

UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO
JOÃO VITOR SPECHT KOGUT

CIRCUITOS ELETRÔNICA APLICADA
M2

Relatório apresentado como requisito parcial para a obtenção da M2 da disciplina de Eletrônica Aplicada do curso de Engenharia de Computação pela Universidade do Vale do Itajaí da Escola do Mar, Ciência e Tecnologia.

Prof. Walter Antonio Gontijo

Itajaí
2022

1) OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é aplicar os conhecimentos obtidos durante as aulas presenciais, através de cálculos teóricos e simulações para termos uma melhor compreensão do funcionamento e operação dos componentes a serem apresentados, assim como quais suas aplicações e limites.

Através do simulador MultiSim serão implementados os mais diversos tipos de amplificadores e filtros e terão seus resultados validados através do método teórico.

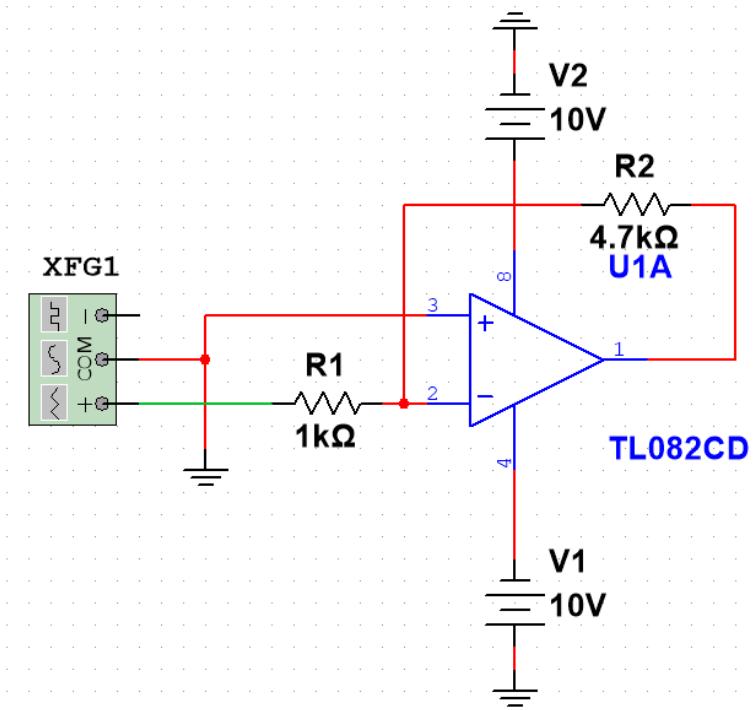
2) DESENVOLVIMENTO

2.1) Amplificador inverter

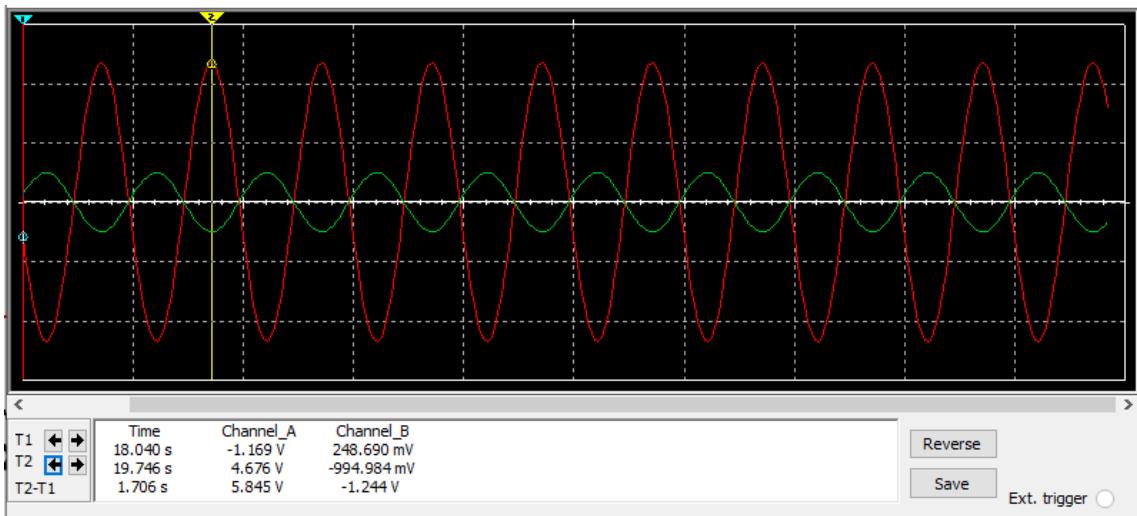
A) Projete um circuito com ganho 4.7 usando resistores $\geq 1K$

$$Ganho = Af = \frac{R_f}{R_i}$$

Podemos utilizar $R_f = 4.7K$ e $R_i = 1K$, dando o ganho de 4.7. Assim foi simulado o circuito utilizando uma entrada de 1Vp e frequência de 1KHz em conjunto de um AMP-OP TL082CD.



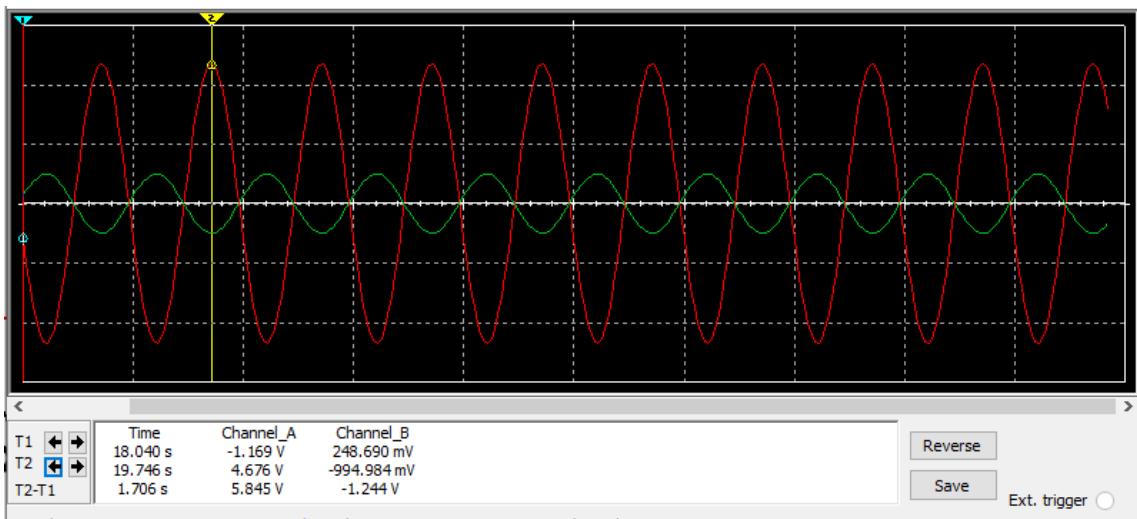
Analisando a forma de onda, sendo verde a entrada e vermelho a saída:



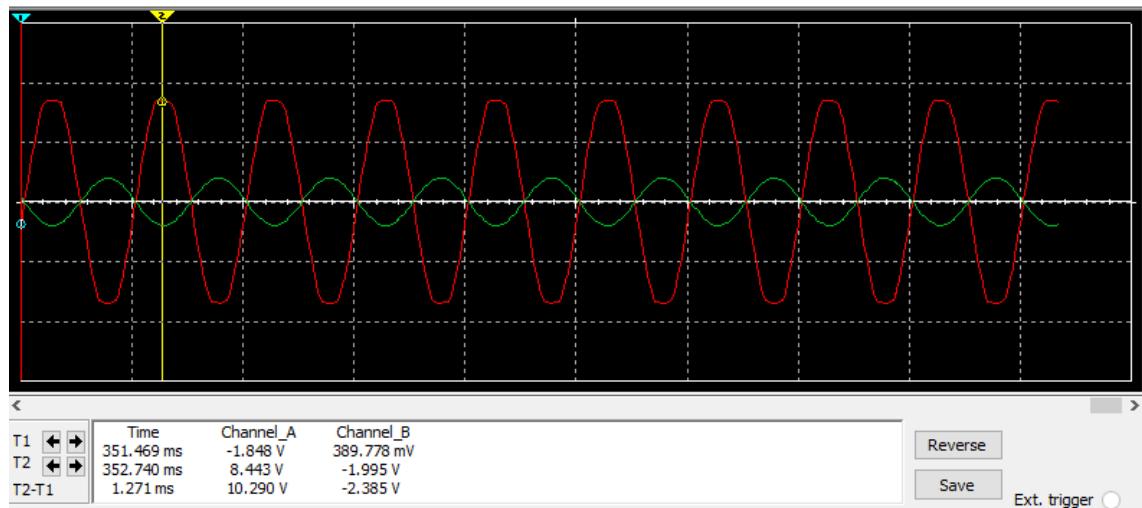
$$Vf = \frac{4.676}{0.994} = 4.7$$

B) Repita o exercício anterior utilizando $V_i = 1V$ e $2V$

1V)



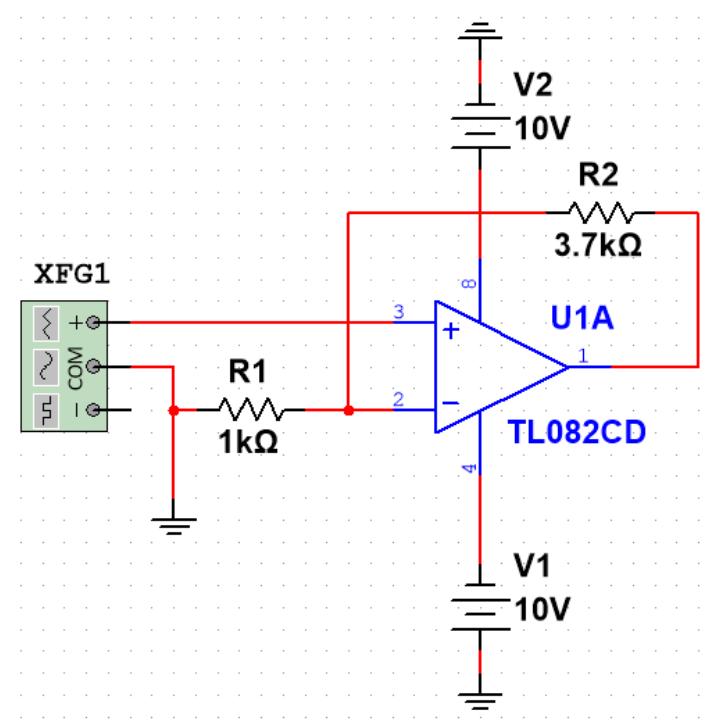
2V)



Ao dar uma entrada de 2V podemos ver que o amplificador esta cortando uma porção da onda de saída por estar saturando, dando uma saída de 8.4V onde deveria ter 9.4V.

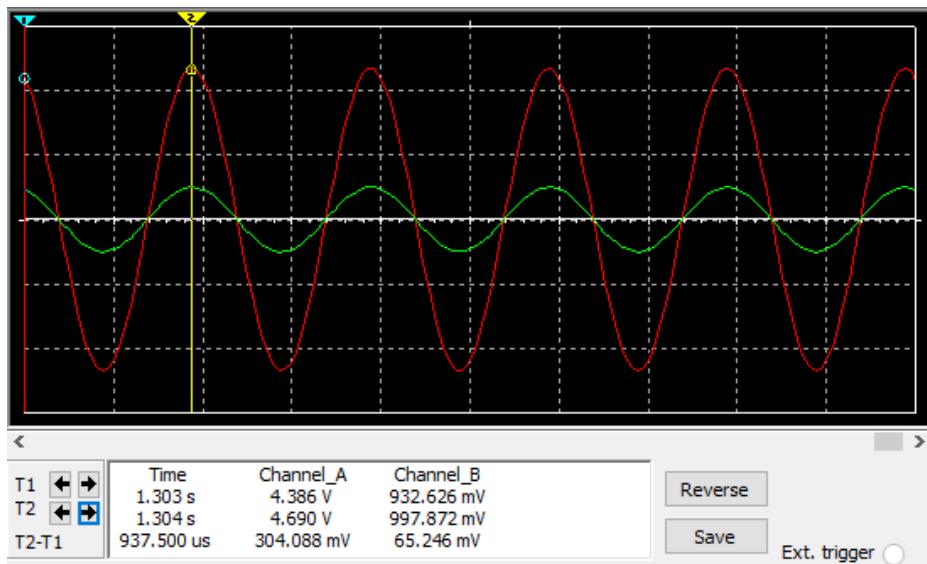
2.2) Repita o exercício anterior utilizando um circuito não inverter.

Sendo o ganho para um circuito não inverter $Af = \frac{R_f}{R_i} + 1$, para ter um ganho de 4.7 podemos utilizar $R_f = 3.7\text{K}$ e $R_i = 1\text{K}$.



