

## Experiência 4: Amplificadores operacionais

Os amplificadores operacionais são circuitos utilizados para as mais diversas atividades. O objetivo desta experiência é apresentar as características básicas de um Amplificador Operacional e os circuitos fundamentais em que este elemento é aplicado.

### Filtros

Um filtro é um circuito cuja função é deixar passar sinais com certa faixa de frequências, rejeitando (ou atenuando) as outras frequências fora dessa faixa. A Fig. 12 mostra um filtro passivo tipo passa-baixas. Dependendo dos capacitores utilizados, para frequências altas as reatâncias capacitivas e indutivas tomam um valor conjunto muito grande; portanto, a tensão aplicada na entrada do filtro não é transferida para a saída. Lembre-se da expressão da reatância capacitiva:  $X_c = 1/(j\omega C)$ , onde  $\omega = 2\pi f$ ; e da reatância indutiva:  $X_l = j\omega L$ . Assim, a tensão aplicada à entrada do filtro não passa para a saída de forma homogênea para todas as frequências.

A frequência de corte  $f_c$  é a frequência em que o ganho de tensão cai aproximadamente 3 dB do valor do ganho máximo.

Como as grandezas envolvidas na análise de filtros envolvem diferenças numéricas muito grandes entre valores de ganhos e frequências, é conveniente adotar uma relação logarítmica na apresentação desses parâmetros. O ganho de tensão ou de potência é medido em decibéis (dB) e é definido como  $A_{db} = 20 \log (V_s/V_E)$ .

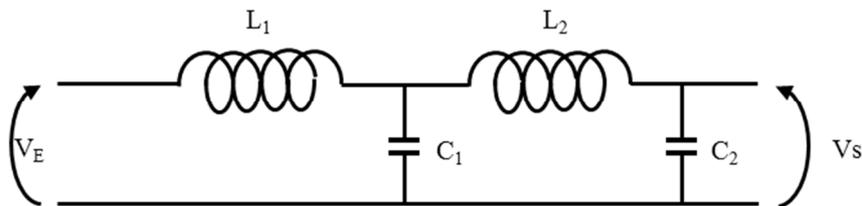


Figura 12 – Filtro passa-baixas passivo

Os filtros passivos em geral requerem a presença de um indutor que é um componente pesado, caro e difícil de obter comercialmente. Geralmente os indutores devem ser projetados e enrolados por quem deseja utilizá-los. Outro fato importante é que os filtros passivos não permitem ganho em tensão (efetuam apenas atenuação). Além disso, eles possuem uma perda resistiva interna, denominada perda de inserção, pois os indutores e capacitores não são componentes ideais. Para evitar esses inconvenientes, são utilizados os filtros ativos no processamento de sinais.

### Filtro ativo de primeira ordem

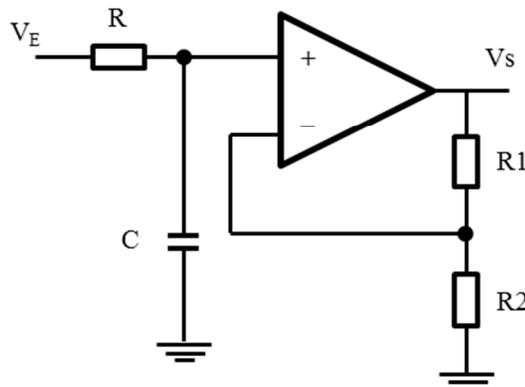


Figura 13 – Filtro passa-baixas de primeira ordem

Figura 13 mostra um filtro ativo de primeira ordem, que é assim denominado por possuir um pólo em sua função de transferência entre a entrada e a saída (ou seja, é representado por uma equação diferencial de primeira ordem). O pólo é igual à constante RC no circuito, e a taxa de decaimento do ganho de tensão, após a frequência de corte, é de 20 dB/década. O ganho de malha aberta do filtro e a frequência de corte deste filtro são dados pelas relações:

$$A = (R1/R2) + 1$$

$$f_c = 1/(2\pi RC)$$

### Filtro ativo de ordem superior

O filtro da Fig. 14 é chamado de filtro passa-baixas de segunda ordem devido ao fato da função de transferência entre entrada e saída possuir dois pólos (ou seja, o filtro é modelado por uma equação diferencial de segunda ordem), resultando em uma taxa de decaimento do ganho de tensão após a frequência de corte de 40 dB/década. No circuito da Fig. 14 o ganho em baixas frequências é dado por  $A = 1 + R1/R2$ . A frequência de corte é  $f_c = 1/(2\pi RC)$

