UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

Trabajo: Prototipo de un [illegible]

EQUIPO:

SANTIAGO C[illegible]

BARRERA NO[illegible] ISMAEL

ASIGNATURA: CIRCUITOS INTEGRADOS ANALOGICOS

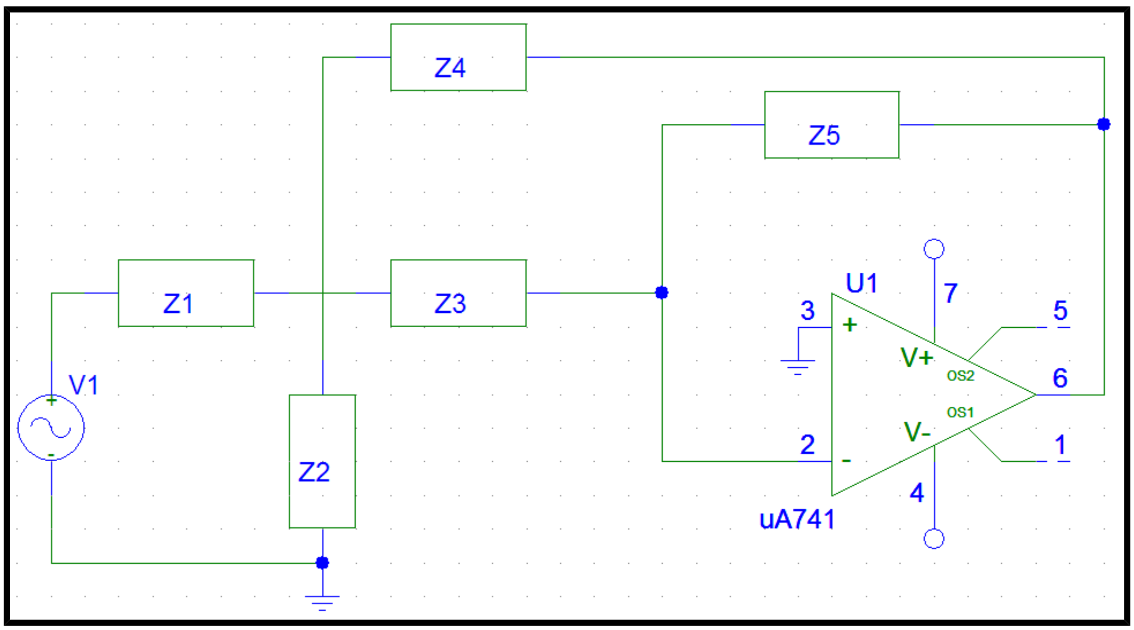
GRUPO: 1

viernes, 28 de abril de 2006. Ciudad Universitaria. México

ECUALIZADOR

FILTRO PASO BANDA DE BANDA ANGOSTA

Los filtros de banda angosta presentan la típica respuesta en frecuencia que se observa en la siguiente figura. El análisis y la construcción de esos filtros, se simplifica mucho al estipularse que el filtro de banda angosta tendrá una ganancia máxima de 1 o 0 [dB] a la frecuencia de resonancia Fr. En un filtro de banda angosta sólo se emplea un amplificador operacional, como se muestra continuación (compare este circuito con los circuitos de banda ancha con dos amplificadores operacionales). La resistencia de entrada queda establecida aproximadamente por la resistencia R. si se coloca una resistencia de realimentación (2R), de modo que sea el doble de la resistencia de entrada R, la ganancia máxima del filtro será 1 o 0 [dB] en la frecuencia de resonancia Fr. Ajustando Rr es posible cambiar o realizar el ajuste fino de la frecuencia de resonancia sin modificar el ancho de banda o la ganancia.