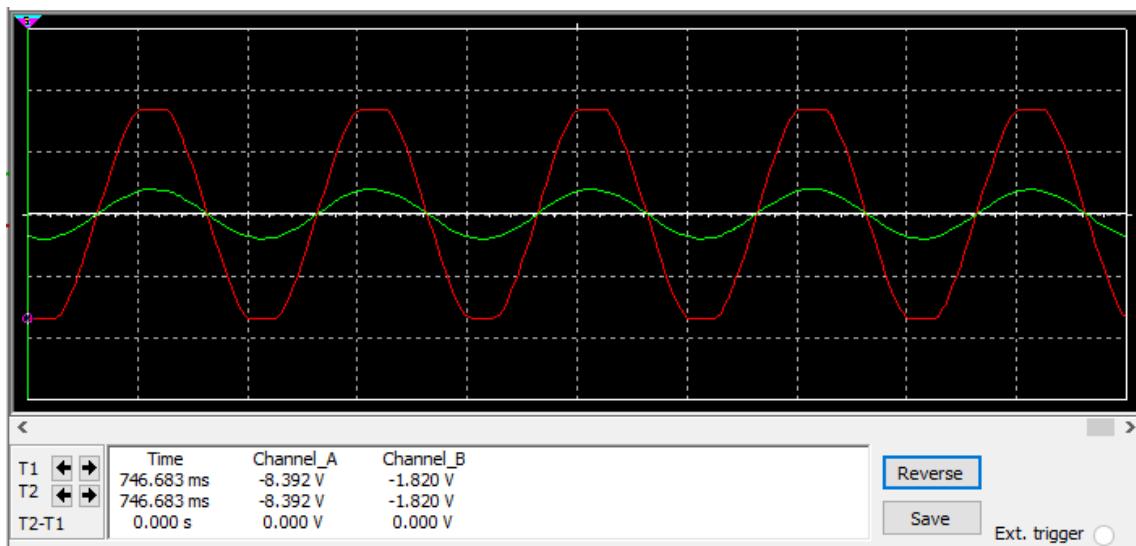
Ao analisar as formas de onda, sendo verde a entrada e vermelho a saída:

1Vp)



$$Af = \frac{4.69}{0.997} = 4.7$$

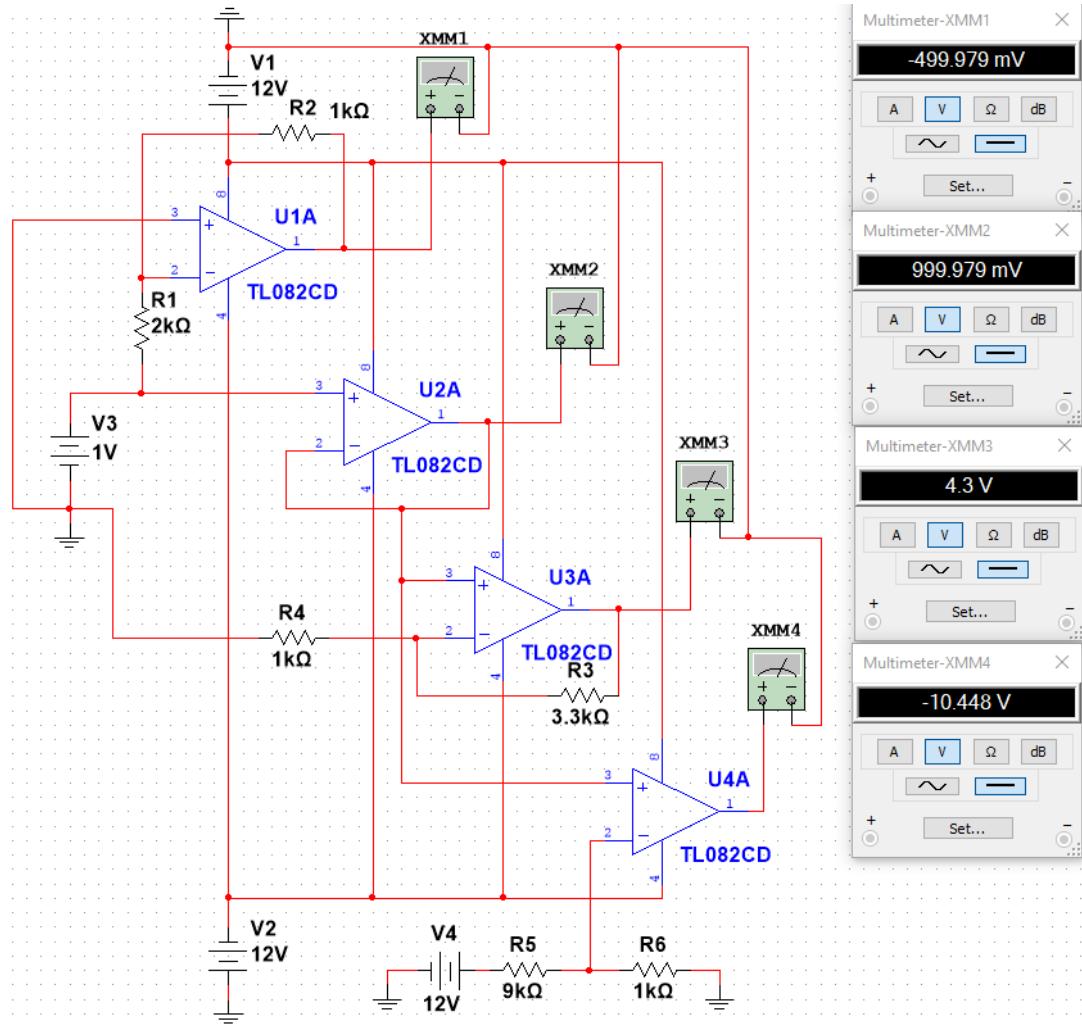
2Vp)



Podemos ver a mesma situação de saturação do circuito inversor.

2.3)

Para $V_i = 1V$:



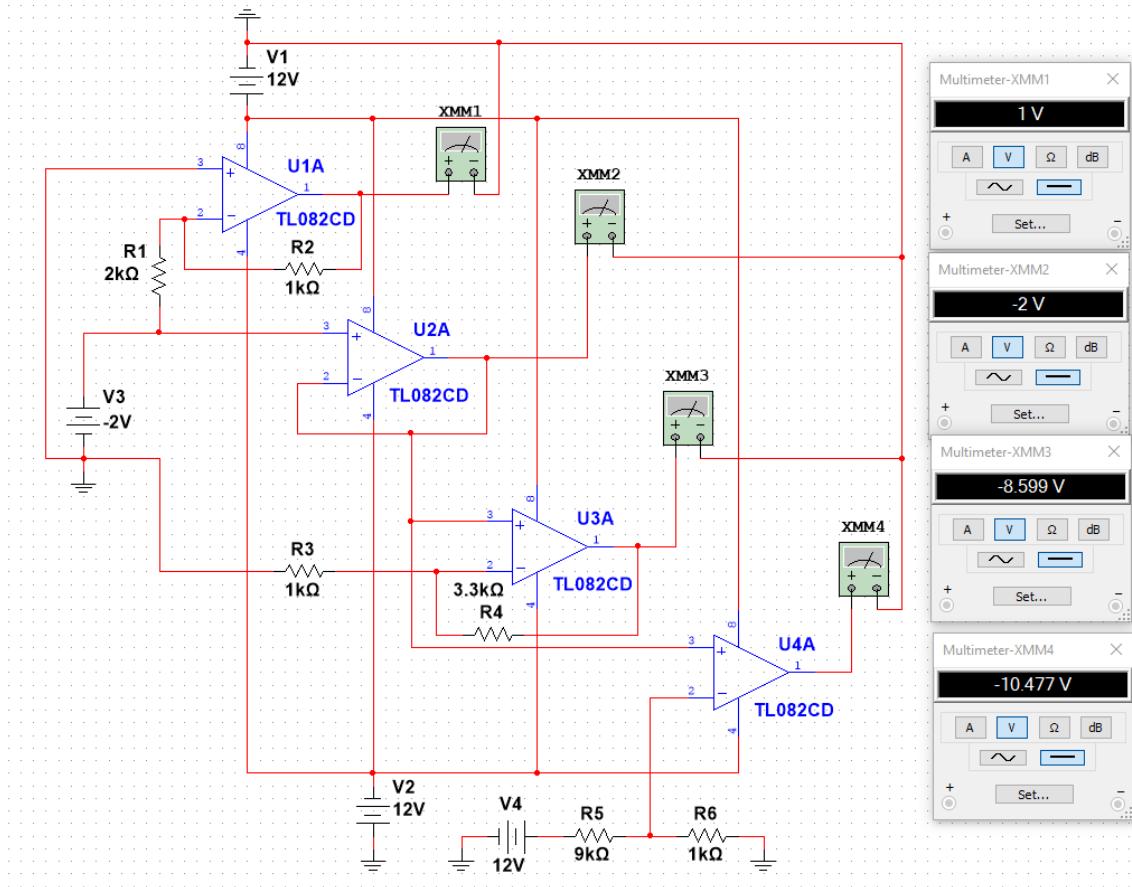
$$v1 = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_f}{R_i} = \frac{1k}{2k} = 0.5V$$

$$v2 = \text{Buffer} \rightarrow V_o = V_i \rightarrow 1V$$

$$v3 \rightarrow \text{não inveror} \rightarrow \frac{R_f}{R_i} + 1 = \frac{3.3k}{1k} + 1 = 4.3V$$

$$v4 \text{ in-} = 12V * \frac{1k}{10k} = 1.2V = \text{saida deve saturar em } -12V$$

Para $V_i = -2V$:

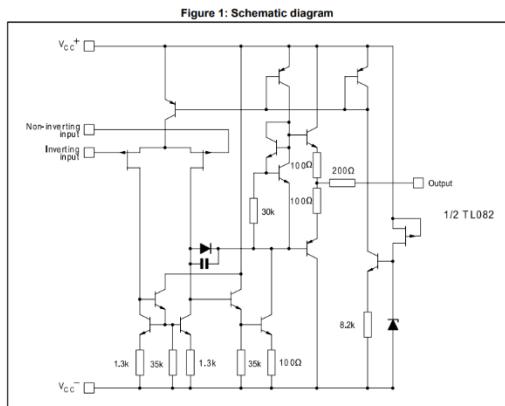


$$v1 = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_f}{R_i} = \frac{1k}{2k} = -0.5 * -2 = 1V$$

$$v2 = \text{Buffer} \rightarrow V_o = V_i \rightarrow -2V$$

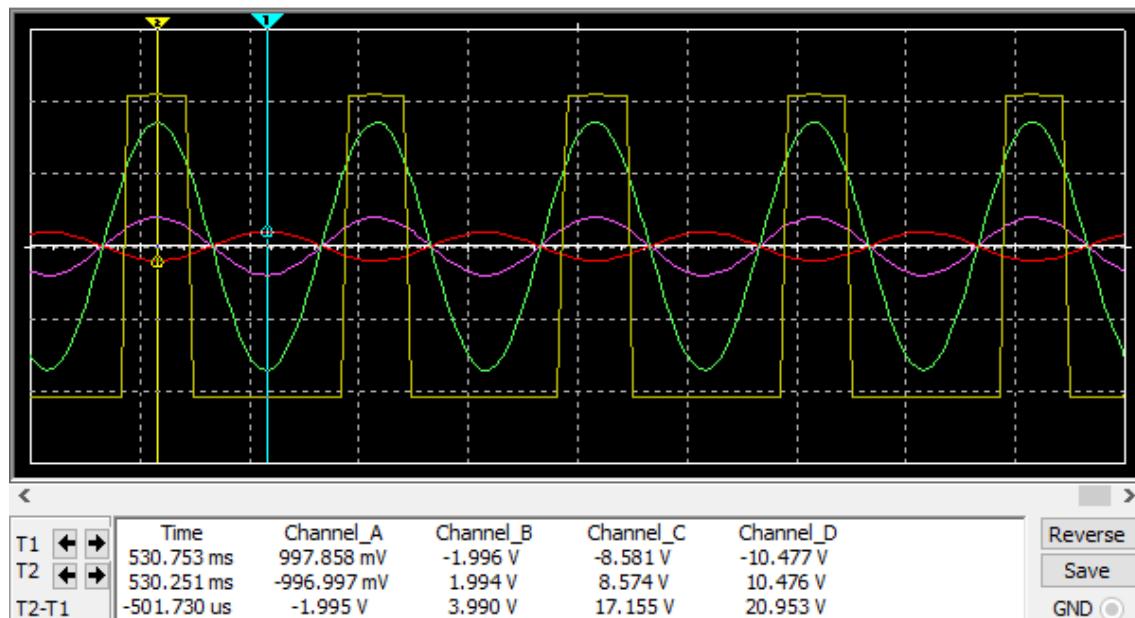
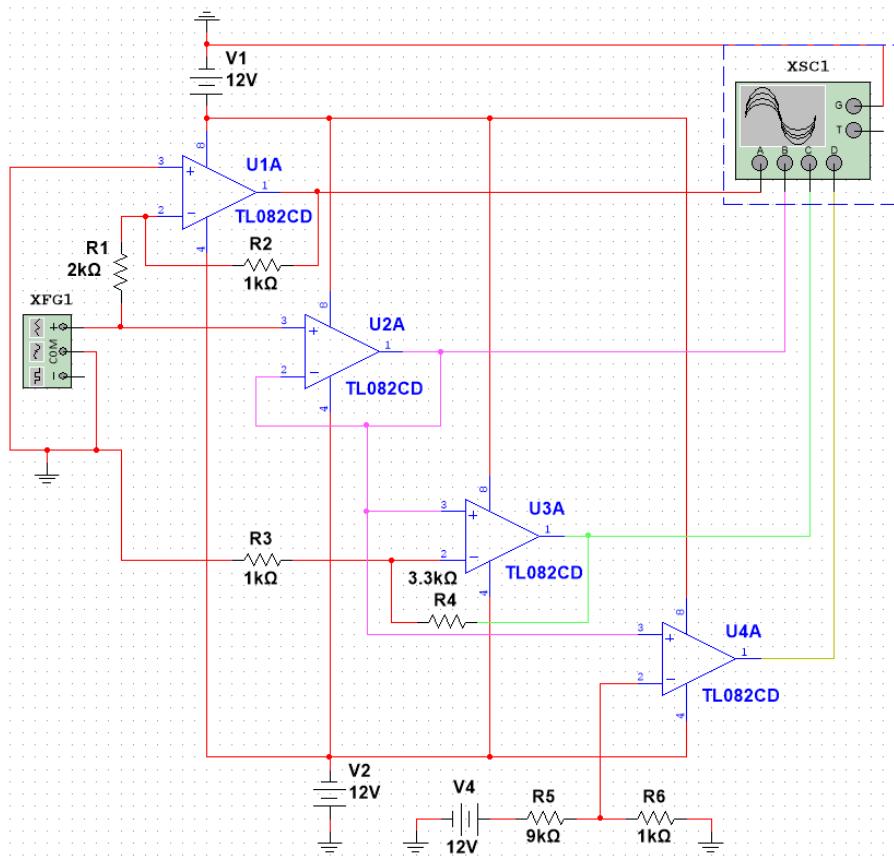
$$v3 \rightarrow \text{não inveror} \rightarrow \frac{R_f}{R_i} + 1 = \frac{3.3k}{1k} + 1 = 4.3 * -2 = 8.6V$$

$$v4 \text{ in-} = 12V * \frac{1k}{10k} = 1.2V = \text{saida deve saturar em } -12V$$