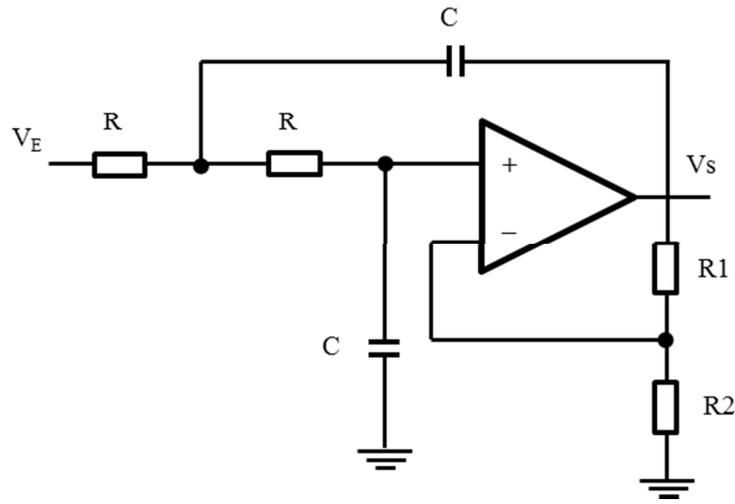


Figura 14 – Filtro passa-baixas de segunda ordem

Uma análise matemática para esse filtro revela que o ganho em malha fechada  $A = 1,586$  é um valor crítico, equivalendo ao comportamento crítico da equação diferencial. Para o ganho de 1,586 a resposta obtida para a banda de passagem será a mais plana possível ("flat response"); isso é conhecido por Resposta Butterworth ou Resposta Maximamente Plana, sendo por esse motivo uma das mais populares. Como o ganho de tensão em malha fechada deve ser 1,586, a equação  $R_1 = 0.586R_2$  deve ser satisfeita para obtermos resposta Butterworth.

Quando se faz necessária uma atenuação maior, ainda é possível projetar uma célula de filtro de terceira ordem. Em geral não é recomendável utilizar-se um circuito com amplificador operacional para filtros de ordem superior, pois se pode ter instabilidade devido ao número excessivo de pólos e zeros. Em geral, nesses casos utilizam-se várias seções de no máximo dois pólos. A Tab. 5 fornece os ganhos de tensão para se construir filtros Butterworth passa-baixas. Note que um filtro de dois pólos necessita de um ganho de 1,586, como discutido anteriormente. Um filtro de três pólos requer duas seções, a primeira sendo um filtro de um pólo com um ganho qualquer e a segunda um filtro de dois pólos com um ganho de 2, e assim por diante.

Tabela 5: Ganhos para filtros Butterworth

Pólos	Taxa de Dec.	1ª Seção	2ª Seção	3ª Seção
1	20 dB	Qualquer		
2	40 dB	1,586		
3	60 dB	Qualquer	2	
4	80 dB	1,152	2,235	
5	100 dB	Qualquer	1,382	2,382
6	120 dB	1,068	1,586	2,482

### Atividade 1 (rel)

O circuito integrado a ser utilizado nesta experiência é o CI TL081, cujo encapsulamento bem como suas ligações internas e pinagem são apresentados na Figura 15.

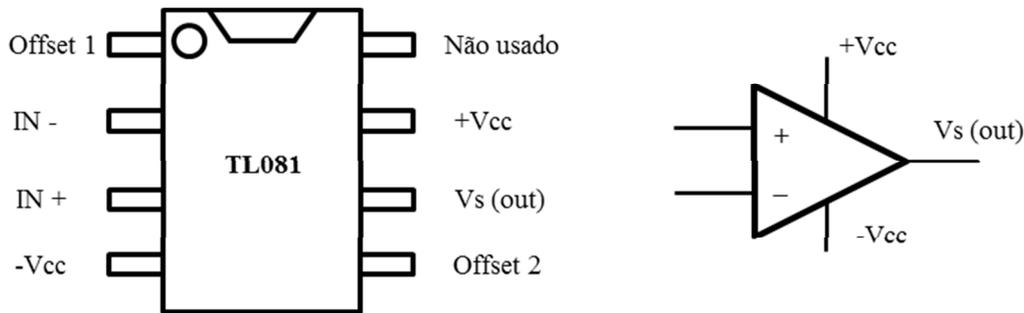


Figura 15 – CI TL081

- Monte no protoboard um amplificador inversor, com  $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ . Alimente o circuito integrado com a fonte ajustável, com tensões de +10 V e -10 V.
- Aplique na entrada do circuito um sinal senoidal proveniente do gerador de sinais, com frequência de 1 kHz, e amplitude  $2,0 \text{ V}_{pp}$  (pico a pico), e offset zero.
- Meça, utilizando os dois canais do osciloscópio, os valores de entrada e saída, comparando-os e faça o gráfico dos dois sinais.
- Modificando o valor de  $R_2$  e da frequência, preencha a Tabela 6, anotando as amplitudes de entrada e saída e calcule a relação de ganho e entrada.