Analizando según diagrama:

$$\frac{v_e - v_a}{Z_1} = \frac{v_a - v_s}{Z_4} + \frac{v_a - v_n}{Z_3} + \frac{v_a - 0}{Z_2}$$

$$\frac{v_e - v_a}{Z_1} = \frac{v_a - v_s}{Z_4} + \frac{v_a - 0}{Z_3} + \frac{v_a - 0}{Z_2}$$

$$\frac{v_e - v_a}{Z_1} = -\frac{v_s}{Z_4} + v_a\left(\frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_4}\right) \qquad \text{......................(1)}$$

$$\frac{v_a - v_n}{Z_3} = \frac{v_n - v_s}{Z_5}$$

$$\frac{v_a}{Z_3} = -\frac{v_s}{Z_5}$$

$$v_a = -v_s \frac{Z_3}{Z_5} \text{ ....(2)}$$

(2) en (1) $$\frac{v_e - \left[-v_s \frac{Z_3}{Z_5}\right]}{Z_1} = -\frac{v_s}{Z_4} + \left[-v_s \frac{Z_3}{Z_5}\right]\left(\frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_4}\right)$$

$$\frac{v_e + v_s \frac{Z_3}{Z_5}}{Z_1} = -\frac{v_s}{Z_4} - v_s \frac{Z_3}{Z_5}\left(\frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_4}\right)$$

$$\frac{v_e}{Z_1} + v_s \frac{Z_3}{Z_5 Z_1} = -\frac{v_s}{Z_4} - v_s \frac{Z_3}{Z_5}\left(\frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_4}\right)$$

$$\frac{v_e}{Z_1} = -\frac{v_s}{Z_4} - v_s \frac{Z_3}{Z_5}\left(\frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_4}\right) - v_s \frac{Z_3}{Z_5 Z_1}$$

$$\frac{v_e}{Z_1} = v_s\left[-\frac{1}{Z_4} - \frac{Z_3}{Z_5}\left(\frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_4}\right) - \frac{Z_3}{Z_5 Z_1}\right]$$

$$\frac{1}{Z_1\left[-\frac{1}{Z_4} - \frac{Z_3}{Z_5}\left(\frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_4}\right) - \frac{Z_3}{Z_5 Z_1}\right]} = \frac{v_s}{v_e}$$

$$\frac{1}{Z_1\left[-\frac{1}{Z_4} - \frac{Z_3}{Z_5}\left(\frac{Z_2 Z_4 + Z_3 Z_4 + Z_3 Z_2}{Z_3 Z_2 Z_4}\right) - \frac{Z_3}{Z_5 Z_1}\right]} = \frac{v_s}{v_e}$$

$$\frac{1}{Z_1\left[-\frac{1}{Z_4} - \left(\frac{Z_2 Z_4 + Z_3 Z_4 + Z_3 Z_2}{Z_5 Z_2 Z_4}\right) - \frac{Z_3}{Z_5 Z_1}\right]} = \frac{v_s}{v_e}$$