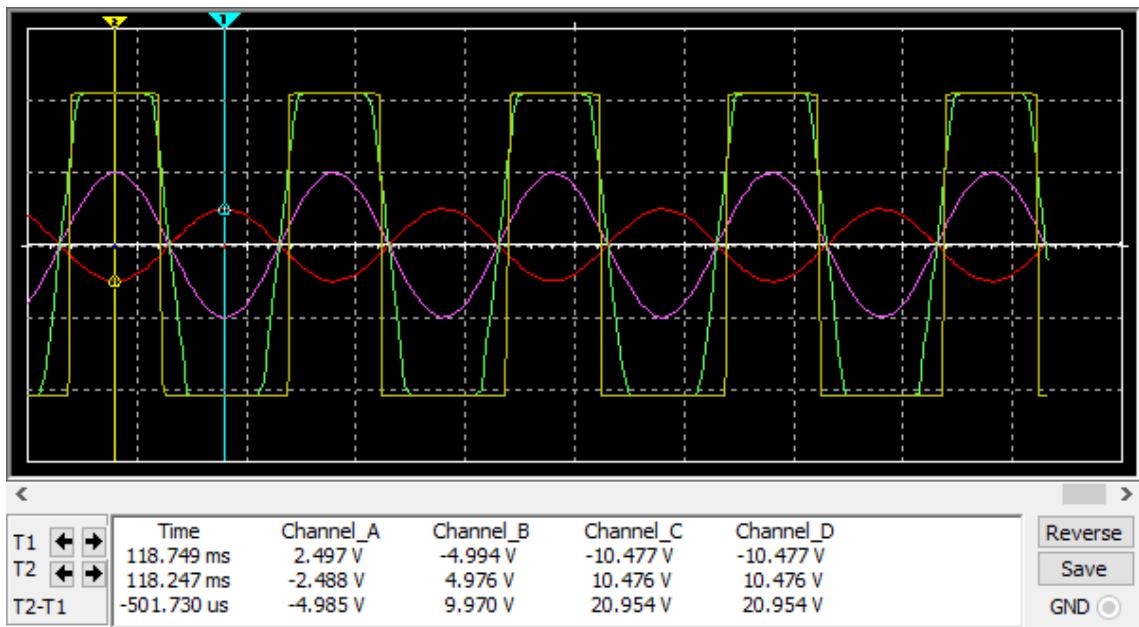
Por conta da natureza dos componentes utilizados no amplificador TL082, a saturação não ocorre exatamente nos 12V, um pouco da tensão é perdida internamente no componente.

Para $V_i = 2V_p$ a 1KHz:

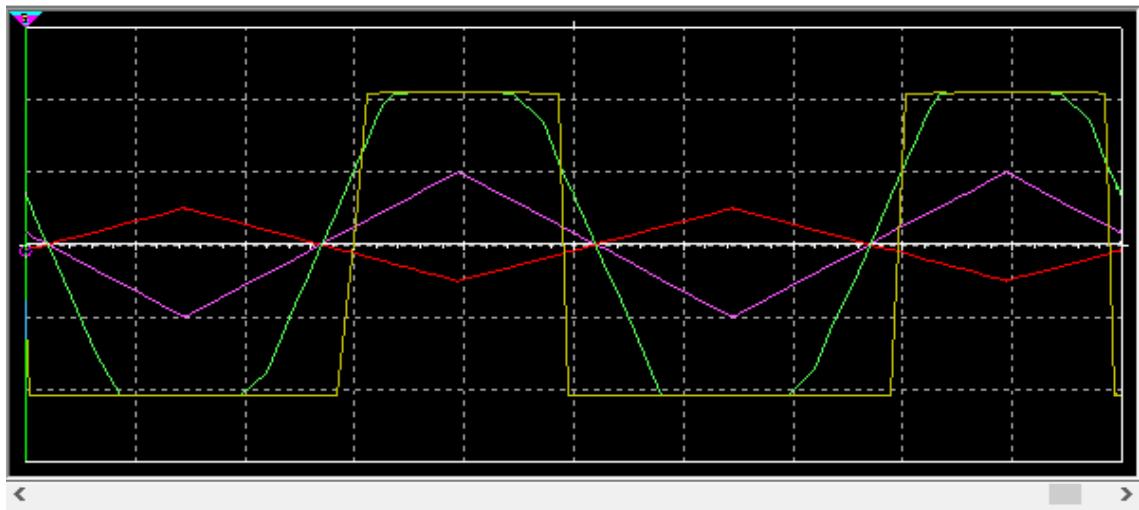


Já que V_2 é um buffer, sua saída é igual a entrada V_i (canal B com pico de 2V, cor roxa), podemos ver também V_1 (vermelho) com ganho de 0.5 dando uma saída de 1V. V_3 (verde) apresenta um ganho real de 4.29, próximo ao 4.3 calculado, por fim podemos ver V_4 (amarelo) saturando conforme esperado.

Para $V_i = 5\text{vp}$ a 1KHz:



Com uma tensão maior de entrada podemos ver os mesmos comportamentos, mas dessa vez a saída de V3 em verde também esta saturando, porem de maneira muito mais suave que V4.



O mesmo ocorre ao utilizar um sinal triangular.

2.4) Amplificadores diferenciais.

Considerando a entrada positiva do AMP-OP como V2 e a entrada negativa como V1

A) Para V1 != 0 e V2 = 0 :

$$Vo1 = -\frac{Rb}{Ra} * V1$$

B) Para V1 = 0 e V2 != 0 :

$$Vo = Vo1 + Vo2$$

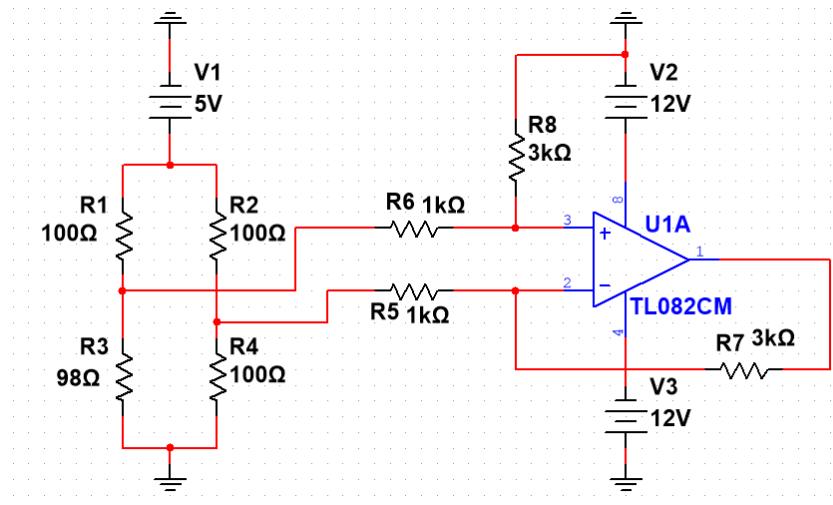
$$Vo2 = \frac{Rd}{Rc + Rd} * V2 * \left(\frac{Rb}{Ra} + 1\right)$$

$$Vo = \frac{Rd}{Rc + Rd} * V2 * \left(\frac{Rb}{Ra} + 1\right) - \frac{Rb}{Ra} * V1$$

Caso Ra = Rc e Rb = Re:

$$\begin{aligned} Vo &= \frac{Rb}{Ra} * (V2 - V1) \\ \frac{Rb}{Ra} &= \frac{RD}{Rc} = K \end{aligned}$$

Ex: Calcule os valores de V1 e V2 para os valores de Rs



Para $Rs = R3 = 98$:

$$V1 = Vin * \frac{100}{100 + 100} = 2.5V$$

$$V2 = Vin * \frac{98}{100 + 98} = 2.47V$$

$$Vo = \frac{Rb}{Ra} * (V2 - V1) = \frac{1k}{3k} * (2.47 - 2.5) = -0.01V$$

Ao realizar esse cálculo para todos os Rs e obter os dados de simulação chegamos a seguinte tabela:

Rs	Teórico			Simulado		
	V1	V2	Vo	V1	V2	Vo
98	2.5V	2.47V	-0.01V	2.468V	2.44V	-0.051V
99	2.5V	2.48V	-0.0066V	2.469V	2.45V	-0.016V
100	2.5V	2.5V	0V	2.469V	2.469V	0.02V
101	2.5V	2.51V	0.003V	2.47V	2.481V	0.054V
102	2.5V	2.52V	0.0066V	2.468V	2.49V	0.089V

2.5) Amplificador somador

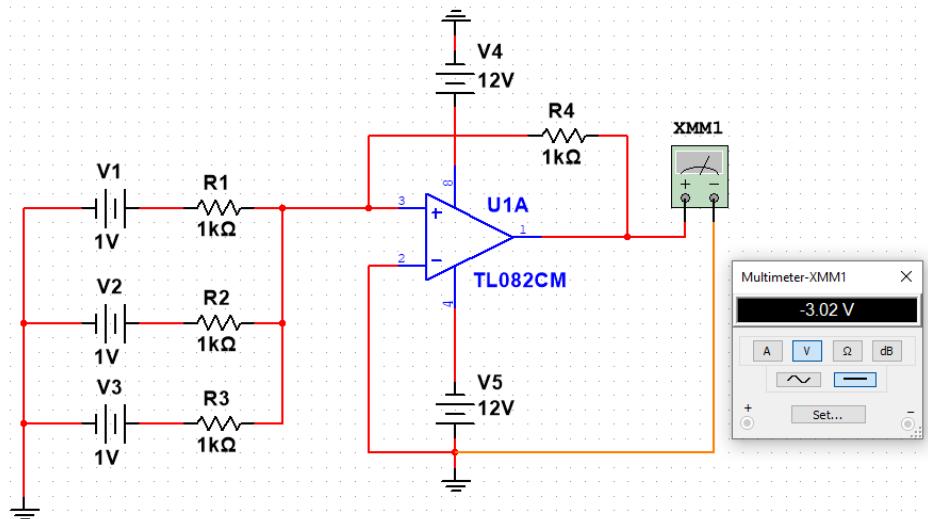
Caso 1)

$$V_{oa} = -\frac{1k}{1k} * 1 = -1$$

$$V_{ob} = -\frac{1k}{1k} * 1 = -1$$

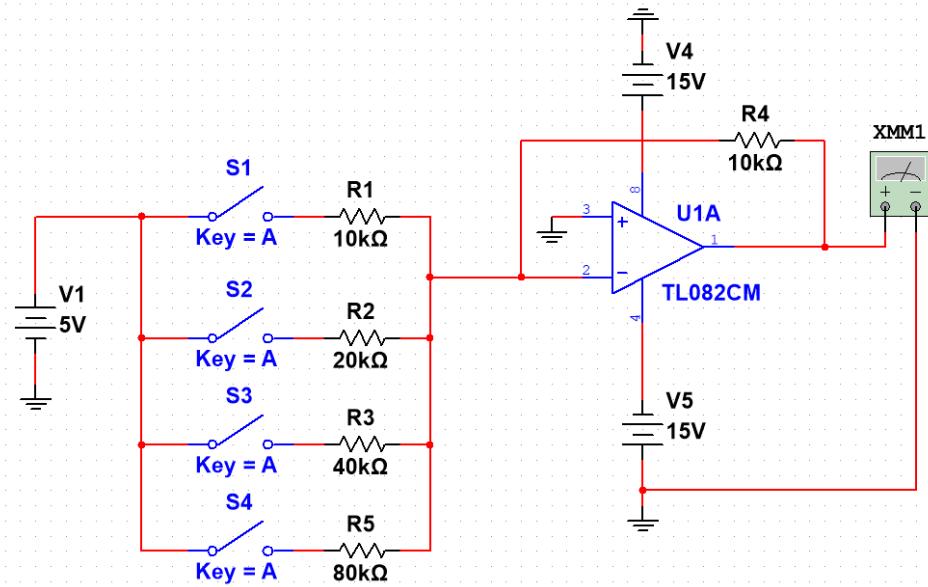
$$V_{oc} = -\frac{1k}{1k} * 1 = -1$$

$$V_o = -1 - 1 - 1 = -3V$$



	Calculado	Simulado
V _O	-3V	-3,02 V

Caso 2) Simulador de conversor AD



Sendo $S1 = D0$, $S2 = D1$, $S3 = D2$ e $S4 = D3$, sendo que Sx pode assumir valor 0 ou 1 (aberto ou fechado):

$$Vo = -\left(\frac{Rf}{R0} * D0 + \frac{Rf}{R1} * D1 + \frac{Rf}{R2} * D2 + \frac{Rf}{R3} * D3\right) * Vi$$

Entradas				Teórico	Simulação
D0	D1	D2	D3	Vo	Vo
0	0	0	0	0 V	0.005 V
1	0	0	0	-5 V	-4.99 V
0	1	0	0	-2.5 V	-2.49 V
0	0	1	0	-1.25 V	-1.24 V
0	0	0	1	-0.625 V	-0.619 V
1	1	1	1	-9.375 V	-9.36 V

