FILTROS CLASIFICACIÓN

DEFINICIÓN :

EL FILTRO ES UN DISPOSITIVO ELÉCTRICO o ELECTRÓNICO, QUE PERMITE PASAR UNA DETERMINADA BANDA DE FRECUENCIAS DE UNA SEÑAL, MIENTRAS QUE ATENÚA TODAS AQUELLAS FRECUENCIAS QUE ESTÁN FUERA DE ESA BANDA.

CLASIFICACIÓN :

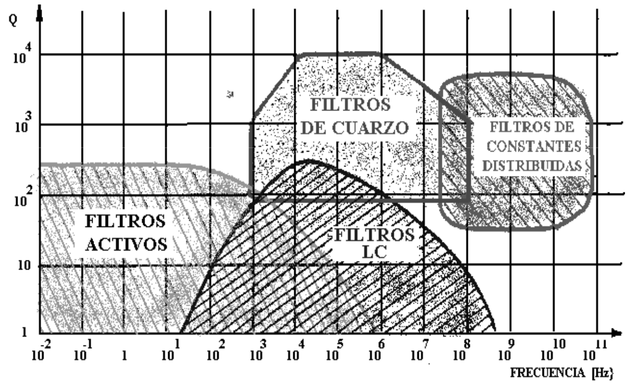
- *PASIVOS o ACTIVOS*
- *ANALÓGICOS, DIGITALES o MECÁNICOS*
- *TIPO DE FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA*
- *TIPO DE RESPUESTA EN FRECUENCIA*
- *ORDEN DEL FILTRO*

CLASIFICACIÓN DE LOS FILTROS DE ACUERDO A SU PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

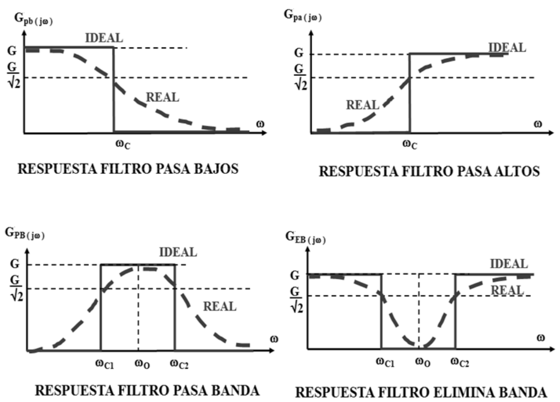
FILTROS ELÉCTRICOS

- **PASIVOS CTE. CONCENTRADAS**
  - ELECTROMECÁNICOS
  - PIEZOELÉCTRICOS
  - LC
- **PASIVOS CTE. DISTRIBUIDAS**
  - DE CAVIDADES
  - DE LINEAS DE TRANSMISIÓN
  - DE GUÍAS
- **ACTIVOS**
  - LC
  - RC
- **DIGITALES**

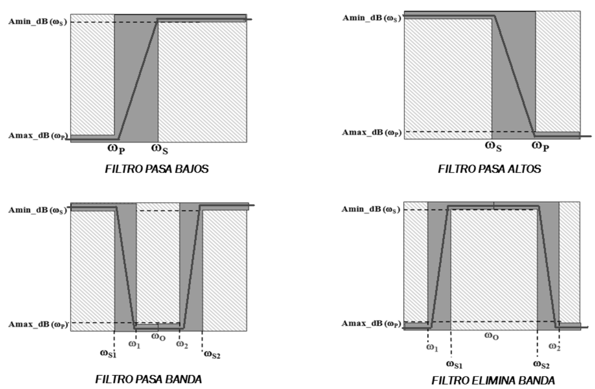
CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS PRINCIPALES FILTROS ANALÓGICOS



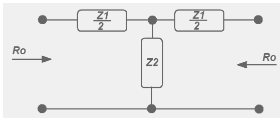
CLASIFICACIÓN DE FILTROS DE ACUERDO A LA RESPUESTA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA GANANCIA "G"

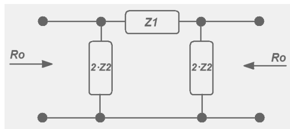


CLASIFICACIÓN DE FILTROS DE ACUERDO A LA RESPUESTA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA ATENUACIÓN "A" Y LA APLICACIÓN DE PLANTILLAS