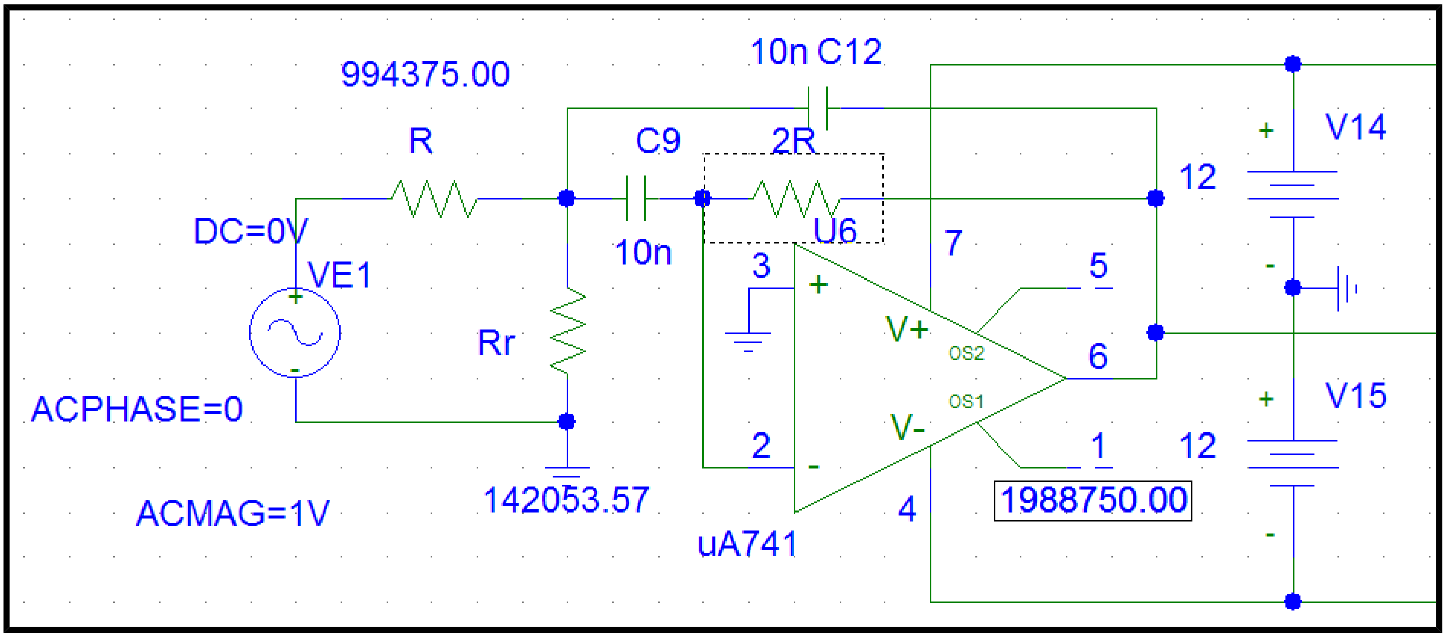
$$\frac{1}{Z_1\left[\frac{-Z_5 Z_2 Z_1 - Z_1\left(Z_2 Z_4 + Z_3 Z_4 + Z_3 Z_2\right) - Z_2 Z_4 Z_3}{Z_5 Z_2 Z_4 Z_1}\right]} = \frac{v_s}{v_e}$$

$$\frac{1}{Z_1\left[\frac{-Z_5 Z_2 Z_1 - Z_1 Z_2 Z_4 - Z_1 Z_3 Z_4 - Z_1 Z_3 Z_2 - Z_2 Z_4 Z_3}{Z_5 Z_2 Z_4 Z_1}\right]} = \frac{v_s}{v_e}$$

Función de transferencia del circuito, en función de las impedancias

$$\boxed{\frac{v_s}{v_e} = -\frac{Z_5 Z_2 Z_4}{\left[Z_5 Z_2 Z_1 + Z_1 Z_2 Z_4 + Z_1 Z_3 Z_4 + Z_1 Z_3 Z_2 + Z_2 Z_4 Z_3\right]}}$$

Si asignamos estos elementos a las respectivas impedancias Z1=R, Z2=Rr, Z3=1/sC, Z4=1/sC, Z5=2R, obtenemos lo siguiente:



Como podemos ver en la entrada tenemos dos impedancias resistivas, a continuación un capacitor que esta a tierra virtual, el cual, actúa como un filtro paso bajas, en seguida, sobre la línea de la señal que se realimenta vemos un arreglo capacitivo y resistivo el cual actúa como un filtro paso altas.

$$\frac{v_s}{v_e} = -\frac{(2R)(R_r)\left(\frac{1}{sC}\right)}{\left[(2R)(R_r)(R) + (R)(R_r)\left(\frac{1}{sC}\right) + (R)\left(\frac{1}{sC}\right)\left(\frac{1}{sC}\right) + (R)\left(\frac{1}{sC}\right)(R_r) + (R_r)\left(\frac{1}{sC}\right)\left(\frac{1}{sC}\right)\right]}$$