2.6) Somador não inveror

EX1)

$$R_f = R_i = 1K$$

$$R_a = 1K$$

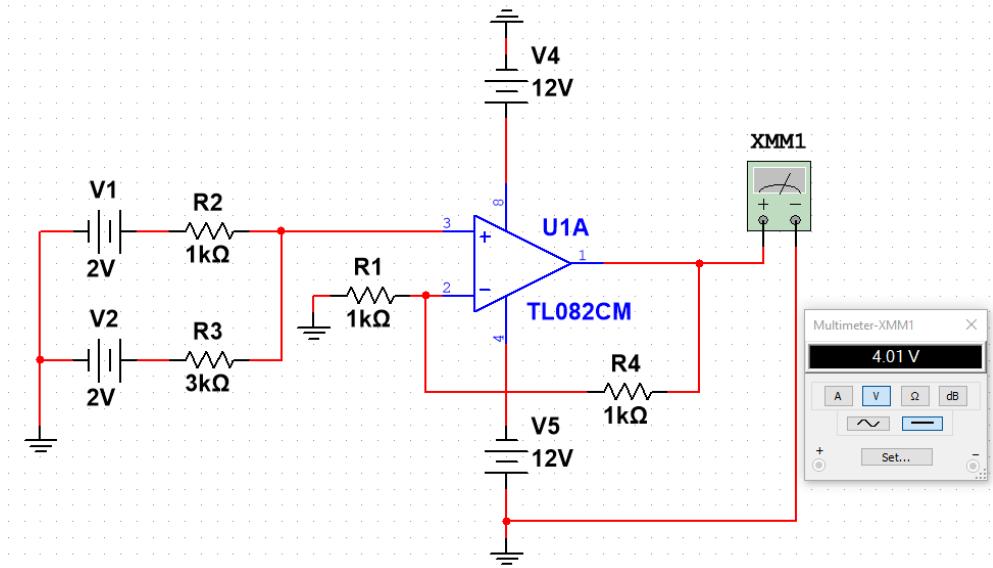
$$R_b = 3K$$

$$V_a = V_b = 2 V$$

$$V_{oa} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) * \frac{R_b}{R_a + R_b} * V_a = 2 * \frac{3}{4} * 2 = 3V$$

$$V_{ob} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) * \frac{R_a}{R_a + R_b} * V_b = 2 * \frac{1}{4} * 2 = 1V$$

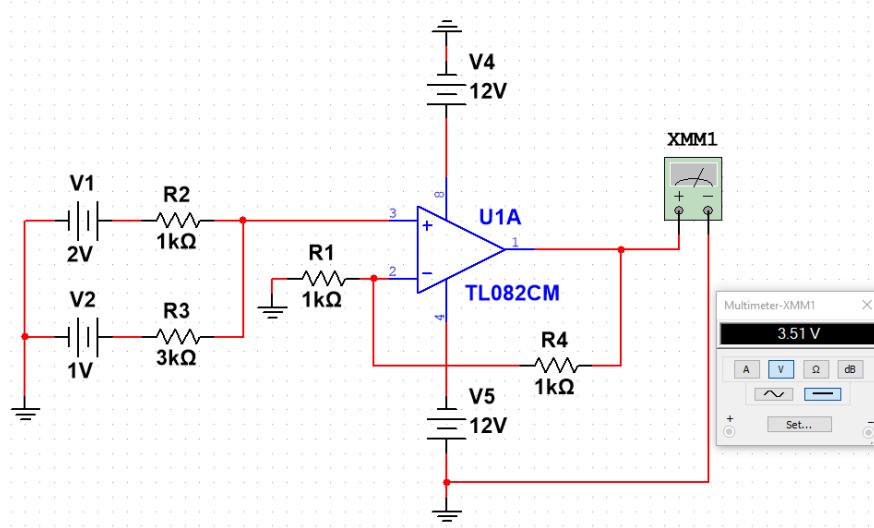
$$V_o = V_{oa} + V_{ob} = 4V$$



	Teórico	Simulação
V _o	4 V	4.01 V

Ex2) Obtenha a tensão de saída no circuito anterior para as seguintes entradas:

A) $V_a = 2, V_b = 1$

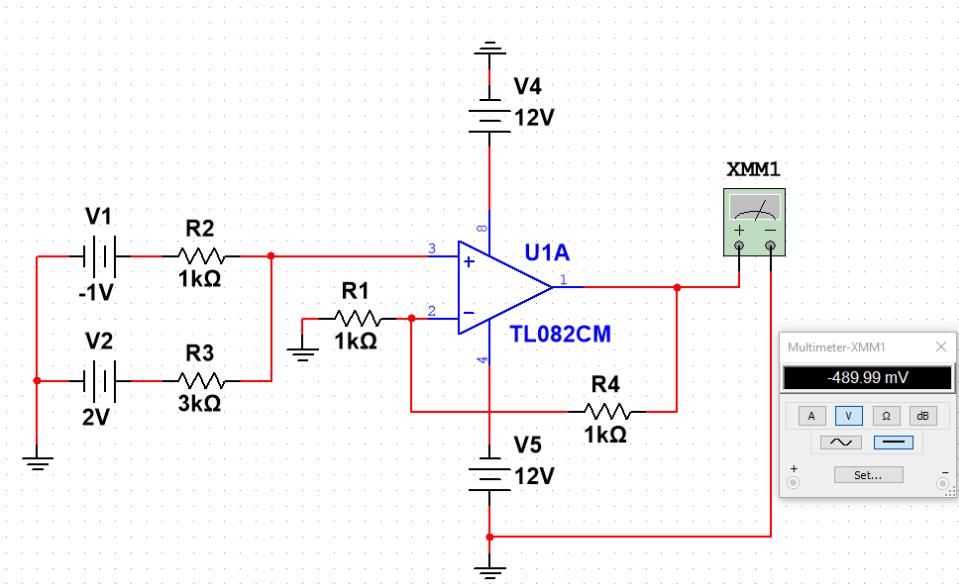


$$V_{oa} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) * \frac{R_b}{R_a + R_b} * V_a = 2 * \frac{3}{4} * 2 = 3V$$

$$V_{ob} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) * \frac{R_a}{R_a + R_b} * V_b = 2 * \frac{1}{4} * 1 = 0.5V$$

$$V_o = V_{oa} + V_{ob} = 3.5V$$

B) $V_a = -1$, $V_b = 2$

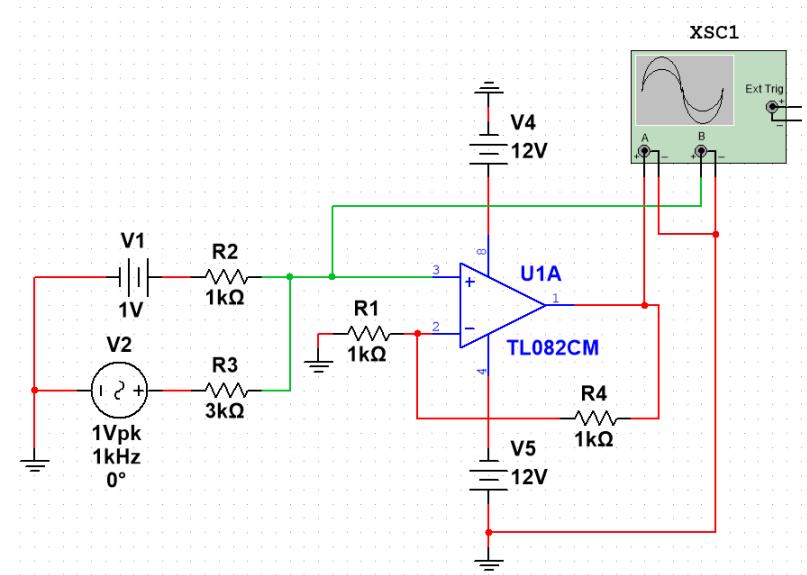


$$V_{oa} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) * \frac{R_b}{R_a + R_b} * V_a = 2 * \frac{3}{4} * -1 = -1.5V$$

$$V_{ob} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) * \frac{R_a}{R_a + R_b} * V_b = 2 * \frac{1}{4} * 2 = 1V$$

$$V_o = V_{oa} + V_{ob} = -0.5V$$

C) $V_a = 1$, $V_b = 1V_{pk}$ a 1KHz



$$V_{oa} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) * \frac{R_b}{R_a + R_b} * V_a = 2 * \frac{3}{4} * 1 = 1.5V$$

$$V_{ob} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) * \frac{R_a}{R_a + R_b} * V_b = 2 * \frac{1}{4} * 1 = 1V$$

$$V_{po} = V_{oa} + V_{ob} = 2V$$

Ex3) Adicione o gerador Vc na entrada negativa do AMP-OP:

A)

$$V_{oa} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) * \frac{R_b}{R_a + R_b} * V_a$$

$$V_{ob} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) * \frac{R_a}{R_a + R_b} * V_b$$

$$V_{oc} = -\frac{R_f}{R_i} * V_c$$

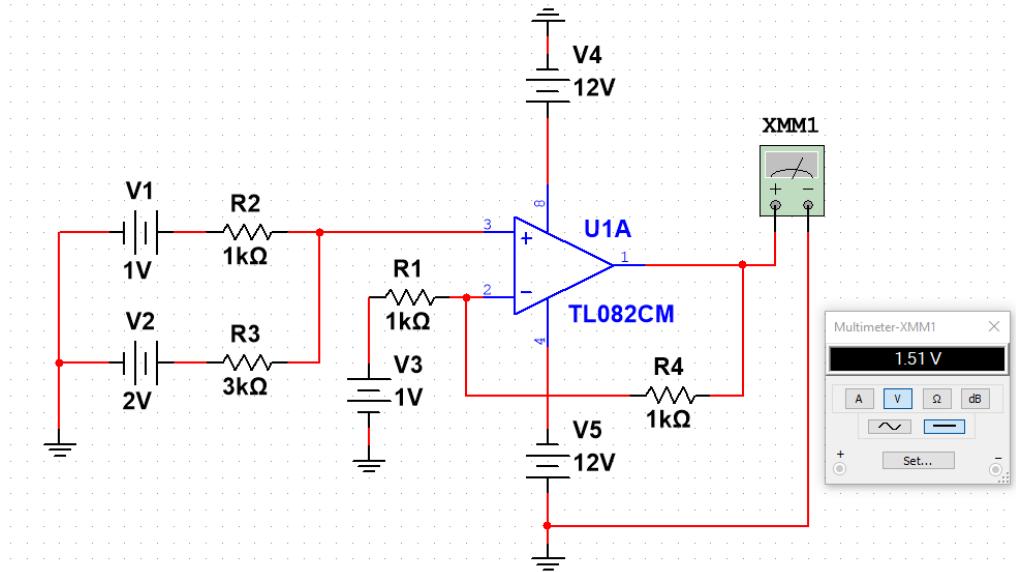
$$V_o = V_{oa} + V_{ob} + V_{oc}$$

b) Obtenha Vo para Va=Vc=1V e Vb=2V, Va=Vc=2V e Vb=-1V

Para Va=Vc=1V e Vb=2V:

$$V_o = 2 * \frac{3}{4} * 1V + 2 * \frac{1}{4} * 2V - \frac{1k}{1k} * 1V$$

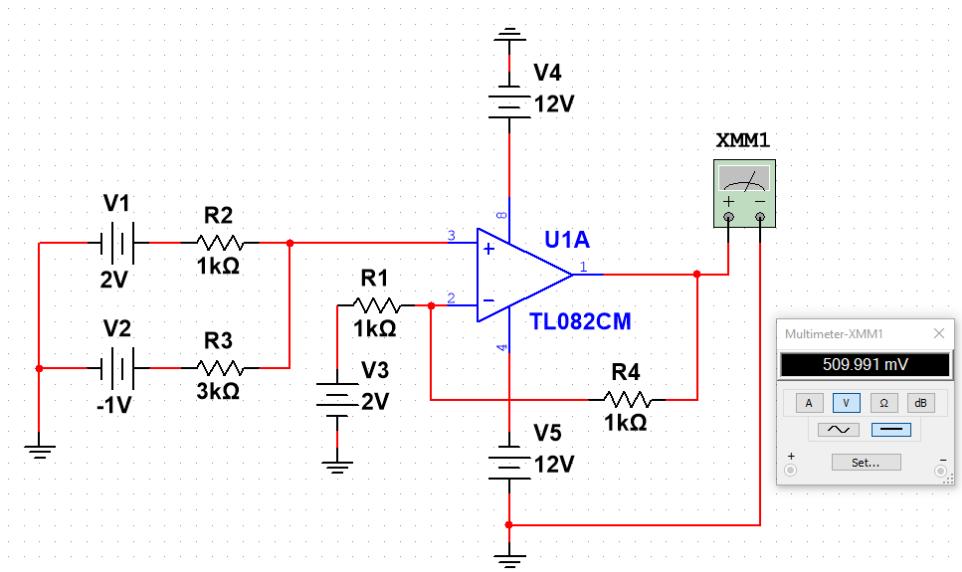
$$V_o = 1,5 + 1 - 1 = 1,5V$$



Para $V_a = V_c = 2V$ e $V_b = -1V$:

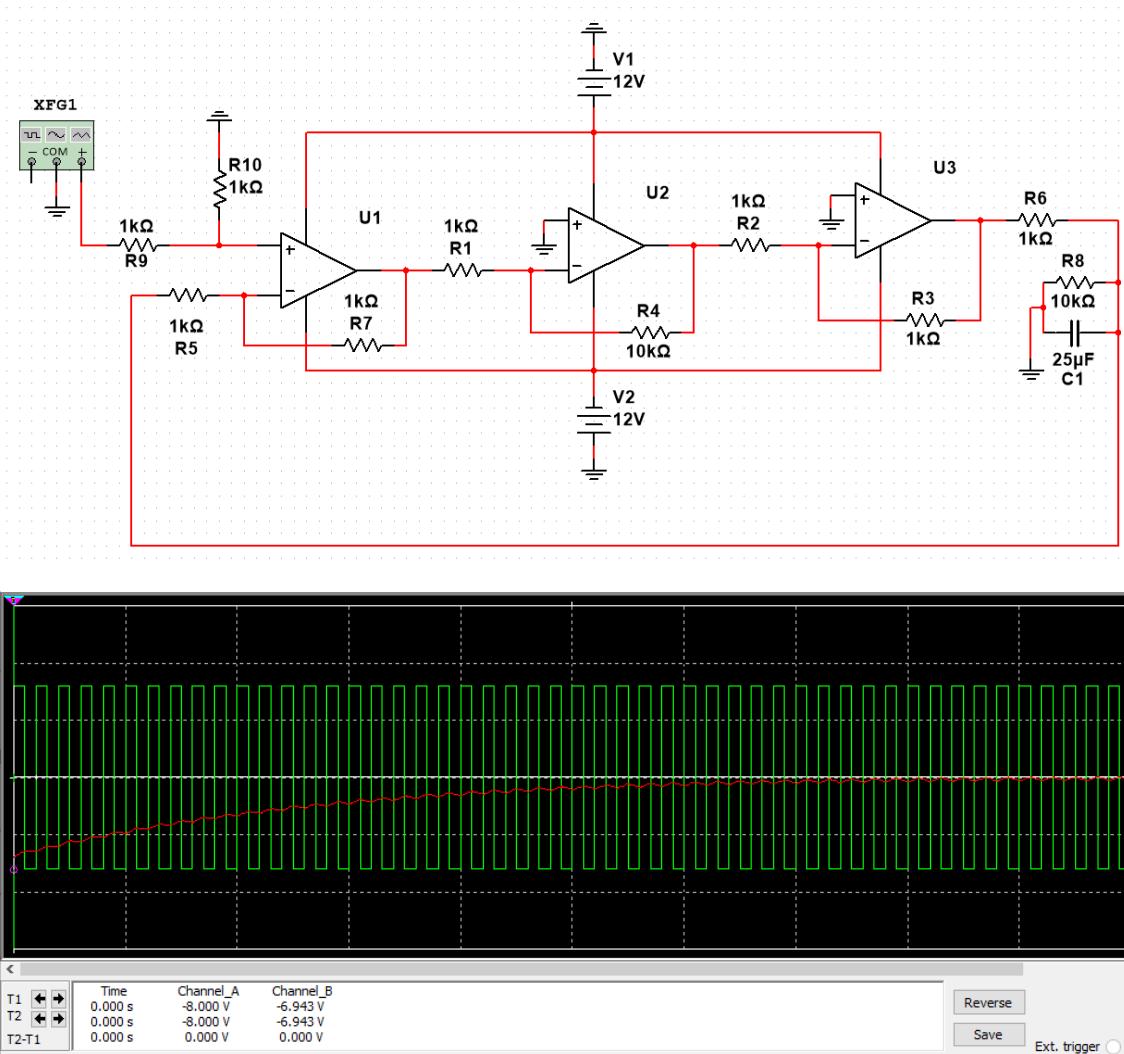
$$V_o = 2 * \frac{3}{4} * 2V + 2 * \frac{1}{4} * -1 - \frac{1k}{1k} * 2V$$

$$V_o = 3 - 0.5 - 2 = 0.5V$$



2.7) Aplicação de AMP-OP em sistemas de controle

Uma das formas mais comuns de controle em malha fechada é o sistema de PID, serve para minimizar erros e dar mais estabilidade e robustez a um sistema. Em sala foi demonstrado uma aplicação de PID utilizando AMP-OPs:



2.8) Filtro passa-baixa

Os filtros passa-baixa são circuitos que permitem a passagem de frequências até certo ponto, definido pelo desenvolvedor.

$$AT = Bode = \frac{a}{s + a} = \frac{a}{J * w + a} \rightarrow |AT| = \frac{a}{\sqrt{w^2 + a^2}}$$

$$Fc = \frac{1}{2 * \pi * R * C}$$

Ex) Desenvolva filtro de corte para 100Hz:

10Hz:

Capacitor escolhido: 10nF

$$R = \frac{1}{2 * \pi * 10 * 100 * 10^{-9}} = 159K\Omega$$

$$a = \frac{1}{159k * 10 * 10^{-9}} = 629$$

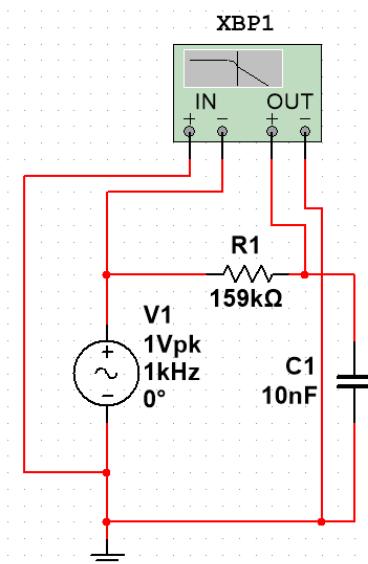
$$w = 2 * \pi * frequencia$$

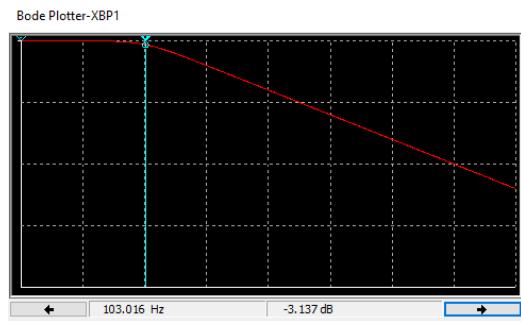
$$|AT|(100Hz) = \frac{629}{\sqrt{629^2 + 629^2}} = 0.707$$

$$|AT|(1000Hz) = \frac{629}{\sqrt{629^2 + (2 * \pi * 1000)^2}} = 0.09$$

$$Vo = Vi * AT = 1.414V$$

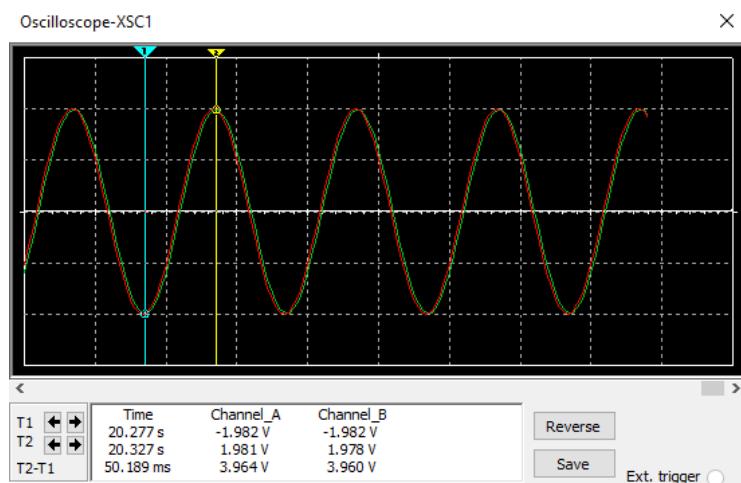
$$ATdB = 20 * \log(AT) = -3dB$$



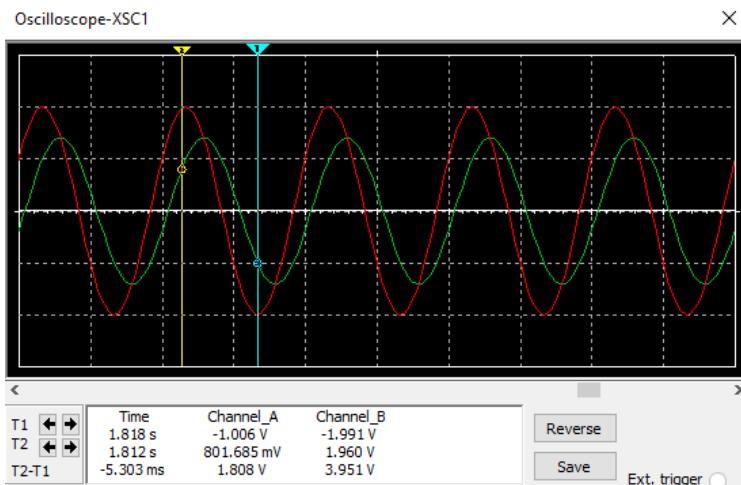


Utilizando o Bode Plotter podemos ver um ganho de -3dB a 100Hz.

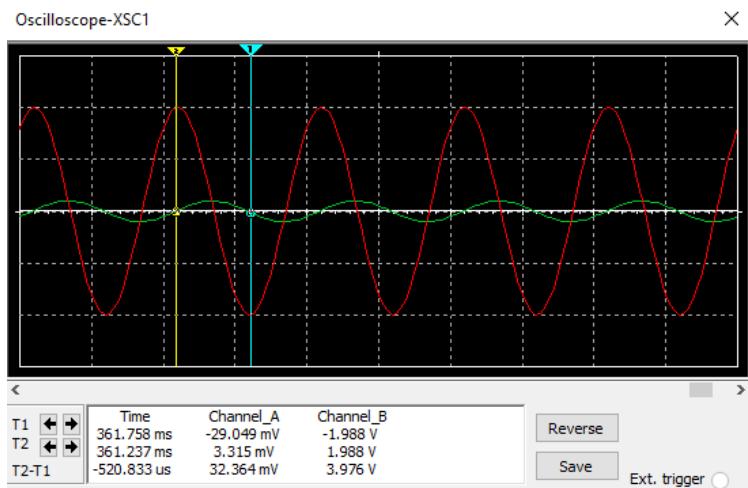
Relação entrada (vermelho) e saída (verde) a 10Hz



Relação entrada (vermelho) e saída (verde) a 100Hz

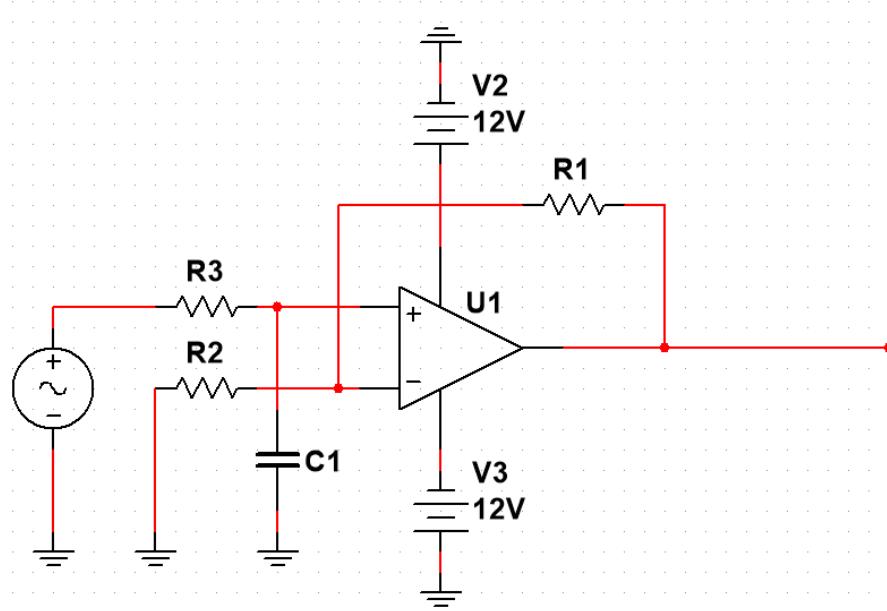


Relação entrada (vermelho) e saída (verde) a 1000Hz



Teórico			Simulado		
Hz	Vi	Vo	Vi	Vo	AT dB
10	2 V	2 V	2	1.98 V	-0.04
100	2 V	1.414 V	2	1.41 V	-3
1000	2 V	0.18 V	2	275 mV	-20

2.9) Ex passa baixa: Projete um filtro PB de 1º ordem com $F_c=1\text{KHz}$ e ganho de 20 Db, $R > 1\text{K}$



