

## Parte I

# Control de tonos y ecualizador de fase

A lo largo de esta parte, se pondra foco en el circuito mostrado en la Figura 1, que se trata de un circuito de control de tonos.

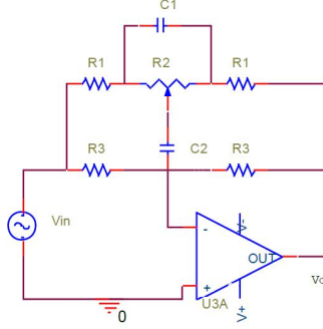


Figura 1: Circuito de Control de Tonos

## 1. Transferencia

Al calcular la transferencia genericamente para cualquier valor de impedancias, y llamando a  $R_2 = R_{21} + R_{22}$ , el calculo de la transferencia se expresa como la ecuación (1).

$$H(s) = -\frac{20C_2^2 K^2 R_1 R_2^2 s^2 - 20C_2^2 K R_1 R_2^2 s^2 - 10C_2^2 R_1^2 R_2 s^2 - 100C_2^2 R_1 R_2^2 s^2 + C_2 K^2 R_2^2 s + 9C_2 K R_2^2 s - C_2 R_1^2 s - 31C_2 R_1 R_2 s - 10C_2 R_1^2 s}{20C_2^2 K^2 R_1 R_2^2 s^2 - 20C_2^2 K R_1 R_2^2 s^2 - 10C_2^2 R_1^2 R_2 s^2 - 100C_2^2 R_1 R_2^2 s^2 + C_2 K^2 R_2^2 s - 11C_2 K R_2^2 s - C_2 R_1^2 s - 31C_2 R_1 R_2 s - 10C_2 R_1^2 s}$$

Si reacomodamos de la siguiente manera:

$$H(s) = \frac{As^2 + Bs + C}{As^2 + Es + C} \quad (1)$$

$$A = 20C_2^2 K^2 R_1 R_2^2 - 20C_2^2 K R_1 R_2^2 - 10C_2^2 R_1^2 R_2 - 100C_2^2 R_1 R_2^2 \approx -100C_2^2 R_1 R_2^2$$

$$B = C_2 K^2 R_2^2 + 9C_2 K R_2^2 - C_2 R_1^2 - 31C_2 R_1 R_2 - 10C_2 R_1^2$$

$$C = -2R_1 - R_2$$

$$E = C_2 K^2 R_2^2 - 11C_2 K R_2^2 - C_2 R_1^2 - 31C_2 R_1 R_2$$

## 2. Análisis de frecuencia central

Para obtener la frecuencia central, basta con llevar a la ecuación de transferencia de la siguiente manera

$$H(s) = \frac{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + \frac{s}{Q_z \omega_0} + 1}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + \frac{s}{Q_p \omega_0} + 1} \quad (2)$$

Por lo tanto;

$$\frac{1}{\omega_0^2} = \frac{A}{C}$$

$$\Rightarrow \omega_0 = \frac{\sqrt{2 + \frac{R_2}{R_1}}}{10C_2R_2} \Rightarrow f_0 = \frac{\sqrt{2 + \frac{R_2}{R_1}}}{20\pi C_2R_2}$$

### 3. Análisis paramétrico

Si se analiza los factores de calidad correspondientes se obtiene:

$$Q_z = \frac{C}{B\omega_0}$$

$$Q_z = -\frac{10C_2\sqrt{R_1}R_2\sqrt{2R_1+R_2}}{C_2K^2R_2^2+9C_2KR_2^2-C_2R_1^2-31C_2R_1R_2-10C_2R_2^2}$$

$$Q_p = \frac{C}{E\omega_0}$$

$$Q_p = -\frac{10C_2\sqrt{R_1}R_2\sqrt{2R_1+R_2}}{-C_2K^2R_2^2+11C_2KR_2^2+C_2R_1^2+31C_2R_1R_2}$$

por lo tanto, la ganancia para la frecuencia central del filtro quedará dada por:

$$A = \frac{R_1^2 + 31R_1R_2 + 10R_2^2}{R_1(R_1 + 31R_2)} \approx \frac{3R_1 + R_2}{3R_1} K = 0$$

$$A = \frac{R_1(R_1 + 31R_2)}{R_1^2 + 31R_1R_2 + 10R_2^2} \approx \frac{3R_1}{R_2 + 3R_1} K = 1$$

$$A = \frac{-K^2R_2^2 - 9KR_2^2 + R_1^2 + 31R_1R_2 + 10R_2^2}{-K^2R_2^2 + 11KR_2^2 + R_1^2 + 31R_1R_2} \text{ Expresado Parametricamente en } K$$