Tabela 6: Tabela de valores de tensão pico a pico para circuito inversor

R2	Frequência	Ve	Vs	G = Vs/Ve
1K	1 KHz			
	100 KHz			
10K	1 KHz			
	100 KHz			

### Atividade 2 (rel)

- Modifique o circuito anterior, de forma que ele se torne um somador de duas entradas, com todos os resistores iguais a  $10 \text{ k}\Omega$ .
- A alimentação deve ser de +10 V e -10 V.
- Coloque em uma das entradas do somador um sinal constante proveniente de um divisor resistivo entre +10 V e -10 V, inicialmente formado por dois resistores de  $1 \text{ k}\Omega$ .
- Na outra entrada do somador, coloque um sinal senoidal  $V_E$  de 1 kHz,  $2,0 \text{ V}_{pp}$ , com offset zero.
- Faça o gráfico da onda da saída.
- Modifique o nível de tensão das entradas (**modificando o nível do sinal senoidal e os resistores, mantendo fixa a frequência**), anotando os valores de entrada e de saída obtidos para 4 situações diferentes.

### Atividade 3 (rel)

- Projete o circuito de um filtro passa-baixas de primeira ordem para frequência de corte de 1 kHz. Adote  $C = 10 \text{ nF}$ ,  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  e o ganho em baixas frequências igual a 10.
- Monte o circuito do filtro projetado.
- Ajuste o gerador de funções para onda senoidal, frequência de 100 Hz e em um nível de amplitude de entrada sem saturação.
- Mantendo fixa a amplitude de entrada, preencha os dados da Tab. 7.
- Com esses dados faça um gráfico ganho x frequência. Obtenha a frequência de corte e a taxa de decaimento do filtro, conforme o exemplo mostrado na Fig. 16. **Notem que a escala horizontal é logarítmica.**

Tabela 7: Anotações para o filtro passa-baixas de primeira ordem

Frequência	$V_e$	$V_s$	G	GdB
100 Hz				
200 Hz				
500 Hz				
1 KHz				
2 KHz				
5 KHz				
10 KHz				

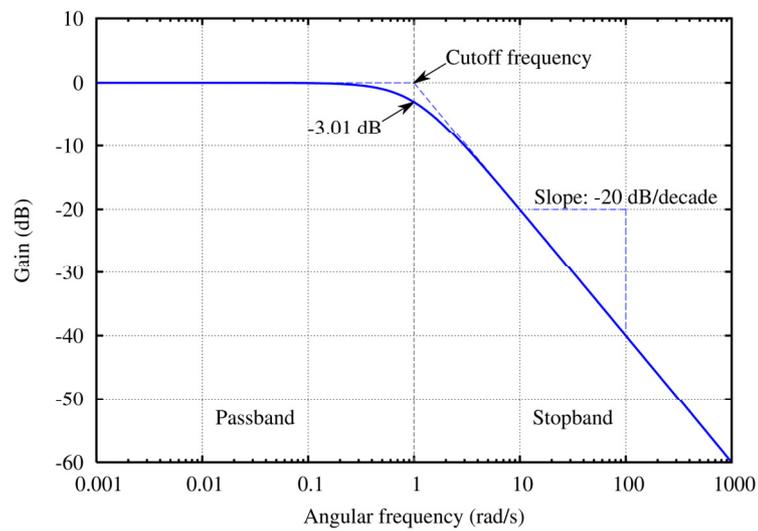


Figura 16 – Exemplo de gráfico ganho X frequência

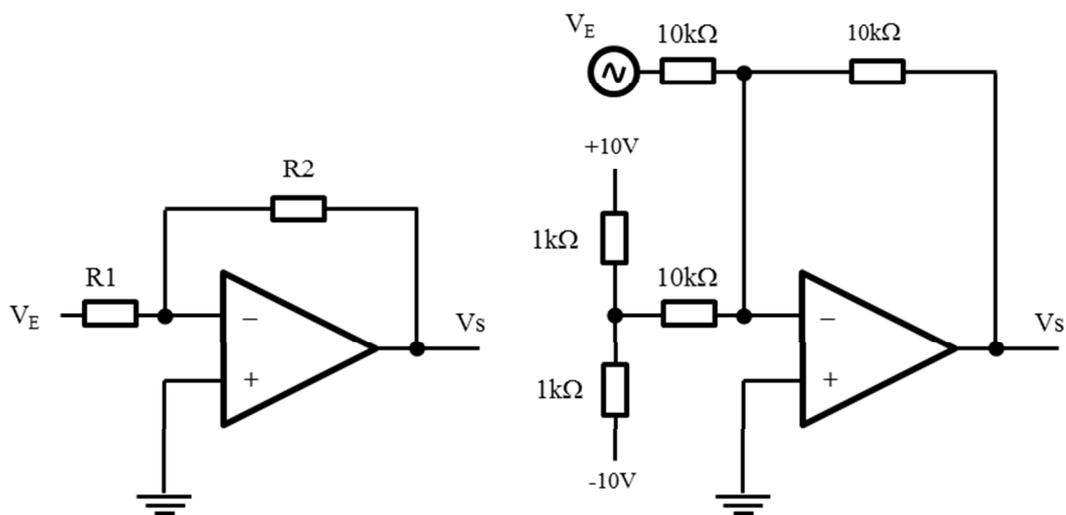


Figura 17 – Esquemas de montagem de circuitos inversor e somador