Definido capacitor = $20\mu\text{F}$

$$R = \frac{1}{2 * \pi * F_c * C} = 8K$$

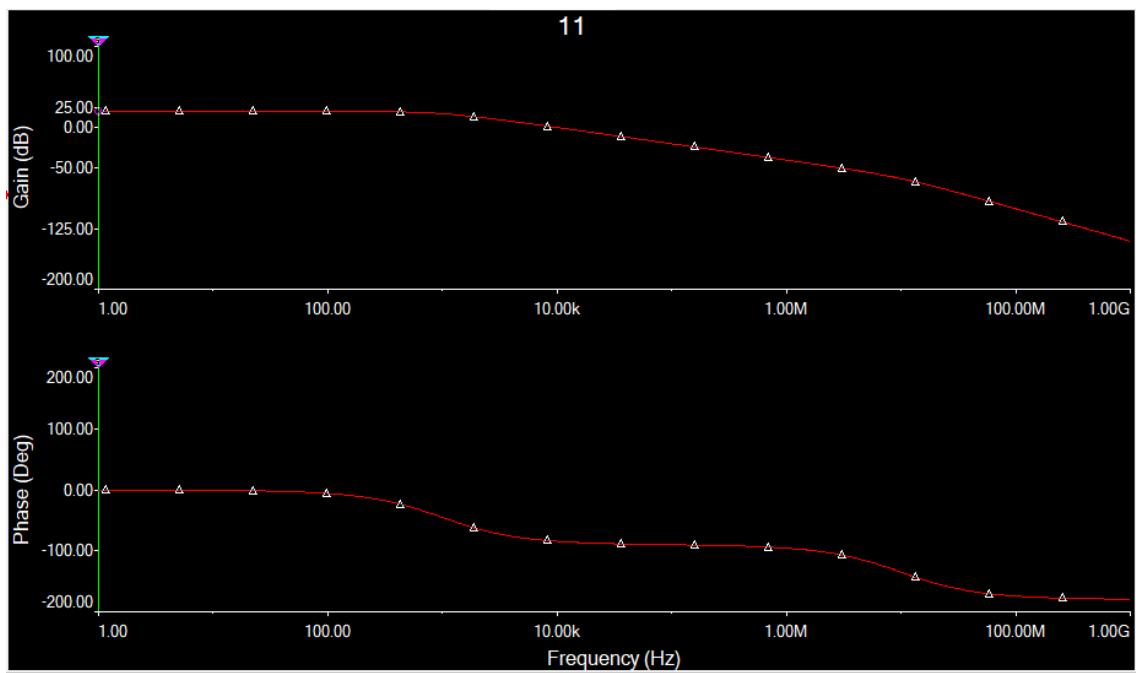
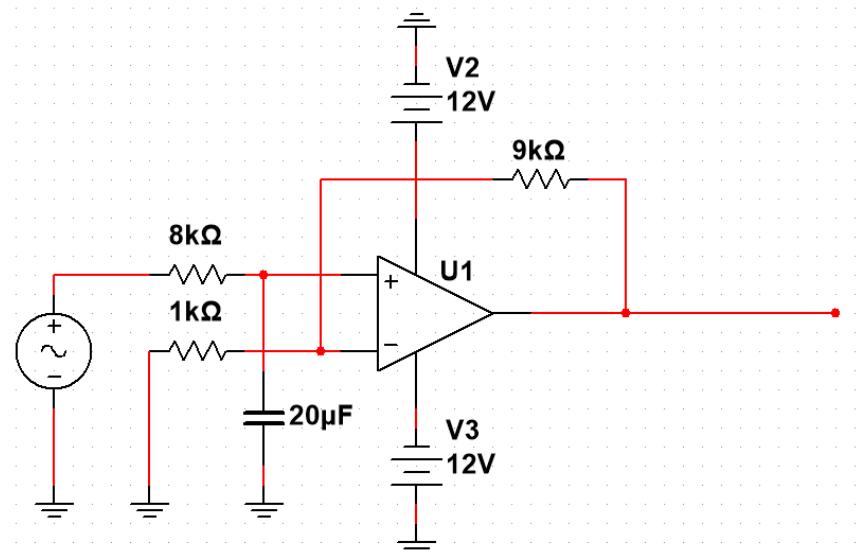
Transformar ganho em dB para ganho real:

$$AT = \frac{V_o}{V_i}$$

$$ATdB = 20 * \log(AT) \rightarrow 20 = 20 * \log\left(\frac{V_o}{V_i}\right) \rightarrow 1 = \log\left(\frac{V_o}{V_i}\right) \rightarrow \nu i = \frac{V_o}{10}$$

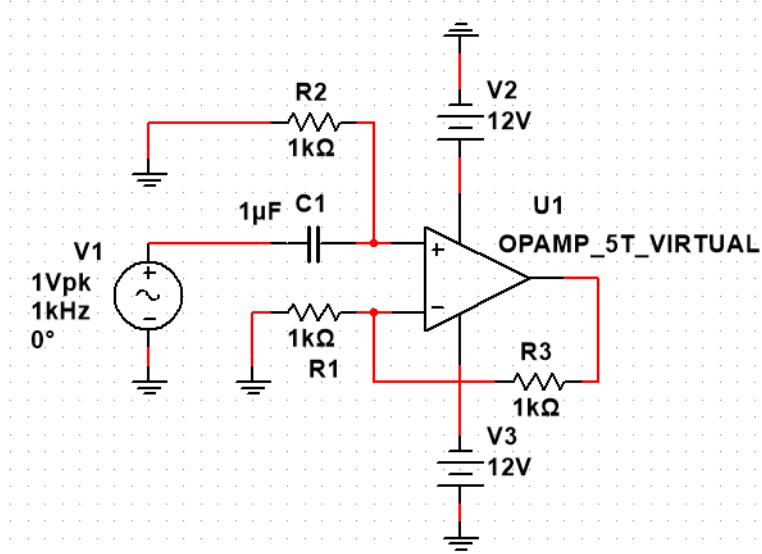
$$\text{ganho} = 1 + \frac{r_2}{r_3} \rightarrow 10 = 1 + \frac{r_2}{r_3} \rightarrow r_2 = 9 * r_3$$

$R_2=1\text{K}$ e $R_3 = 9\text{K}$



2.10) Filtro passa-alta

Ex: Projete um filtro PA com $F_c = 200$ Hz e ganho de 6 dB, $R > 1K$



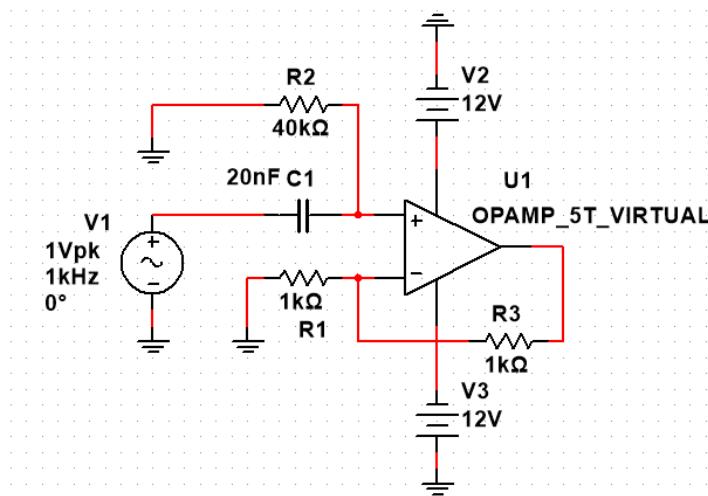
$$C = 20nF$$

$$R = \frac{1}{2 * \pi * 200 * 20 * 10^{-9}} = 39788\Omega$$

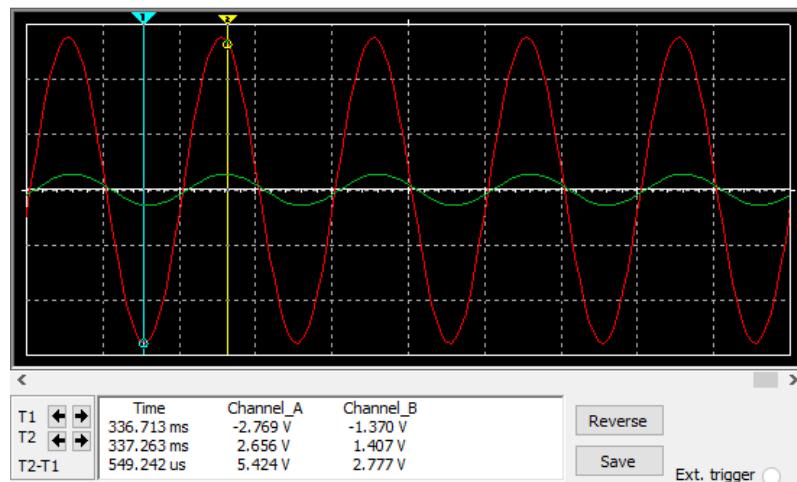
$$6\text{dB} = 20 \log(V_o/V_i)$$

$$0.3 = \log\left(\frac{V_o}{V_i}\right) \rightarrow 10^{0.3} = \frac{v_o}{v_i} \rightarrow v_o = 2 * V_i$$

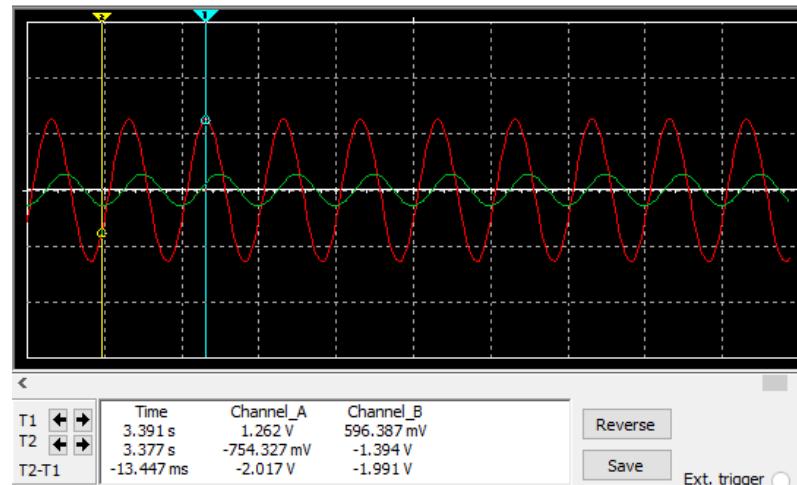
$$\text{ganho} = 1 + \frac{R2}{R3} \rightarrow 2 = 1 + \frac{R2}{R3} \rightarrow R2 = R3 = 1K$$



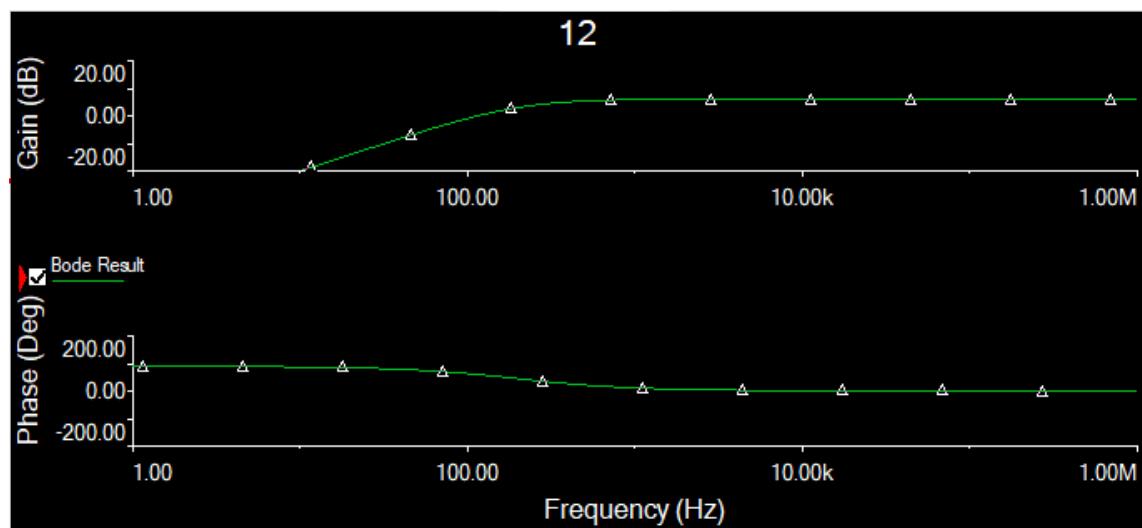
Saída (vermelho) e entrada (verde) do sistema a 1KHz:



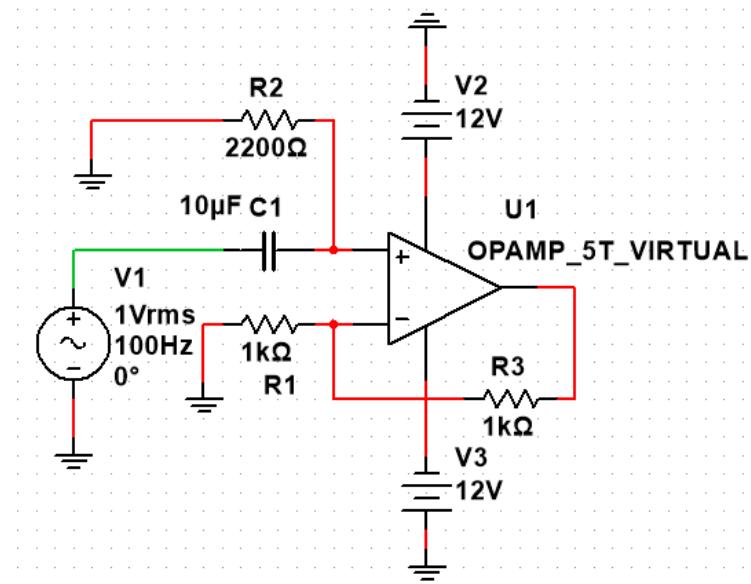
Saída do sistema a 100Hz:



Bode:

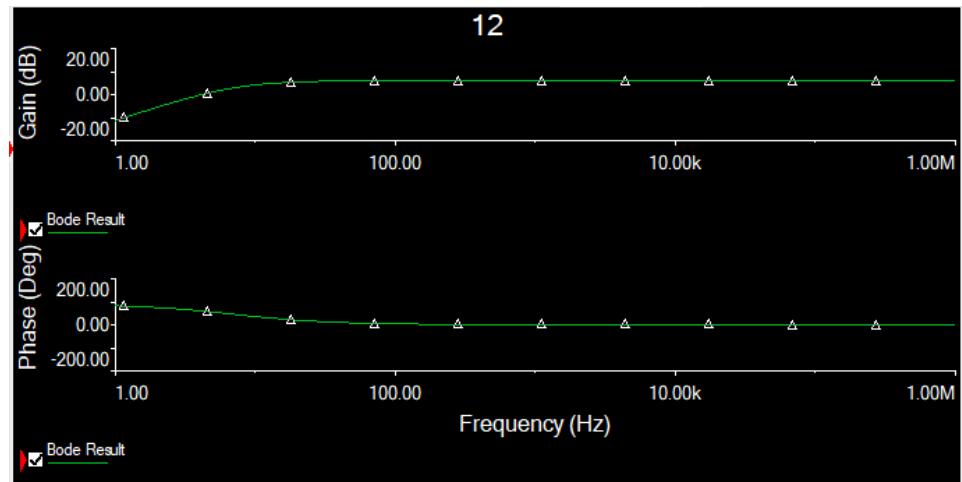


2.11) Calcule a FC do filtro apresentado e plote sua resposta na frequência:

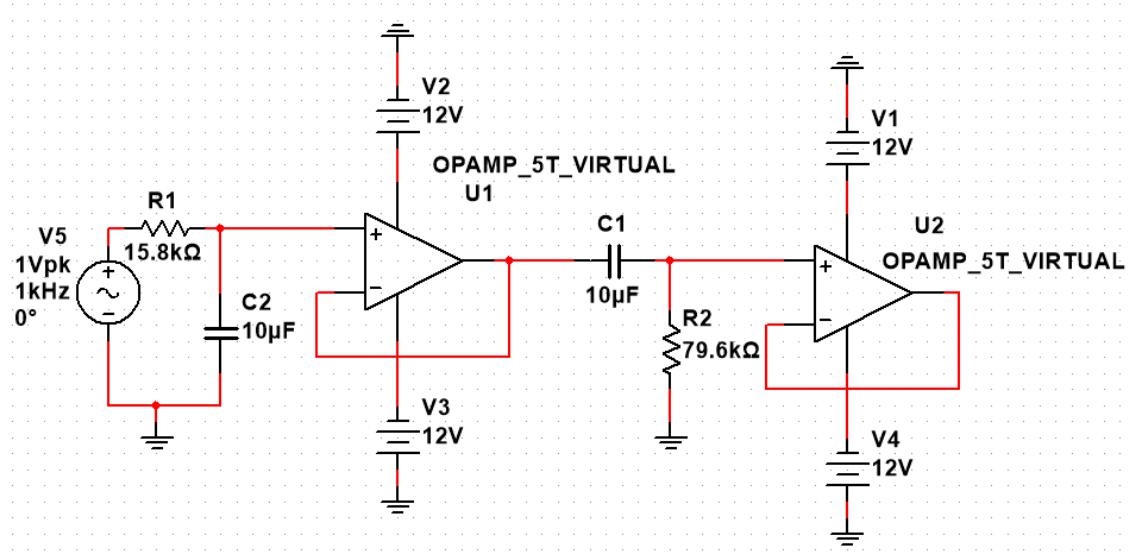


$$F_c = \frac{1}{2 * \pi * 2200 * 10 * 10^{-6}} = 7,23 \rightarrow 7\Omega$$

Resposta na frequência:

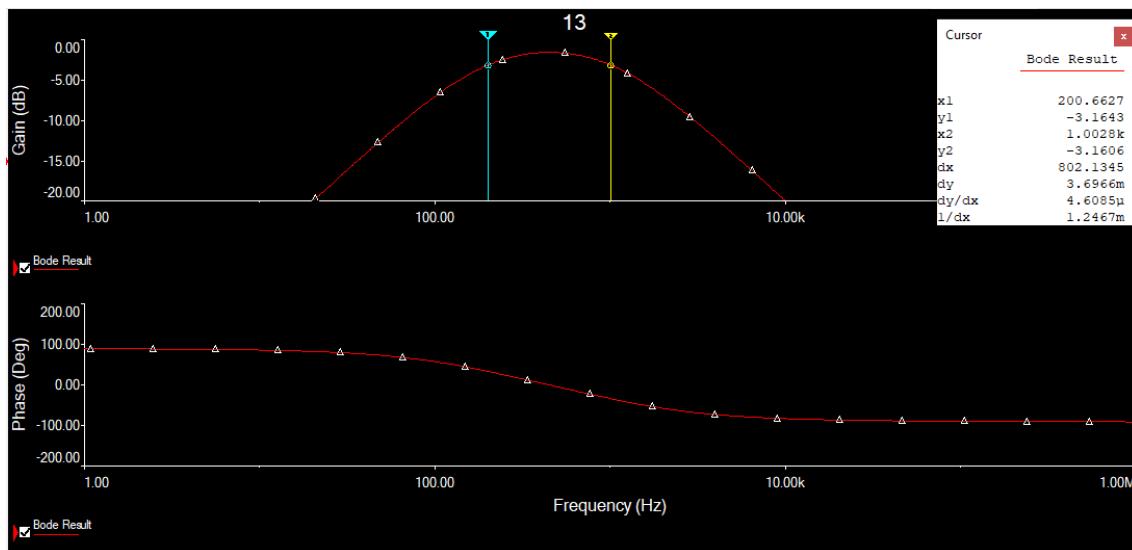


2.12) Calcule as frequências de corte dos filtros PA e PB:



$$Filtro\ 1 = PB \rightarrow Fc1 = \frac{1}{2 * \pi * 15800 * 10 * 10^{-9}} = 1007\ Hz$$

$$Filtro\ 2 = PA \rightarrow Fc1 = \frac{1}{2 * \pi * 79600 * 10 * 10^{-9}} = 200\ Hz$$



2.13) ButterWorth

Ex) Projete um filtro PB de 2º ordem “BT”, ganho unitário com Fc=1KHz

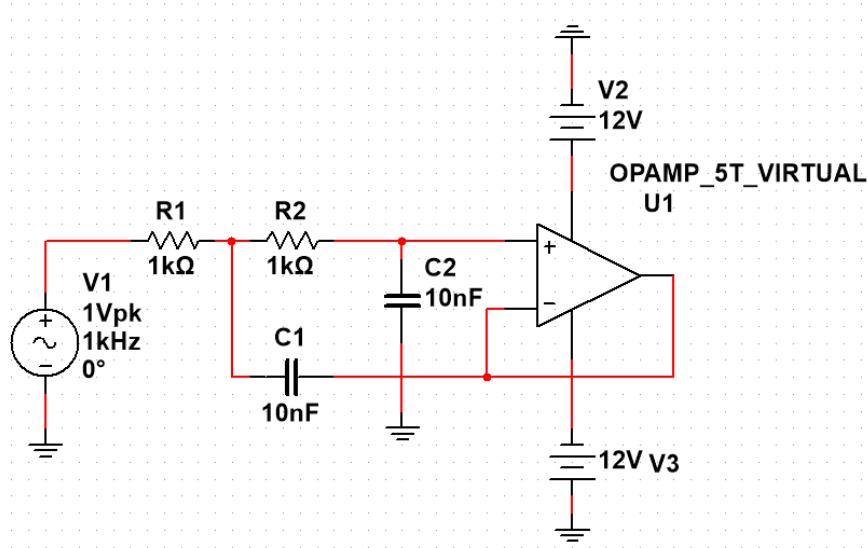


Table 16–5. Butterworth Coefficients

n	i	a _i	b _i	k _i = f _{ci} / f _c	Q _i
1	1	1.0000	0.0000	1.000	—
2	1	1.4142	1.0000	1.000	0.71

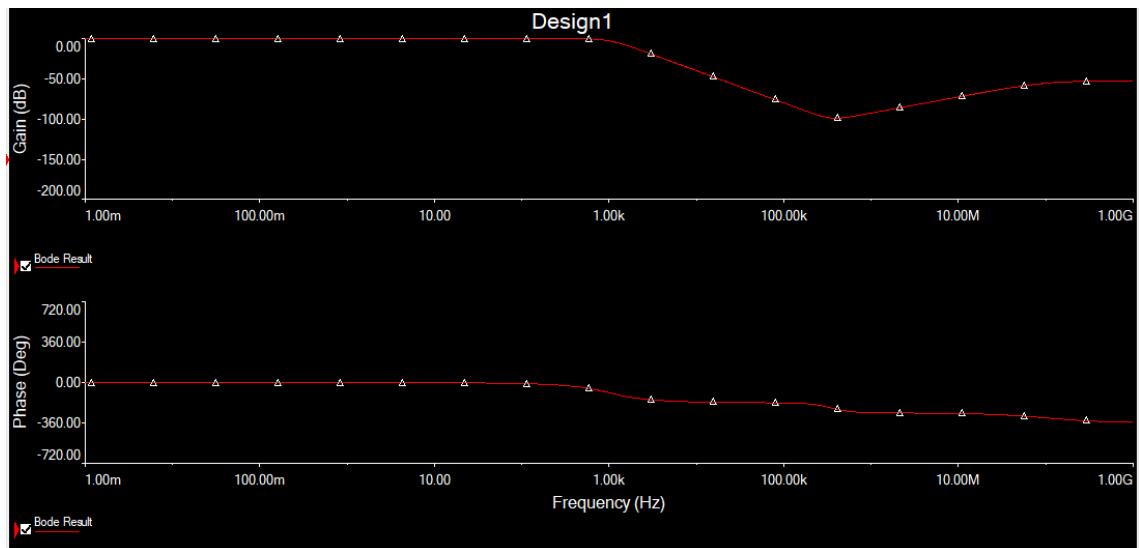
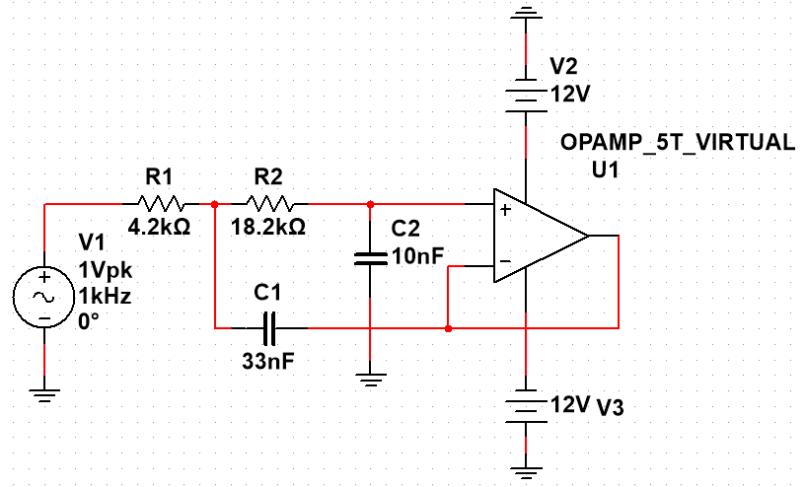
$$C1 = 10nF$$

$$C2 > \frac{4 * 1}{1.41^2} = 2 * C1 = 20nF \rightarrow C2 = 33nF$$

$$R_{1,2} = \frac{Ai * C2 \pm \sqrt{Ai^2 * C2^2 - 4 * B1 * C1 * C2}}{4 * \pi * Fc * C1 * C2}$$

$$R1 = \frac{Ai * C2 - \sqrt{Ai^2 * C2^2 - 4 * B1 * C1 * C2}}{4 * \pi * Fc * C1 * C2} = 4.2K$$

$$R2 = \frac{Ai * C2 + \sqrt{Ai^2 * C2^2 - 4 * B1 * C1 * C2}}{4 * \pi * Fc * C1 * C2} = 18.2K$$



2.14) Repita o exemplo anterior para aproximação Chebyshev com 1 dB na faixa de passagem.

Table 16–7. Tschebyscheff Coefficients for 1-dB Passband Ripple

n	i	a _i	b _i	k _i = f _{ci} / f _c	Q _i
1	1	1.0000	0.0000	1.000	—
2	1	1.3022	1.5515	1.000	0.96

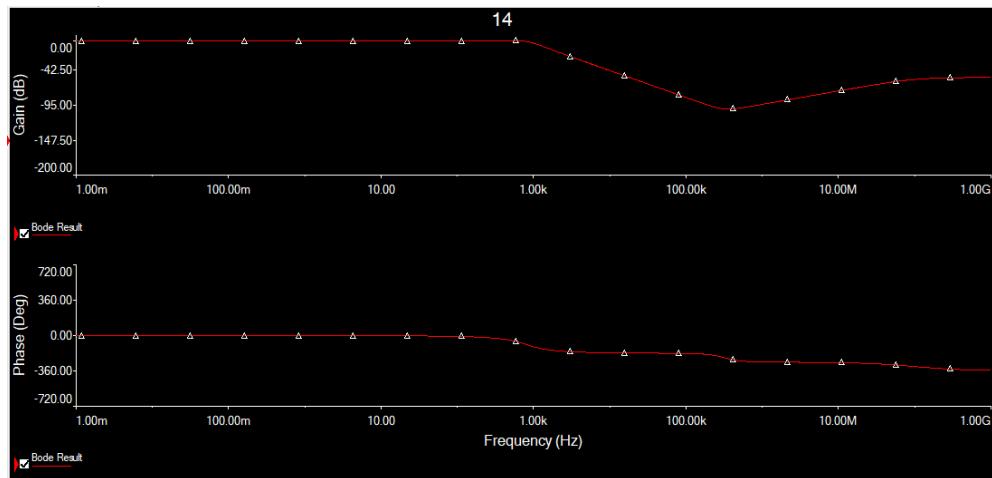
$$C1 = 10nF$$

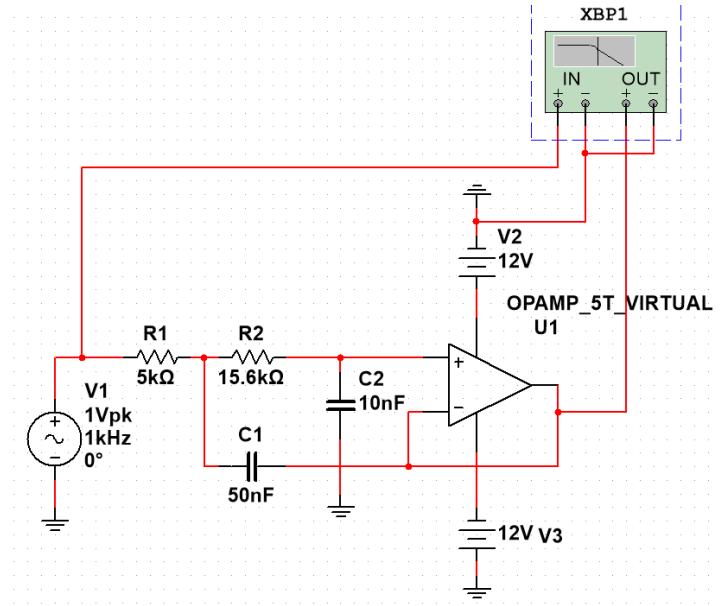
$$C2 > \frac{4 * 1.55}{1.4^2} = 3.66 * C1 = 36nF \rightarrow C2 = 50nF$$

$$R_{1,2} = \frac{Ai * C2 \pm \sqrt{Ai^2 * C2^2 - 4 * B1 * C1 * C2}}{4 * \pi * Fc * C1 * C2}$$

$$R1 = \frac{Ai * C2 - \sqrt{Ai^2 * C2^2 - 4 * B1 * C1 * C2}}{4 * \pi * Fc * C1 * C2} = 5K$$

$$R2 = \frac{Ai * C2 + \sqrt{Ai^2 * C2^2 - 4 * B1 * C1 * C2}}{4 * \pi * Fc * C1 * C2} = 15.6K$$