FILTROS K-CONSTANTE





CLASIFICACIÓN DE LOS FILTROS DE ACUERDO A SU PRINCIPIO DE DISEÑO

TEORÍA CONVENCIONAL : BASADOS EN LA TEORÍA DE CUADRIPOLOS.
- FILTROS DE K-CONSTANTE
- FILTROS m-DERIVADOS

TEORÍA MODERNA : BASADOS EN LA TEORÍA DE LA APROXIMACIÓN.
- BUTTERWORTH
- CHEVYSVHEV
- BESSEL
- CAUER o ELIPTICOS

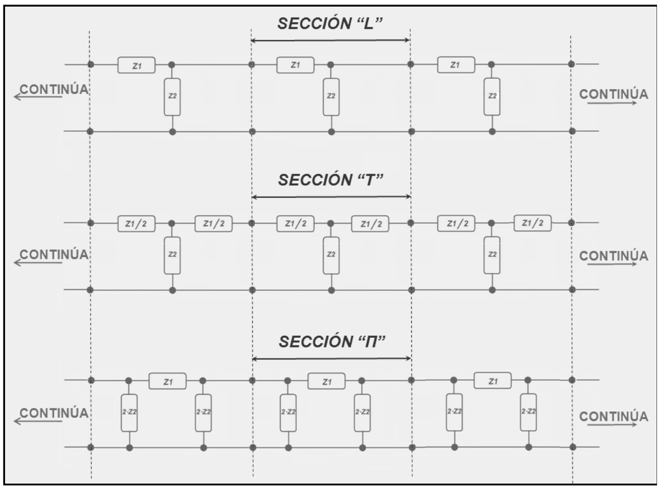
LOS FILTROS DE K-CTE BASAN SU FUNCIONAMIENTO EN LAS REDES DE ZOBEL Y DE CAMPBELL.

OTTO ZOBEL Y G. A. CAMPBELL DESARROLLARON ESTA TEORÍA EN LOS LABORATORIOS BELL EN 1923.

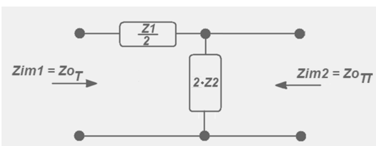
EL DISEÑO DE LAS SECCIÓNES DE FILTRADO, SE BASAN EN LAS IMPEDANCIAS IMÁGENES DE LAS MISMAS.

LA IMPEDANCIA DE CARGA DEL FILTRO SE ESPECIFÍCA PARA SER CONSTANTE Y PURAMENTE RESISTIVA.

LA FORMA GENERAL DE LOS FILTROS DE CAMPBELL, CONSISTEN DE UNA CONECCIÓN EN CASCADA DE CUADRIPOLOS O SECCIONES TIPO "L".



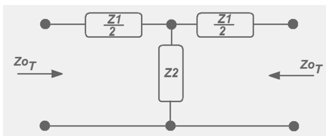
IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA EN CUADRIPOLOS TIPO "L"



$$Zim1_L = \sqrt{Z_1 \times Z_2} \times \sqrt{1 + \frac{Z_1}{4Z_2}}$$
$$Zim1_L = Zo_T$$

$$Zim2_L = \frac{\sqrt{Z_1 \times Z_2}}{\sqrt{1 + \frac{Z_1}{4Z_2}}}$$
$$Zim2_L = Zo_\Pi$$

IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA EN CUADRIPOLOS TIPO "T" Y "Π"

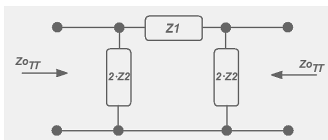


$$Zo_T = \sqrt{Z_1 \times Z_2} \times \sqrt{1 + \frac{Z_1}{4Z_2}}$$
$$Zo_T = Ro \times \sqrt{1 - |X_K|^2}$$

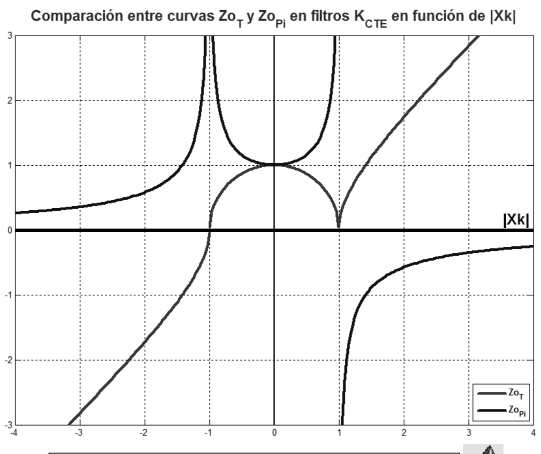
EN FILTROS DE K-CONSTANTE TENEMOS QUE :

$$Ro = \sqrt{Z_1 \times Z_2}$$

$$-|X_K|^2 = \frac{Z_1}{4Z_2}$$



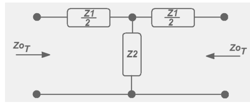
$$Zo_\pi = \frac{\sqrt{Z_1 \times Z_2}}{\sqrt{1 + \frac{Z_1}{4Z_2}}}$$
$$Zo_\pi = \frac{Ro}{\sqrt{1 - |X_K|^2}}$$



Curvas obtenidas con programa Zok_T_PI.m en MATLAB

FUNCIÓN DE PROPAGACIÓN EN CUADRIPOLO TIPO "T" SIMÉTRICO

PARA UN CUADRIPOLO TIPO "T" TENEMOS :



$$\cosh\gamma = A = \frac{\frac{Z_1}{2}+Z_2}{Z_2} = 1+\frac{Z_1}{2*Z_2}$$

PERO ES MÁS CÓMODO TRABAJAR CON LA EXPRESIÓN DEL **senh (γ/2)**

$$senh\frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{1}{2}(\cosh\gamma-1)}$$

$$senh\frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{1}{2}\left(1+\frac{Z_1}{2*Z_2}-1\right)} = \sqrt{\frac{Z_1}{4*Z_2}}$$

$$senh\frac{\gamma}{2} = senh\frac{1}{2}(\alpha+j\beta) = senh\left(\frac{\alpha}{2}+\frac{j\beta}{2}\right) = senh\frac{\alpha}{2}*\cos\frac{\beta}{2}+j\cosh\frac{\alpha}{2}*sen\frac{\beta}{2}$$

$$\boxed{senh\frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{Z_1}{4*Z_2}} = X_K}$$