Multiplicando por $(sC)^2/(sC)^2$

$$\frac{v_s}{v_e} = -\frac{(2R)(R_r)sC}{\left[(2R)(R_r)(R)(sC)^2 + (R)(R_r)(sC) + (R) + (R)(sC)(R_r) + (R_r)\right]}$$

$$\frac{v_s}{v_e} = -\frac{(2R)(R_r)sC}{\left[(2R^2)(R_r)(sC)^2 + (sC)[2(R)(R_r)] + (R + R_r)\right]}$$ Tenemos 2 polos y un cero

$$\frac{v_s}{v_e} = -\frac{2RR_rCs}{2R^2R_rC^2s^2 + 2RR_rCs + (R + R_r)}$$

$$\frac{v_s}{v_e}=-\frac{\frac{2RR_rC}{2R^2R_rC^2}s}{\frac{2R^2R_rC^2}{2R^2R_rC^2}s^2+\frac{2RR_rC}{2R^2R_rC^2}s+\frac{(R+R_r)}{2R^2R_rC^2}}=-\frac{\frac{1}{RC}s}{s^2+\frac{1}{RC}s+\frac{(R+R_r)}{2R^2R_rC^2}}$$

$$\boxed{\frac{v_s}{v_e}=-\frac{\frac{1}{RC}s}{s^2+\frac{1}{RC}s+\frac{(R+R_r)}{2R^2R_rC^2}}}$$

En función de las admitancias según bibliografía tenemos:

$$Y_1=\frac{1}{R}\qquad Y_2=\frac{1}{R_r}\qquad Y_3=sC\qquad Y_4=sC\qquad Y_5=\frac{1}{2R}$$

$$\boxed{\frac{v_s}{v_e}=-\frac{Y_1Y_3}{Y_5(Y_1+Y_2+Y_3+Y_4)+Y_3Y_4}}$$

Sustituyendo:

$$\frac{v_s}{v_e}=-\frac{\left(\frac{1}{R}\right)(sC)}{\frac{1}{2R}\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R_r}+sC+sC\right)+(sC)(sC)}$$

$$\frac{v_s}{v_e}=-\frac{\frac{sC}{R}}{\frac{1}{2R^2}+\frac{1}{2RR_r}+\frac{2sC}{2R}+s^2C^2}=\frac{\frac{sC}{R}}{\frac{(2RR_r)(2R)+(2R^2)(2R)+(2R^2)(2RR_r)(2sC)+(2R^2)(2RR_r)(2R)s^2C^2}{(2R^2)(2RR_r)(2R)}}$$

$$\frac{v_s}{v_e}=\frac{(2R^2)(2RR_r)(2R)(sC)}{R\{(2RR_r)(2R)+(2R^2)(2R)+(2R^2)(2RR_r)(2sC)+(2R^2)(2RR_r)(2R)s^2C^2\}}$$

$$\frac{v_s}{v_e}=\frac{(8R^4R_rC)s}{\{(4R^3R_r)+(4R^4)+(8R^4)(R_r)(sC)+(8R^5)(R_r)C^2s^2\}}$$

$$\frac{v_s}{v_e}=\frac{\frac{\left(8R^4R_rC\right)}{\left(8R^5\right)\left(R_r\right)C^2}s}{\frac{\left(8R^5\right)\left(R_r\right)C^2}{\left(8R^5\right)\left(R_r\right)C^2}s^2+\frac{\left(8R^4\right)\left(R_r\right)\left(C\right)}{\left(8R^5\right)\left(R_r\right)C^2}s+\frac{\left\{\left(4R^3R_r\right)+\left(4R^4\right)\right\}}{\left(8R^5\right)\left(R_r\right)C^2}}=\frac{\frac{\left(8R^4R_rC\right)}{\left(8R^5\right)\left(R_r\right)C^2}s}{\frac{\left(8R^5\right)\left(R_r\right)C^2}{\left(8R^5\right)\left(R_r\right)C^2}s^2+\frac{\left(8R^4\right)\left(R_r\right)\left(C\right)}{\left(8R^5\right)\left(R_r\right)C^2}s+\frac{4R^3\left\{\left(R_r\right)+\left(R\right)\right\}}{\left(8R^5\right)\left(R_r\right)C^2}}$$