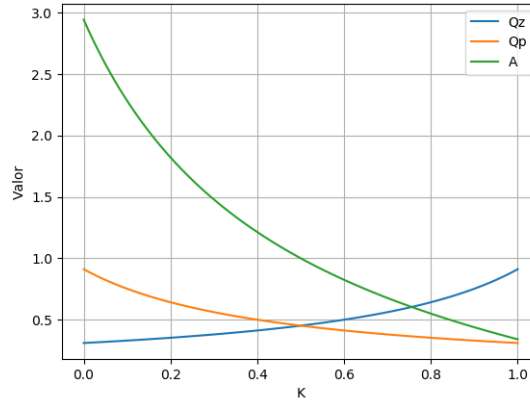


Figura 2: Diagrama paramétrico

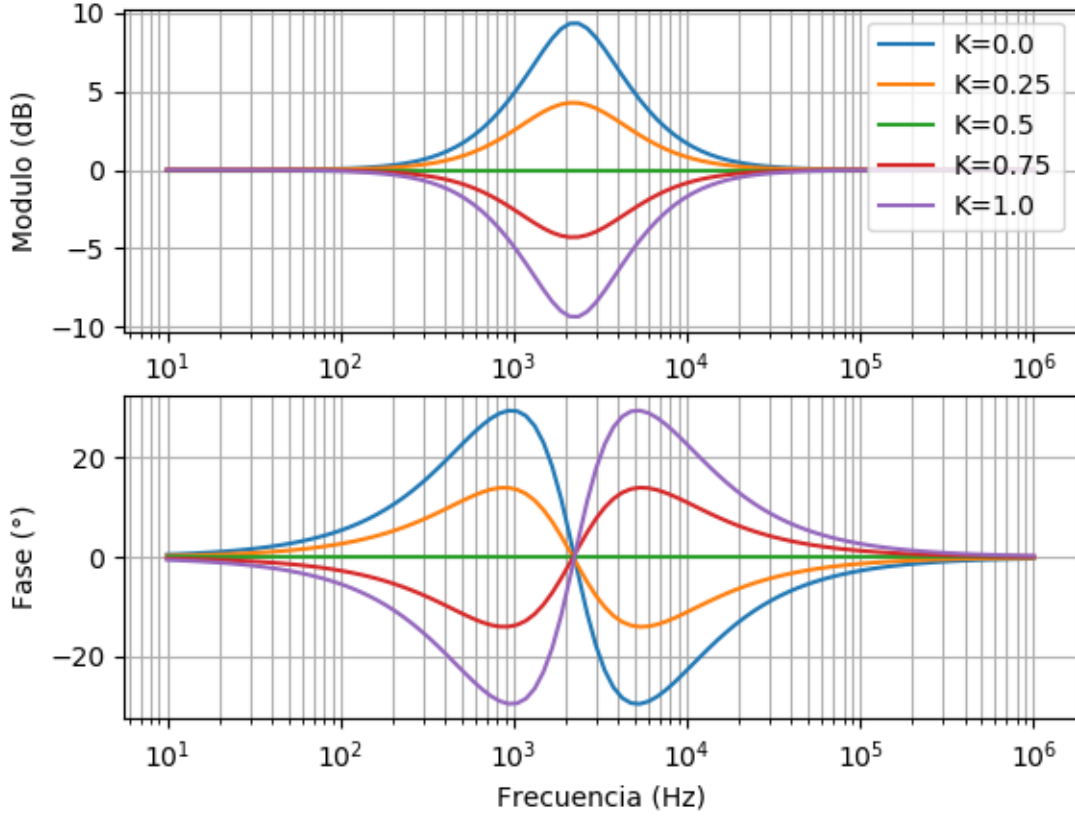


Figura 3: Respuesta en frecuencia paramétrica para una frecuencia dada

## 4. Análisis de singularidades

### 4.1. Análisis de Ceros

Si resolvemos la ecuación cuadrática para el nominador expresado en la ecuación (2), obtenemos que la expresión para encontrar los ceros de nuestro circuito, esta dada por:

$$C_{1,2} = \frac{-\frac{1}{Q_z \omega_0} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{Q_z \omega_0}\right)^2 - 4 \frac{1}{\omega_0^2}}}{2 \frac{1}{\omega_0^2}}$$

$$\Rightarrow C_{1,2} = -\frac{\omega_0}{2Q_z} \pm \frac{\omega_0}{2} \sqrt{\frac{1}{Q_z^2} - 4}$$

### 4.2. Análisis de polos

De la misma manera que se procedió para encontrar los ceros en la subsección 4.1, los polos quedan determinados por:

$$\Rightarrow P_{1,2} = -\frac{\omega_0}{2Q_P} \pm \frac{\omega_0}{2} \sqrt{\frac{1}{Q_P^2} - 4}$$

### 4.3. Análisis de singularidades paramétricas

Si tenemos en cuenta, las expresiones para los polos y los ceros obtenidas anteriormente, y una frecuencia central determinada, como por ejemplo la propuesta en la Figura 3, se podrá hacer una analisis parametrico graficando como varían los polos y los ceros en un diagrama Imaginario/Real segun la variación de la resistencia  $R_2$ .