EN LOS FILTROS DE K-CTE : $\boxed{Z_{1K}\bullet Z_{2K} = Ro^2}$ ☆

PARA QUE ESTO SEA CIERTO Z1K y Z2K , DEBEN SER REACTANCIAS DE DISTINTO SIGNO :

Z1K	L1	C1	L1 C1	L1 C1
Z2K	C2	L2	L2 C2	L2 C2
Z1K * Z2K	$\frac{L1}{C2}$	$\frac{L2}{C1}$	$\frac{L1}{C2}=\frac{L2}{C1}$	$\frac{L1}{C2}=\frac{L2}{C1}$

SI SE CUMPLE QUE : $\boxed{Z_{1K}\bullet Z_{2K} = Ro^2}$ ☆

TENDREMOS :

$$\boxed{\frac{Z_{1K}}{4*Z_{2K}} = \frac{Z_{K1}^{\;2}}{4*R_O^{\;2}} = \frac{R_O^{\;2}}{4*Z_{2K}^{\;2}}}$$

POR LO TANTO :

$$\boxed{\sqrt{\frac{Z_{1K}}{4*Z_{2K}}} = \frac{Z_{K1}}{2*R_O} = \frac{R_O}{2*Z_{2K}}}$$

DE DONDE X_K *ES IMAGINARIO PURO* ⟶ $X_K = j\,|X_K|$

DADO QUE X_K *ES IMAGINARIO PURO , RECORDANDO :*

$$senh\frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{Z_1}{4*Z_2}} = X_K = j[X_K] = \underbrace{senh\frac{\alpha}{2}*\cos\frac{\beta}{2}}_{0} + j\cosh\frac{\alpha}{2}*sen\frac{\beta}{2}$$

LA PARTE REAL DE senh *(γ/2) DEBE SER CERO :* ⇨ $\boxed{senh\frac{\alpha}{2}*\cos\frac{\beta}{2} = 0}$

ESTO OCURRE SI : $\boxed{\alpha = 0 \quad ó \quad \beta = \pm\Pi}$

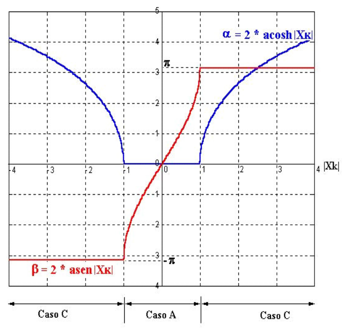
PARA $\boxed{\alpha = 0 \quad\rightarrow\quad \cosh\alpha = 1}$

$$\boxed{senh\frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{Z_1}{4*Z_2}} = X_K = \cancel{j}[X_K] = \cancel{j}\cancel{\cosh\frac{\alpha}{2}}^{1}*sen\frac{\beta}{2} \quad\therefore\quad \beta = 2\,sen^{-1}[X_K]}$$

PARA $\boxed{\beta = \pm\Pi \quad\rightarrow\quad sen\,\beta/2 = \pm 1}$

$$\boxed{senh\frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{Z_1}{4*Z_2}} = X_K = \cancel{j}[X_K] = \cancel{j}\cosh\frac{\alpha}{2}*\cancel{sen\frac{\beta}{2}}^{1} \quad\therefore\quad \alpha = 2\cosh^{-1}[X_K]}$$

CURVAS DE ATENUACIÓN (α) Y FASE (β) DE FILTROS K-CTE :



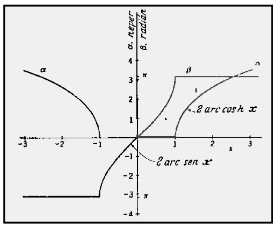
KCTE_CURVAS.m

CASO	$\frac{Z_1}{4Z_2}$	α	β	CARÁCTER DE Zo	BANDA
A	-1 a 0	0	$2*sin^{-1}\sqrt{\lvert Z_1/4Z_2\rvert}$	RESISTENCIA PURA	PASANTE
B	0 a ∞	$2*sinh^{-1}\sqrt{\lvert Z_1/4Z_2\rvert}$	0	REACTANCIA PURA	DETENIDA
C	-∞ a -1	$2*\cosh^{-1}\sqrt{\lvert Z_1/4Z_2\rvert}$	±π	REACTANCIA PURA	DETENIDA

DISEÑO DE FILTRO PASA-BAJOS DE K_{KTE}

DATOS : ω_C y R_O

SELECCIONAR BANDA PASANTE EN CURVA DE K_{CTE}



SELECCIONAR TIPO DE REACTANCIA PARA Z_{K1} Y Z_{K2}

Z_{K1} { PERMITE PASAR FREC. BAJAS; SE OPONE AL PASO DE FREC. ALTAS } $j\omega L_1$

Z_{K2} { PERMITE PASAR FREC. ALTAS; SE OPONE AL PASO DE FREC. BAJAS } $\dfrac{1}{j\omega C_2}$

DEL GRÁFICO :

$$\sqrt{\frac{Z_1}{4*Z_2}} = 1 \Rightarrow \frac{Z_1}{2*R_o} = j1$$

$$Z_{K1} = j\omega_C L_1 = j2*R_O$$
$$\therefore$$
$$L_1 = \frac{2*R_O}{\omega_C}$$