2.15) ButterWorth de 5º ordem:

Se dá pela utilização de 2 filtros de 2º ordem e um de 1º:



$$A1 = 1.61 \mid B1 = 1$$

$$A2 = 0.61 \mid B2 = 1$$

$$A3 = 1.00 \mid B3 = 0$$

1º)

$$C1 = 10nF$$

$$C2 > \frac{4 * 1}{1.61^2} = 1.54 * C1 = 15nF \rightarrow C2 = 30nF$$

$$R_{1,2} = \frac{Ai * C2 \pm \sqrt{Ai^2 * C2^2 - 4 * B1 * C1 * C2}}{4 * \pi * Fc * C1 * C2}$$

$$R1 = \frac{Ai * C2 - \sqrt{Ai^2 * C2^2 - 4 * B1 * C1 * C2}}{4 * \pi * Fc * C1 * C2} = 3.8K$$

$$R2 = \frac{Ai * C2 + \sqrt{Ai^2 * C2^2 - 4 * B1 * C1 * C2}}{4 * \pi * Fc * C1 * C2} = 21.7K$$

2º)

$$C1 = 10nF$$

$$C2 > \frac{4 * 1}{0.61^2} = 10.74 * C1 = 107nF \rightarrow C2 = 120nF$$

$$R_{1,2} = \frac{Ai * C2 \pm \sqrt{Ai^2 * C2^2 - 4 * B1 * C1 * C2}}{4 * \pi * Fc * C1 * C2}$$

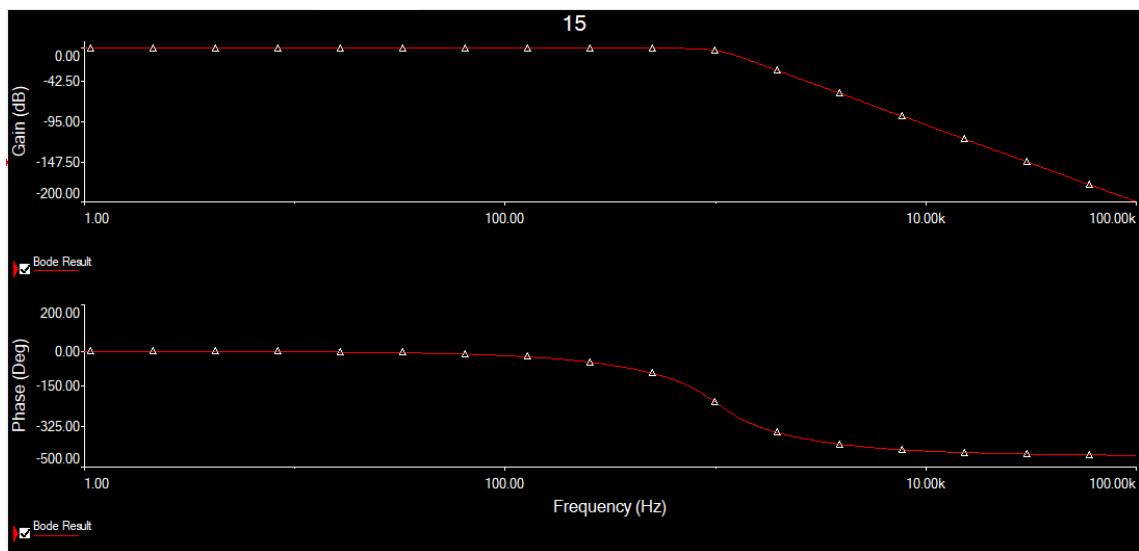
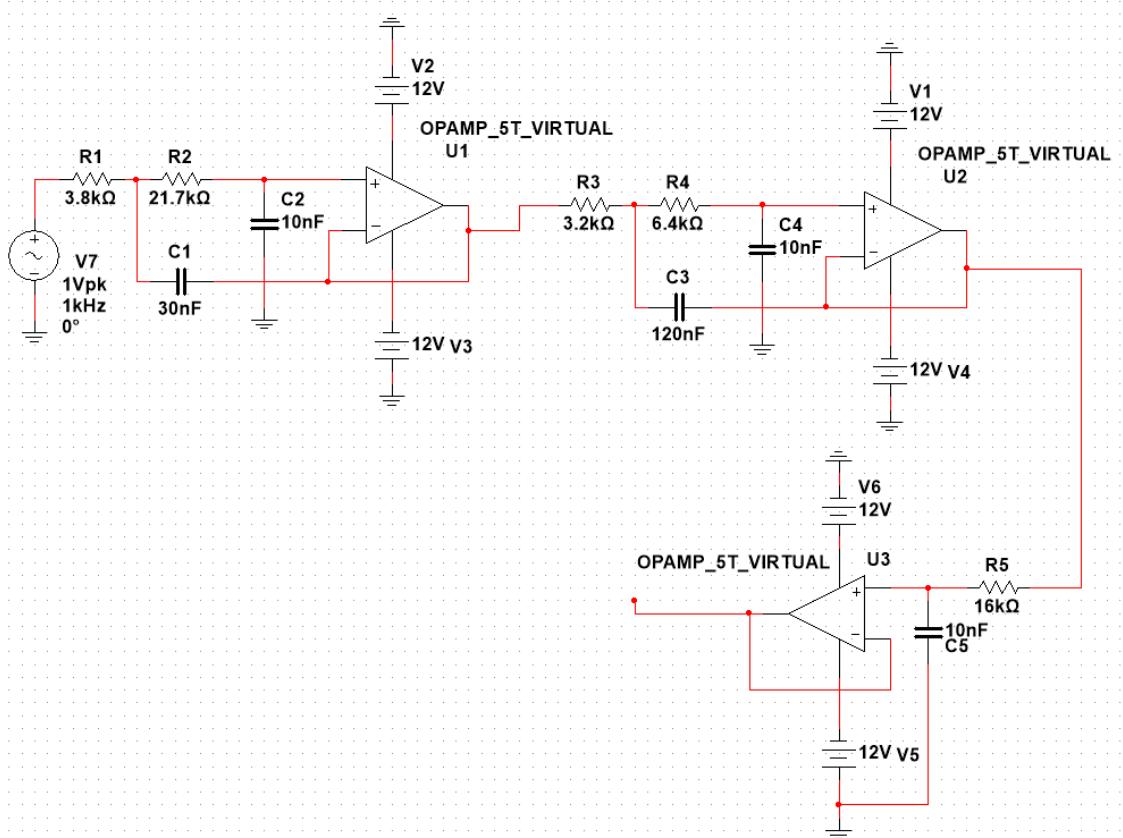
$$R1 = \frac{Ai * C2 - \sqrt{Ai^2 * C2^2 - 4 * B1 * C1 * C2}}{4 * \pi * Fc * C1 * C2} = 3.2K$$

$$R2 = \frac{Ai * C2 + \sqrt{Ai^2 * C2^2 - 4 * B1 * C1 * C2}}{4 * \pi * Fc * C1 * C2} = 6.4K$$

$3^\circ)$

$$C1 = 10nF$$

$$R = \frac{1}{2 * \pi * 1000 * 10nF} = 16K$$



2.16) Projeto PA:

$$a_1 = \frac{2}{wC * R1 * C}$$

$$b_1 = \frac{1}{wC^2 * R1 * R2 * C^2}$$

$$R1 = \frac{2}{a_1 * wC * c}$$

$$R2 = \frac{1}{wC^2 * b_1 * R1 * c^2}$$

Para $F_c = 1\text{kHz}$ e $C1 = 10\text{nF}$:

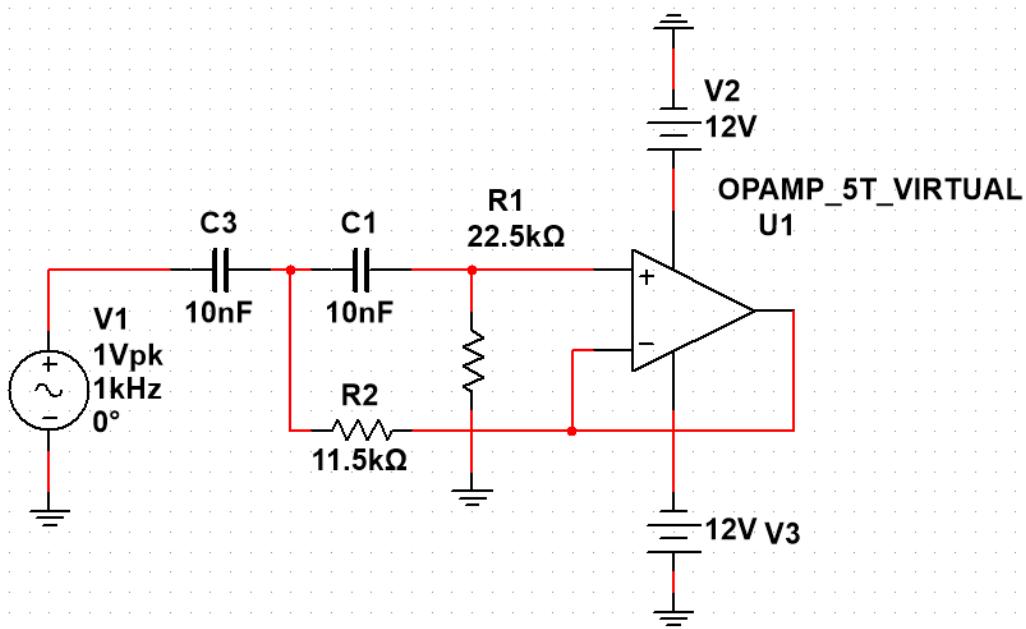
$$a_1 = 1,4142$$

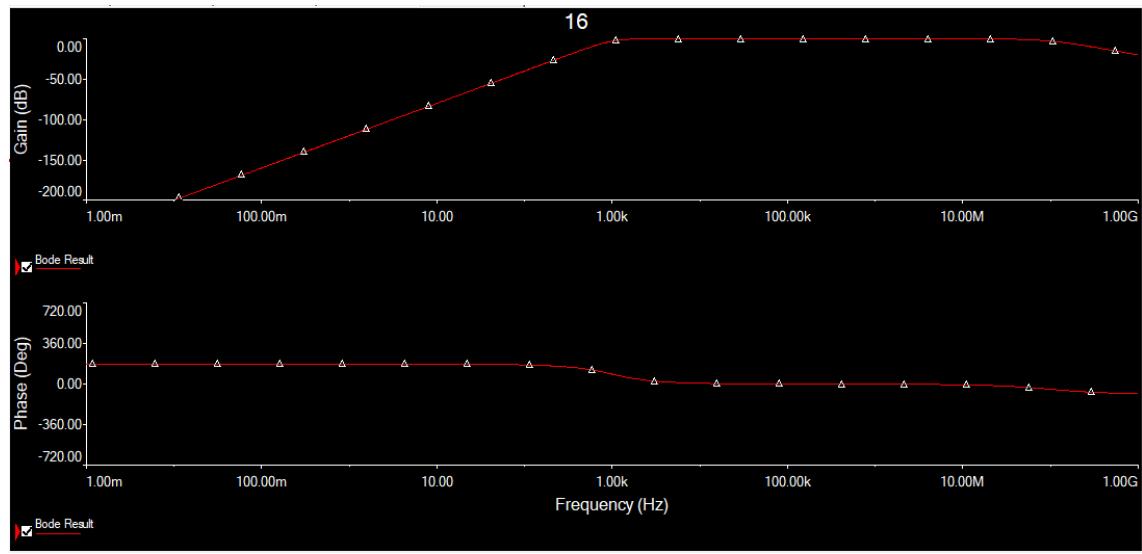
$$b_1 = 1$$

$$R1 = \frac{2}{1,4142 * 2 * \pi * f_c * 10nF} \rightarrow \frac{1}{4,443 \times 10 - 5} = 22k500$$

$$R2 = \frac{1}{(2 * \pi * f_c)^2 * 1 * 22k * 10nF} \rightarrow \frac{1}{868,525 \times 10 - 13}$$

$$R2 = 11k5$$





3) Conclusão

Com este trabalho foi possível reforçar todos os conhecimentos obtidos em sala de aula e realmente poder experimentar com componentes e circuitos estudados. Sendo possível analisar as grandes mudanças que pequenas alterações podem ocasionar e entender como melhor desenvolver um circuito, tendo em vista as propriedades e comportamentos de componentes específicos.