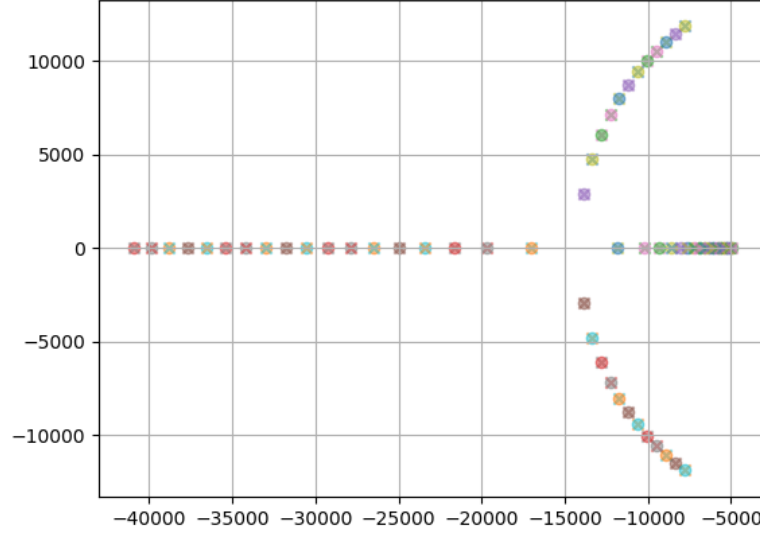


Figura 4: Diagrama paramétrico de polos y ceros

Como se puede observar en la Figura 4, los polos y los ceros se superponen a partir de cierto valor de  $K$ . Graficando los polos y los ceros con  $K$  variando entre  $0 < K < 0,5$ , se obtienen todos los ceros reales, como se puede observar en la Figura 5. Por otro lado, si se varía  $K$  entre  $0,5 < K < 1$ , se puede observar que todos los polos son reales, como se observa en la Figura 6.

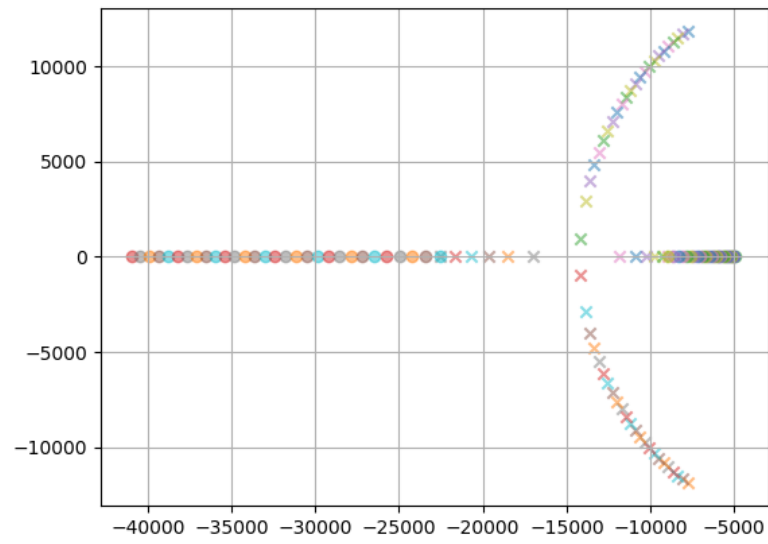


Figura 5: Diagrama paramétrico de polos y ceros con  $K$  variando de 0 a 0.5

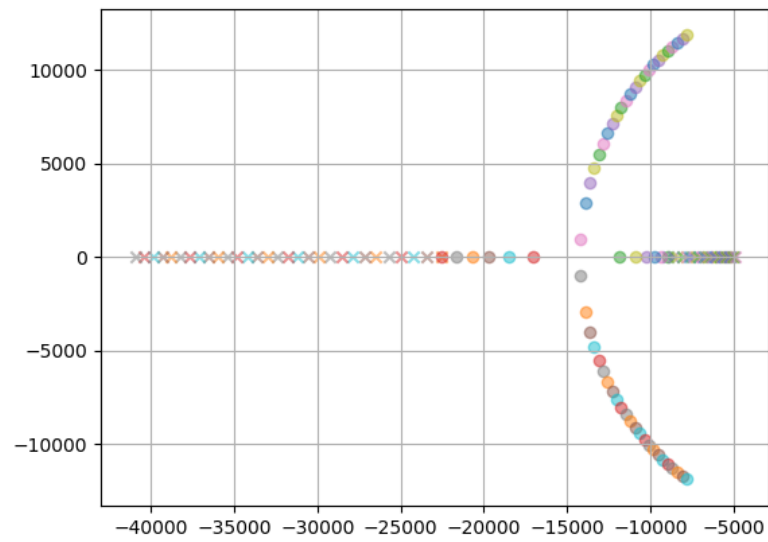


Figura 6: Diagrama paramétrico de polos y ceros con  $K$  variando de 0.5 a 1