$$\frac{v_s}{v_e}=\frac{\left(\frac{1}{RC}\right)s}{s^2+\left(\frac{1}{RC}\right)s+\left(\frac{R_r+R}{2R^2R_rC^2}\right)}$$

$$\boxed{\frac{v_s}{v_e}=\frac{\left(\frac{1}{RC}\right)s}{s^2+\left(\frac{1}{RC}\right)s+\left(\frac{1}{R^2C^2}\right)\left(\frac{R_r+R}{2R_r}\right)}}$$

Calculando los polos:

$$s=\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

$$a=1$$

$$b=\frac{1}{RC}$$

$$c=\frac{R_r+R}{2R^2R_rC^2}$$

$$s_{1,2}=\frac{-\frac{1}{RC}\pm\sqrt{\left(\frac{1}{RC}\right)^2-4\frac{R_r+R}{2R^2R_rC^2}}}{2}$$

$$s_{1,2}=\frac{-\frac{1}{RC}\pm\sqrt{\frac{1}{R^2C^2}-\frac{2\left(R_r+R\right)}{R^2R_rC^2}}}{2}=\frac{-\frac{1}{RC}\pm\sqrt{\frac{R^2R_rC^2-2R^2C^2\left(R_r+R\right)}{\left(R^2R_rC^2\right)\left(R^2C^2\right)}}}{2}$$

$$s_{1,2}=\frac{-\frac{1}{RC}\pm\sqrt{\frac{\left\{R_r-2\left(R_r+R\right)\right\}}{\left(R^2C^2\right)R_r}}}{2}=\frac{-\frac{1}{RC}\pm\frac{1}{RC}\sqrt{\frac{\left\{R_r-2R_r-2R\right\}}{R_r}}}{2}=\frac{-\frac{1}{RC}\pm\frac{1}{RC}\sqrt{\frac{-\left(R_r+2R\right)}{R_r}}}{2}$$

$$\boxed{s_{1,2}=-\frac{1}{2RC}\pm\frac{1}{2RC}\sqrt{\frac{\left(R_r+2R\right)}{R_r}}j}$$ Comprobado.

$$s_{1,2} = -\frac{1}{2RC} \pm \frac{1}{2RC}\sqrt{\frac{(R_r + 2R)}{R_r}}\,j$$

CALCULO DEL ANCHO DE BANDA

$$B = f_H - f_L$$

$$BW = -\frac{1}{2RC} + \frac{1}{2RC}\sqrt{\frac{(R_r+2R)}{R_r}}\,j - \left(-\frac{1}{2RC} - \frac{1}{2RC}\sqrt{\frac{(R_r+2R)}{R_r}}\,j\right) = \left(\frac{2}{2RC}\sqrt{\frac{(R_r+2R)}{R_r}}\,j\right)$$

$$BW = \frac{\frac{1}{RC}}{2\pi}[Hz]$$

$$\boxed{BW = \frac{0.15915}{RC}[Hz]}$$

CALCULO DE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA

$$\omega_r = \sqrt{\omega_L \omega_H} = 2\pi\sqrt{\left(-\frac{1}{2RC} + \frac{1}{2RC}\sqrt{\frac{(R_r+2R)}{R_r}}\,j\right)\left(-\frac{1}{2RC} - \frac{1}{2RC}\sqrt{\frac{(R_r+2R)}{R_r}}\,j\right)}$$

