\pi\,10^6 \text{ rad/seg}}{\sqrt[3]{15}}$
- $\Omega_Z = 50\Omega$

$$L_1 = \frac{\Omega_Z}{\Omega_\omega} L_{1n} = 24{,}629\ \mu H$$

$$L_3 = \frac{\Omega_Z}{\Omega_\omega} L_{3n} = 3{,}768\ \mu H$$

$$C_2 = \frac{1}{\Omega_\omega \Omega_Z} C_{2n} = 4{,}341\ nF$$

$$R_g = \Omega_Z R_{g_n} = 50\Omega$$

$$R_L = \Omega_Z R_{L_n} = 50\Omega$$