RECORDANDO :

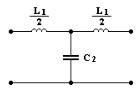
$Z_{K1} * Z_{K2} = R_O^2$

$$Z_{K2} = \frac{1}{j\omega_C C2} = \frac{R_O^2}{Z_{K1}} = \frac{R_O^2}{j\omega_C \dfrac{2*R_O}{\omega_C}}$$

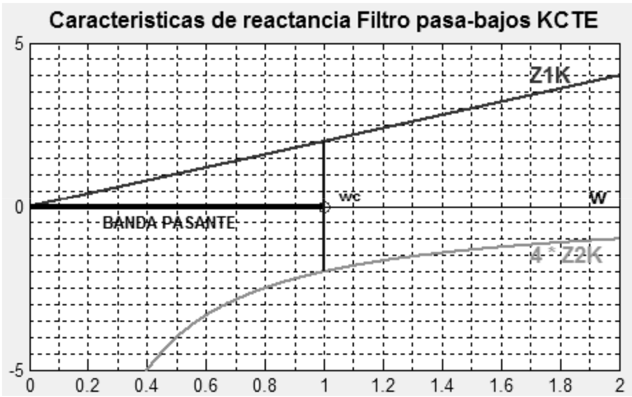
$$C_2 = \frac{2}{R_O*\omega_C}$$

COMO COMPROBACIÓN

$$\omega_C = \frac{2}{\sqrt{L_1*C_2}}$$



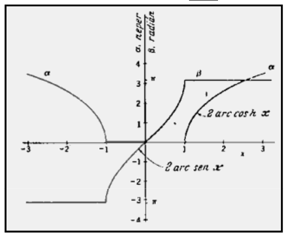
MATLAB
EWB
MICROCAP III
PSPICE



DISEÑO DE FILTRO PASA-ALTOS DE K_{KTE}

DATOS : ω_C y R_O

SELECCIONAR BANDA PASANTE EN CURVA DE K_{CTE}



SELECCIONAR TIPO DE REACTANCIA PARA Z_{K1} Y Z_{K2}

Z_{K1} { PERMITE PASAR FREC. ALTAS; SE OPONE AL PASO DE FREC. BAJAS } $\dfrac{1}{j\omega C_1}$

Z_{K2} { PERMITE PASAR FREC. BAJAS; SE OPONE AL PASO DE FREC. ALTAS } $j\omega L_2$

DEL GRÁFICO :

$$\sqrt{\frac{Z_1}{4*Z_2}} = -1 \Rightarrow \frac{Z_1}{2*R_o} = -j1$$

$$Z_{K1} = \frac{1}{j\omega_C C_1} = -j2*R_O$$
$$\therefore$$
$$C_1 = \frac{1}{2*R_O*\omega_C}$$

RECORDANDO :

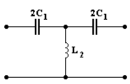
$Z_{K1} * Z_{K2} = R_O^2$

$$Z_{K2} = j\omega_C L2 = \frac{R_O^2}{Z_{K1}} = \frac{R_O^2}{\dfrac{1}{j\omega_C \dfrac{1}{2*R_O\omega_C}}}$$

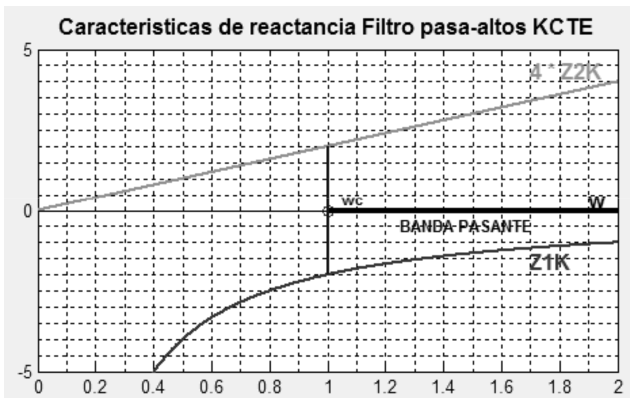
$$L_2 = \frac{R_O}{2*\omega_C}$$

COMO COMPROBACIÓN

$$\omega_C = \frac{1}{2*\sqrt{L_2*C_1}}$$



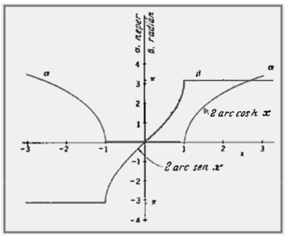
MATLAB
EWB
MICROCAP III
PSPICE



DISEÑO DE FILTRO PASA-BANDA DE K_{KTE}

DATOS : ω_{C1} , ω_{C2} y R_O

SELECCIONAR BANDA PASANTE EN CURVA DE K_{CTE}



SELECCIONAR TIPO DE REACTANCIA PARA Z_{K1} Y Z_{K2}

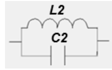
Z_{K1} { PERMITE PASAR UNA BANDA DE FRECUENCIAS } $j\omega L_1 + \dfrac{1}{j\omega C_1}$