$$\omega_r = \sqrt{\omega_L \omega_H} = \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 + \left(\frac{1}{2RC}\sqrt{\frac{(R_r+2R)}{R_r}}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{4R^2C^2} + \frac{1}{4R^2C^2}\frac{(R_r+2R)}{R_r}} = \sqrt{\frac{1}{4R^2C^2}\left(1 + \frac{(R_r+2R)}{R_r}\right)}$$

$$\omega_r = \frac{1}{2RC}\sqrt{\left(1+\frac{(R_r+2R)}{R_r}\right)} = \frac{1}{2RC}\sqrt{\left(\frac{R_r + (R_r+2R)}{R_r}\right)} = \frac{1}{2RC}\sqrt{\left(\frac{R_r+R_r+2R}{R_r}\right)} = \frac{1}{2RC}\sqrt{\left(\frac{2R_r+2R}{R_r}\right)}$$

$$\omega_r = \frac{1}{2RC}\sqrt{2\left(\frac{R_r+R}{R_r}\right)} = \frac{1}{2RC}\sqrt{2\left(1+\frac{R}{R_r}\right)} = \frac{\sqrt{2}}{2RC}\sqrt{\left(1+\frac{R}{R_r}\right)}$$

Por lo tanto la frecuencia de resonancia es:

$$f_r = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2RC}\sqrt{\left(1+\frac{R}{R_r}\right)}}{2\pi} = \frac{\sqrt{2}}{4\pi RC}\sqrt{\left(1+\frac{R}{R_r}\right)}$$

$$\boxed{f_r = \frac{0.1125}{RC}\sqrt{\left(1+\frac{R}{R_r}\right)}}$$

$$\boxed{B = \frac{f_r}{Q}}$$

$$R_r = \frac{R}{2Q^2 - 1}$$

$$f_r = \frac{0.1125}{RC}\sqrt{1+\frac{R}{R_r}}$$

Sustituyendo

Fr [Hz]	Q	B [Hz]	C [F]	R	2R feedback [ohms]	Rr [ohms]
32,00	2,00	16,00	0,0000000100	994375,00	1988750,00	142053,57
64,00	2,00	32,00	0,0000000100	497187,50	994375,00	71026,79
128,00	2,00	64,00	0,0000000100	248593,75	497187,50	35513,39
250,00	2,00	125,00	0,0000000100	127280,00	254560,00	18182,86
500,00	2,00	250,00	0,0000000100	63640,00	127280,00	9091,43
1000,00	2,00	500,00	0,0000000100	31820,00	63640,00	4545,71
2000,00	2,00	1000,00	0,0000000100	15910,00	31820,00	2272,86
4000,00	2,00	2000,00	0,0000000010	79550,00	159100,00	11364,29
8000,00	2,00	4000,00	0,0000000010	39775,00	79550,00	5682,14
16000,00	2,00	8000,00	0,0000000010	19887,50	39775,00	2841,07

VALORES COMERCIALES

Fr [Hz]	C [F]	R	$R_{comercial}$	2R feedback	$2R_{comercial}$	Rr	$Rr_{comercial}$
32,00	**10[nF]**	994375,00	**100[kΩ]**	1988750,00	**2 de1[MΩ]**	142053,57	**120[kΩ]**
64,00	**10[nF]**	497187,50	**470 [kΩ]**	994375,00	**1 [MΩ]**	71026,79	**68[kΩ]**
128,00	**10[nF]**	248593,75	**220 [kΩ]**	497187,50	**470 [kΩ]**	35513,39	**33[kΩ]**
250,00	**10[nF]**	127280,00	**120 [kΩ]**	254560,00	**270 [kΩ]**	18182,86	**18[kΩ]**
500,00	**10[nF]**	63640,00	**68[kΩ]**	127280,00	**120 [kΩ]**	9091,43	**1[kΩ]**
1000,00	**10[nF]**	31820,00	**33[kΩ]**	63640,00	**68 [kΩ]**	4545,71	**4.7[kΩ]**
2000,00	**10[nF]**	15910,00	**15[kΩ]**	31820,00	**33 [kΩ]**	2272,86	**2.2[kΩ]**
4000,00	**1[nF]**	79550,00	**82[kΩ]**	159100,00	**150 [kΩ]**	11364,29	**10[kΩ]**
8000,00	**1[nF]**	39775,00	**39[kΩ]**	79550,00	**82 [kΩ]**	5682,14	**5.6[kΩ]**
16000,00	**1[nF]**	19887,50	**18[kΩ]**	39775,00	**39 [kΩ]**	2841,07	**2.7[kΩ]**

SIMULACIONES A VALORES TEORICOS:

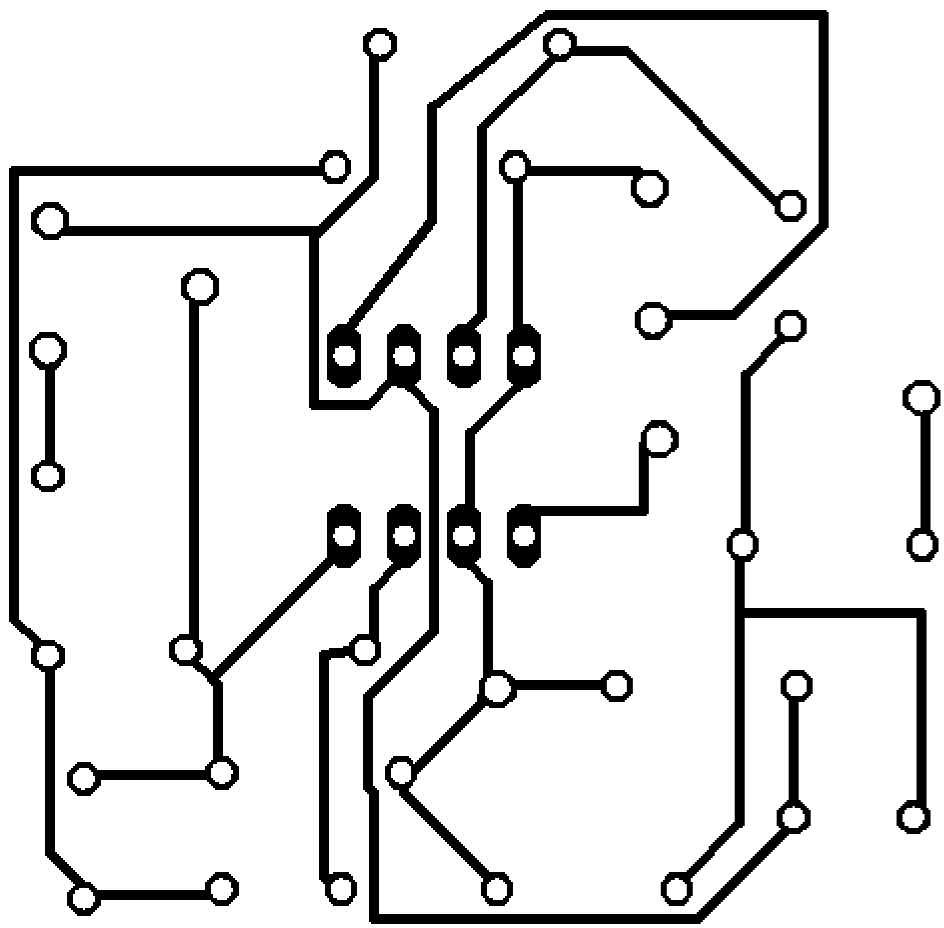
Cabe destacar que hicimos simulaciones de dos filtros, más la etapa de mezclado y potencia, ya que nuestro simulador pspice tiene un número restringido de elementos dentro del esquemático.