Z_{K2} { SE OPONE AL PASO DE UNA BANDA DE FREC. } $j\omega L_2 \;//\; \dfrac{1}{j\omega C_2}$

POR LO TANTO DE LO ANTERIOR :

$Z_{K1} \rightarrow$ CIRCUITO RESONANTE

$Z_{K2} \rightarrow$ CIRCUITO ANTIRESONANTE



DEBE CUMPLIRSE QUE :

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_1 \bullet C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 \bullet C_2}}$$

ADEMÁS:

$$\omega_o = \sqrt{\omega_{C1} \bullet \omega_{C2}}$$

y

$$BW = \omega_{C2} - \omega_{C1}$$

ADEMÁS:

$$Z_{K1} = PL_1 + \frac{1}{PC_1} = \frac{PL_1C_1 + 1}{PC_1}$$

Recordando $\Rightarrow \quad \omega_o = \dfrac{1}{\sqrt{L_1C_1}}$

cambiando $P \rightarrow j\omega$ *y operando* :

$$Z_{K1} = jL_1 \bullet \left(\frac{\omega^2 - \omega_o^2}{\omega} \right)$$

DEL GRÁFICO PARA

$\omega = \omega_{C1}$:

$$X_K = \sqrt{\frac{Z_1}{4*Z_2}} = -1 \Rightarrow \frac{Z_1}{2*R_o} = -j1$$

DEL GRÁFICO PARA

$\omega = \omega_{C2}$:

$$X_K = \sqrt{\frac{Z_1}{4*Z_2}} = +1 \Rightarrow \frac{Z_1}{2*R_o} = +j1$$

$$-j1 = \left.\frac{Z_{1K}}{2R_O}\right|_{\omega=\omega_{C1}} = \frac{jL_1 \bullet \left(\dfrac{\omega_{C1}^2 - \omega_o^2}{\omega_{C1}} \right)}{2R_O}$$

$$+j1 = \left.\frac{Z_{1K}}{2R_O}\right|_{\omega=\omega_{C2}} = \frac{jL_1 \bullet \left(\dfrac{\omega_{C2}^2 - \omega_o^2}{\omega_{C2}} \right)}{2R_O}$$

OPERANDO :

$$-j1 = \left.\frac{Z_{1K}}{2R_O}\right|_{\omega=\omega_{C1}} = \frac{jL_1 \bullet \left(\dfrac{\omega_{C1}^2 - \omega_o^2}{\omega_{C1}} \right)}{2R_O}$$

pero $\boxed{\omega_o^2 = \omega_{C1} \bullet \omega_{C2}}$

$$-\cancel{j}1 = \frac{\cancel{j}L_1 \bullet \left(\dfrac{\omega_{C1}^2 - (\omega_{C1} \bullet \omega_{C2})}{\omega_{C1}} \right)}{2R_O}$$

$$1 = \frac{L_1 \bullet (\omega_{C2} - \omega_{C1})}{2R_O} = \frac{L_1 \bullet BW}{2R_O}$$

$$\therefore \quad L_1 = \frac{2R_O}{BW}$$

RECORANDO :

$$\frac{L_1}{C_2} = R_O^2$$

$$C_2 = \frac{L_1}{R_O^2} = \frac{\dfrac{2\cancel{R_O}}{BW}}{R_O^{\cancel{2}}}$$

$$C_2 = \frac{2}{BW \bullet R_O}$$

RECORDANDO :

$$\boxed{\omega_o^2 = \frac{1}{L_1 \bullet C_1} = \frac{1}{L_2 \bullet C_2}}$$

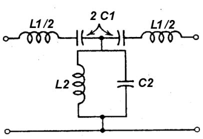
$$C_1 = \frac{1}{\omega_O^2 L_1} = \frac{1}{\omega_O^2 \dfrac{2R_O}{BW}} = \frac{BW}{2R_O\omega_O^2}$$

$$L_2 = \frac{1}{\omega_O^2 C_2} = \frac{1}{\omega_O^2 \dfrac{2}{R_O \bullet BW}} = \frac{R_O \bullet BW}{2\omega_O^2}$$