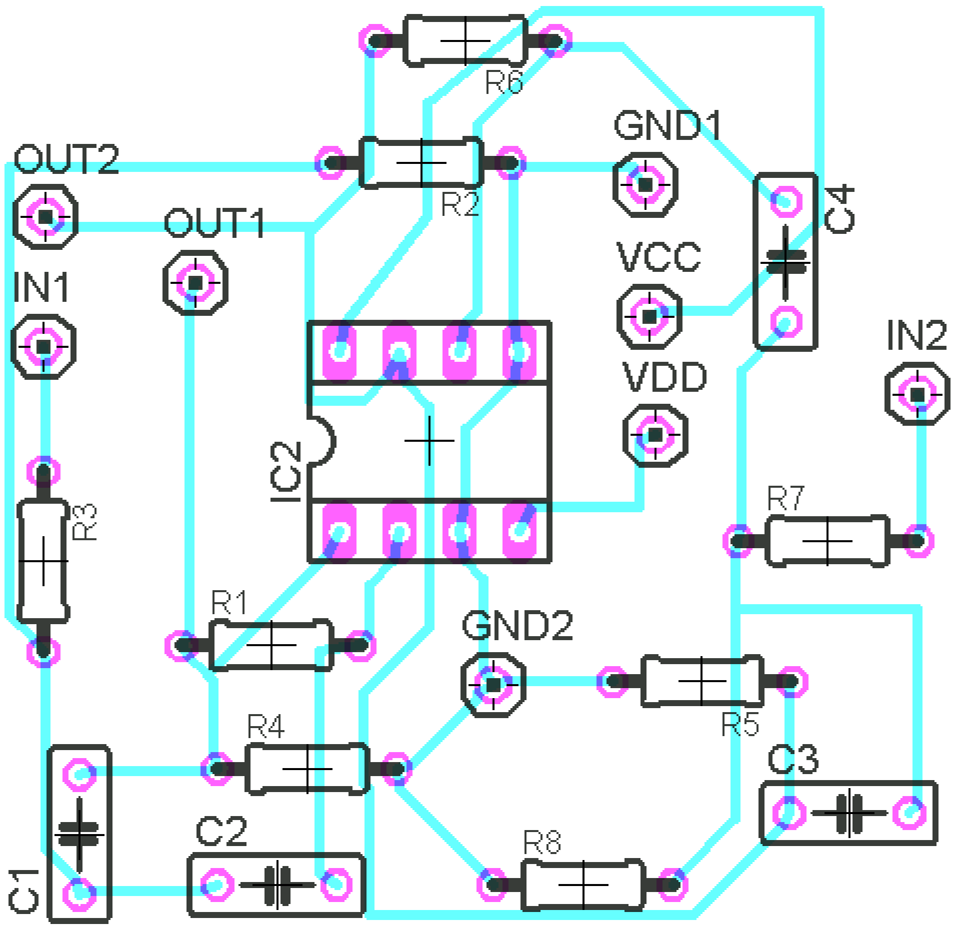
FILTRO DE 32
FILTRO DE 64
FILTRO DE 128
FILTRO DE 250
FILTRO DE 500
FILTRO DE 1000
FILTRO DE 2000
FILTRO DE 4000
FILTRO DE 8000
FILTRO DE 16000

VALORES CALCULEMOS EL ERROR RELATIVO PROPAGADO

Como vemos en **Fr** existe un error máximo de 9.22 % en **B** hasta un 15.84% y en **Q** hasta un 10.49 %, con esto consideramos que para nuestros valores comerciales de resistencias parecen razonables para realizar el prototipo, por lo que con esto nos dispondremos a construirlo.

CIRCUITO IMPRESO





BIBLIOGRAFÍA

AMPLIFICADORES OPERACIONALES Y CIRCUITOS INTEGRADOS LINEALES, ROBERT f. COUGHLIN, FREDERICK f. DRISCOLL
PRENTICE HALL HISPANOAMERICA S.A. 1993