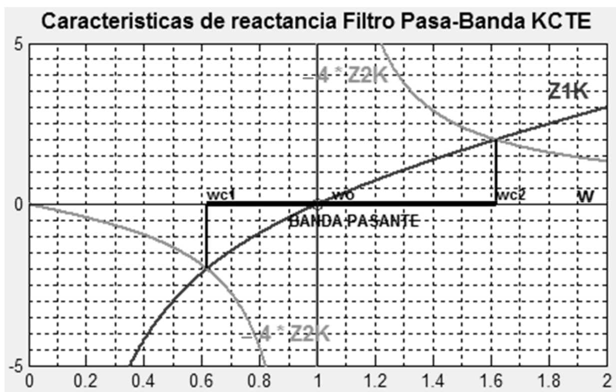
COMO COMPROBACIÓN

$$BW = \frac{2}{\sqrt{L_1 * C_2}}$$

IDENTICA A LA EXPRESIÓN DE ω_c EN FILTRO PASA-BAJOS



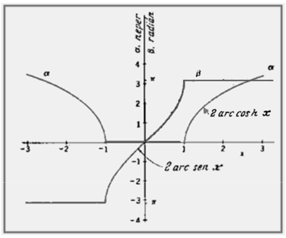
MATLAB
EWB
MICROCAP III
PSPICE



DISEÑO DE FILTRO ELIMINA-BANDA DE K_{KTE}

DATOS : ω_{C1} , ω_{C2} y R_O

SELECCIONAR BANDA PASANTE EN CURVA DE K_{CTE}



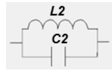
SELECCIONAR TIPO DE REACTANCIA PARA Z_{K1} Y Z_{K2}

Z_{K1} { SE OPONE AL PASO DE UNA BANDA DE FREC. } $j\omega L_1 \;//\; \dfrac{1}{j\omega C_1}$

Z_{K2} { PERMITE PASAR UNA BANDA DE FRECUENCIAS } $j\omega L_2 + \dfrac{1}{j\omega C_2}$

POR LO TANTO DE LO ANTERIOR :

$Z_{K1} \rightarrow$ CIRCUITO ANTIRESONANTE



$Z_{K2} \rightarrow$ CIRCUITO RESONANTE

DEBE CUMPLIRSE QUE :

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_1 \bullet C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 \bullet C_2}}$$

ADEMÁS:

$$\omega_o = \sqrt{\omega_{C1} \bullet \omega_{C2}}$$

y

$$BW = \omega_{C2} - \omega_{C1}$$

ADEMÁS:

$$Z_{K1} = PL_1 \,//\, \frac{1}{PC_1} = \frac{PL_1 \bullet \frac{1}{PC_1}}{PL_1 + \frac{1}{PC_1}}$$

Recordando $\Rightarrow \quad \omega_o = \dfrac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}$

cambiando $P \rightarrow j\omega$ *y operando* :

$$Z_{K1} = \frac{1}{jC_1} \bullet \left(\frac{\omega}{\omega^2 - \omega_o^2} \right)$$

DEL GRÁFICO PARA $\omega = \omega_{C1}$:

$$X_K = \sqrt{\frac{Z_1}{4 * Z_2}} = +1 \Rightarrow \frac{Z_1}{2 * R_o} = +j1$$

DEL GRÁFICO PARA $\omega = \omega_{C2}$:

$$X_K = \sqrt{\frac{Z_1}{4 * Z_2}} = -1 \Rightarrow \frac{Z_1}{2 * R_o} = -j1$$

$$+j1 = \left. \frac{Z_{1K}}{2R_O} \right|_{\omega=\omega_{C1}} = \frac{\frac{1}{jC_1} \bullet \left(\frac{\omega_{C1}}{\omega_{C1}^2 - \omega_o^2} \right)}{2R_O}$$

$$-j1 = \left. \frac{Z_{1K}}{2R_O} \right|_{\omega=\omega_{C2}} = \frac{\frac{1}{jC_1} \bullet \left(\frac{\omega_{C2}}{\omega_{C2}^2 - \omega_o^2} \right)}{2R_O}$$

OPERANDO :

$$-j1 = \left. \frac{Z_{1K}}{2R_O} \right|_{\omega=\omega_{C1}} = \frac{jL_1 \bullet \left(\frac{\omega_{C1}^2 - \omega_o^2}{\omega_{C1}} \right)}{2R_O}$$

pero $\boxed{\omega_o^2 = \omega_{C1} \bullet \omega_{C2}}$

$$+j1 = \frac{\frac{1}{jC_1} \bullet \left(\frac{\omega_{C1}}{\omega_{C1}^2 - \omega_o^2} \right)}{2R_O} =$$

$$+j1 = \frac{-j\frac{1}{C_1} \bullet \left(\frac{1}{\frac{\cancel{\omega_{C1}^2}}{\omega_{C1}} - \frac{\cancel{\omega_{C1}} \bullet \omega_{C2}}{\cancel{\omega_{C1}}}} \right)}{2R_O}$$

$$\cancel{+j}1 = \frac{\cancel{j}\frac{1}{C_1} \bullet \left(\frac{1}{\omega_{C2} - \omega_{C1}} \right)}{2R_O}$$

$$1 = \frac{1}{2C_1 R_O \bullet (\omega_{C2} - \omega_{C1})} = \frac{1}{2C_1 R_O \bullet BW}$$

$$\therefore \quad C_1 = \frac{1}{2R_O \bullet BW}$$

RECORDANDO :

$$\frac{L_2}{C_1} = R_O^2$$

$$L_2 = R_O^2 \bullet C_1 = R_O^{\cancel{2}} \bullet \frac{1}{2\cancel{R_O} \bullet BW}$$

$$L_2 = \frac{R_O}{2 \bullet BW}$$

RECORDANDO :

$$\boxed{\omega_o^2 = \frac{1}{L_1 \bullet C_1} = \frac{1}{L_2 \bullet C_2}}$$

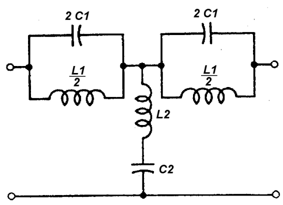
$$L_1 = \frac{1}{\omega_O^2 C_1} = \frac{1}{\omega_O^2 \frac{1}{2R_O \bullet BW}} = \frac{2R_O \bullet BW}{\omega_O^2}$$

$$C_2 = \frac{1}{\omega_O^2 L_2} = \frac{1}{\omega_O^2 \frac{R_O}{2 \bullet BW}} = \frac{2 \bullet BW}{R_O \bullet \omega_O^2}$$

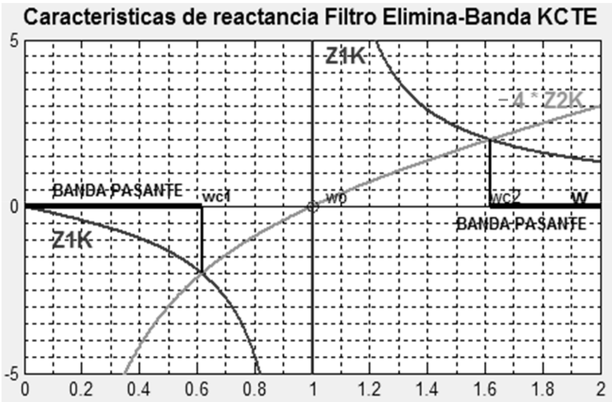
COMO COMPROBACIÓN

$$BW = \frac{1}{2 \bullet \sqrt{L_2 * C_1}}$$

IDENTICA A LA EXPRESIÓN DE ω_c EN FILTRO PASA-ALTOS



MATLAB
EWB
MICROCAP III
PSPICE



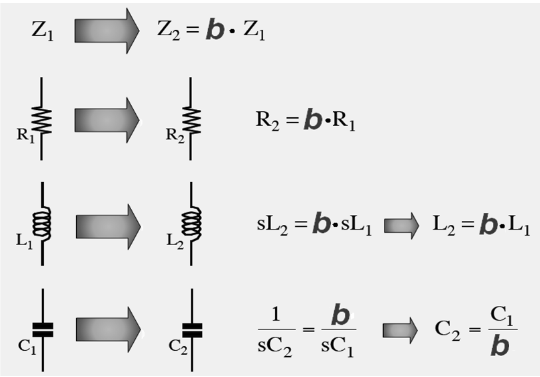
NORMALIZACIÓN

- ***Escalado** : Se trata de alterar los valores de los elementos pasivos de un circuito, de forma que sus comportamientos sean equivalentes a los del circuito original.*
  - ***Permite trabajar con prototipos y con cantidades más cómodas de manipular.***
  - ***Podemos derivar infinitos casos distintos.***
- ***Se habla de Normalización cuando el escalado del circuito, se realiza de tal forma que :***
  - ***El nivel de impedancia resultante sea de 1 [Ω].***
  - ***La frecuencia resultante sea de 1 [rad/s].***
- ***Notación** : frecuencia y elementos normalizados*

$$\omega_n \ ; L_n \ ; C_n \ ; R_n \ \text{y} \ Z_n$$

ESCALADO EN IMPEDANCIA

Cada elemento pasivo se sustituye por otro similar de modo que se mantengan las siguientes proporciones :



$Z_1 \Rightarrow Z_2 = b \cdot Z_1$

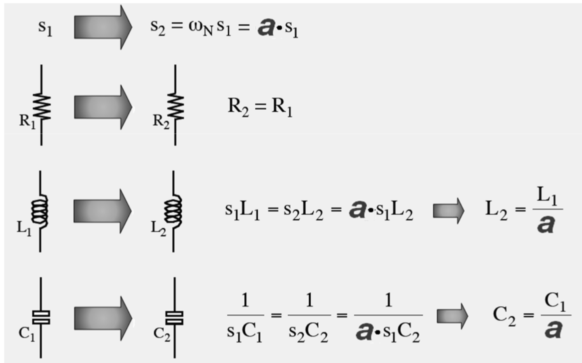
$R_1 \Rightarrow R_2$: $R_2 = b \cdot R_1$

$L_1 \Rightarrow L_2$: $sL_2 = b \cdot sL_1 \Rightarrow L_2 = b \cdot L_1$

$C_1 \Rightarrow C_2$: $\dfrac{1}{sC_2} = \dfrac{b}{sC_1} \Rightarrow C_2 = \dfrac{C_1}{b}$

ESCALADO EN FRECUENCIA

Cada elemento pasivo se sustituye por otro similar, con impedancia idéntica a la original :



$s_1 \Rightarrow s_2 = \omega_N s_1 = a \cdot s_1$

$R_1 \Rightarrow R_2$: $R_2 = R_1$

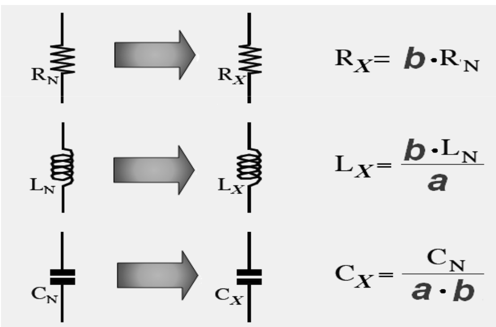
$L_1 \Rightarrow L_2$: $s_1 L_1 = s_2 L_2 = a \cdot s_1 L_2 \Rightarrow L_2 = \dfrac{L_1}{a}$

$C_1 \Rightarrow C_2$: $\dfrac{1}{s_1 C_1} = \dfrac{1}{s_2 C_2} = \dfrac{1}{a \cdot s_1 C_2} \Rightarrow C_2 = \dfrac{C_1}{a}$

NORMALIZACIÓN

Aplicamos simultáneamente los dos escalados anteriores:

- ***En impedancia, por un factor $b = R_X / R_N \longrightarrow R_N = 1$ [Ω]***
- ***En frecuencia, por un factor $a = \omega_C / \omega_N \longrightarrow \omega_N = 1$ [rps]***

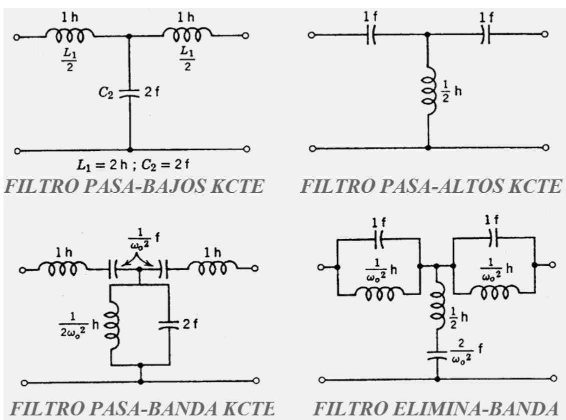


$R_N \Rightarrow R_X$: $R_X = b \cdot R_N$

$L_N \Rightarrow L_X$: $L_X = \dfrac{b \cdot L_N}{a}$

$C_N \Rightarrow C_X$: $C_X = \dfrac{C_N}{a \cdot b}$

FILTROS K-CTE NORMALIZADOS $\longrightarrow R_N = 1\ [\Omega]$ y $\omega_N = 1$ [rps]



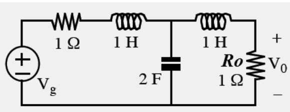
FILTRO PASA-BAJOS KCTE

FILTRO PASA-ALTOS KCTE

FILTRO PASA-BANDA KCTE

FILTRO ELIMINA-BANDA KCTE

EJEMPLO: ***Dado el siguiente filtro pasa-bajos Normalizado, desnormalice y obtenga el circuito correspondiente para una frecuencia de corte fc de 2500 [Hz] y una impedancia característica Ro de 300 [Ω] .***



$\omega_c = 1$ rad/s

$$b = Ro = 300[\Omega] \quad y$$

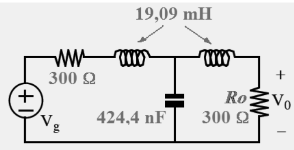
$$a = \omega_C = 2\Pi \bullet f_C = 15708 \left[{rad}/{seg} \right]$$

$$\frac{L_1}{2} = \frac{\frac{L_{1N}}{2} \bullet b}{a} = \frac{1 \bullet 300}{15708} = 19{,}09\ [mH]$$

$$C_2 = \frac{C_{2N}}{a \bullet b} = \frac{2}{15708 \bullet 300} = 424{,}41\ [nF]$$

COMPROBACION :

$$\omega_C = \frac{2}{\sqrt{L_1 \bullet C_2}} = \frac{2}{\sqrt{0{,}019 \bullet 2 \bullet 424 \bullet 10^{-9}}} \cong 15708\ [rad/s]$$



$\omega_c = 15708$ rad/s

TRANSFORMACIÓN DE FRECUENCIA

TRANSFORMACIÓN PASA-BAJOS → PASA-ALTOS

PASABAJOS	REEMPLAZAR	PASA-ALTOS
1H L	$P \to \frac{1}{P}$	1F $C = \frac{1}{L}$
1F C	$P \to \frac{1}{P}$	1H $L = \frac{1}{C}$

TRANSFORMACIÓN PASA-ALTOS → PASA-BAJOS

PASA-ALTOS	REEMPLAZAR	PASA-BAJOS
1F C	$P \to \frac{1}{P}$	1H $L = \frac{1}{C}$
1H L	$P \to \frac{1}{P}$	1F $C = \frac{1}{L}$

TRANSFORMACIÓN DE FRECUENCIA

TRANSFORMACIÓN PASA-BAJOS → PASA-BANDA
TRANSFORMACIÓN PASA-ALTOS → ELIMINA-BANDA

SI EN EL PASA-BAJOS O PASA-ALTOS SE TIENE	REEMPLAZAR POR	EN PASA-BANDA O EN ELIMINA-BANDA
1H L	$P \to P + \frac{\omega_O^2}{P}$	1H L, $\frac{1}{W_0^2 L}$ F
1F C	$P \to P + \frac{\omega_O^2}{P}$	$\frac{1}{W_0^2 C}$ H, 1F C

TRANSFORMACIÓN DE FRECUENCIA