

# PRÁTICA 2

## FILTRO PASSA-BAIXAS

### OBJETIVOS

- Entender o comportamento de um filtro passa-baixas.
- Verificar experimentalmente o funcionamento de um filtro passa-baixas de primeira ordem.

### TEORIA

Filtros são circuitos eletrônicos que têm a propriedade de atuar na amplitude e fase de um sinal, quando a frequência do mesmo varia. Os filtros podem ser passivos ou ativos.

Filtros passivos são implementados a partir de componentes, como resistores, capacitores e indutores, e não amplificam o sinal de saída.

Filtros ativos são implementados a partir de componentes passivos, como resistores, capacitores e indutores e com amplificadores operacionais, podendo amplificar o sinal de saída.

Aqui, serão abordados filtros passivos devido à facilidade de sua implementação.

Os filtros podem ser classificados em quatro tipos:

- Passa-baixas.
- Passa-altas.
- Passa-faixa.
- Rejeita-faixa.

Independentemente do tipo do filtro, existem frequências críticas que determinam suas características de operação como: faixa de passagem, faixa de transição e faixa de atenuação. A faixa de passagem é aquela na qual o sinal de saída sofre uma atenuação máxima de 3 dB. Para um filtro passa-baixas, o fim dessa faixa é definido pela frequência de corte. A faixa de atenuação corresponde à faixa de frequência na qual a atenuação é elevada, no mínimo superior a 20 dB. Por fim, a faixa de transição é a faixa de frequência compreendida entre a frequência de corte

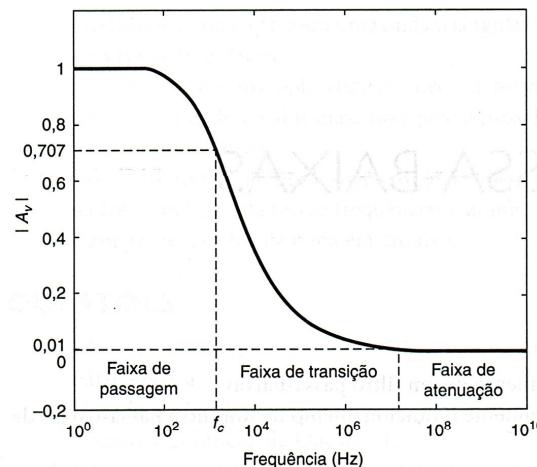


Figura 2.1 Módulo da resposta em frequência de um filtro passa-baixas.

e o início da faixa de atenuação. A Figura 2.1 ilustra essas faixas de frequências na curva de transferência de um filtro passa-baixas.

A Figura 2.2 ilustra o bloco que simboliza um filtro passa-baixas.

O circuito mais simples para implementar um filtro passa-baixas é o circuito RC série ilustrado na Figura 2.3. Para sinais de baixa frequência, a reatância capacitativa assume valores elevados em comparação com a resistência, fazendo com que a tensão de saída,  $V_s$ , seja praticamente igual à tensão de entrada,  $V_e$ . Para sinais de frequência elevada, a reatância capacitativa assume valores baixos em comparação com a resistência, fazendo com que a tensão de saída,  $V_s$ , seja praticamente nula.

Na frequência de corte,  $f_c$ , ocorre uma queda de 3 dB na potência de saída, ou seja, a potência de saída cai pela metade, com relação à potência de entrada. Nesse caso, a reatância capacitativa é igual à resistência; portanto

$$R = X_C \text{ ou } R = \frac{1}{2\pi f_c C}, \text{ daí } f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.1)$$



Figura 2.2 Diagrama de blocos

de um filtro passa-baixas.

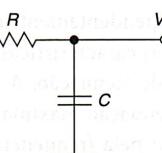
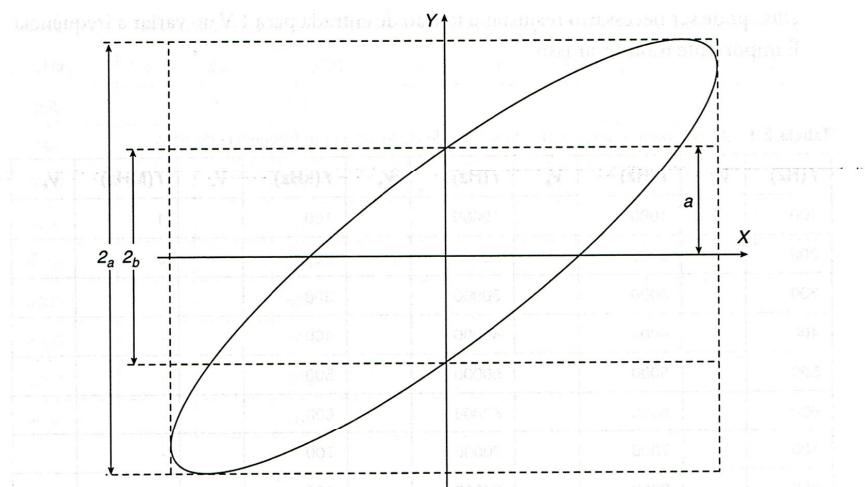


Figura 2.3 Filtro passa-baixas com circuito RC série.



**Figura 2.4** Figura de Lissajous para medição da fase da resposta em frequência do filtro.

O ganho de tensão do filtro é dado por

$$A_v = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f RC)^2}} \quad (2.2)$$

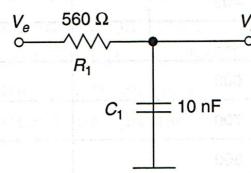
Para medir a fase da resposta do filtro, usa-se uma figura de Lissajous, como ilustrado na Figura 2.4. A partir dos valores  $2a$  e  $2b$  pode-se obter a fase do filtro, como será mostrado nas questões.

## MATERIAL EXPERIMENTAL

- Gerador de sinais
- Osciloscópio analógico ou digital
- Resistor de 560  $\Omega$
- Capacitor de 10 nF

## PARTE PRÁTICA

- Monte o circuito da Figura 2.5 e ajuste o gerador de sinais para fornecer uma onda senoidal de 1 V de amplitude.
- Varie a frequência do gerador de sinais conforme a Tabela 2.1, meça e anote a tensão de saída.



**Figura 2.5** Circuito RC da Prática 2.

*Obs.:* pode ser necessário reajustar a tensão de entrada para 1 V ao variar a frequência. É importante monitorar isso.

**Tabela 2.1** Quadro para levantamento da amplitude da resposta em frequência do filtro

$f$ (Hz)	$V_s$	$f$ (Hz)	$V_s$	$f$ (Hz)	$V_s$	$f$ (kHz)	$V_s$	$f$ (MHz)	$V_s$
100		1000		10000		100		1	
200		2000		20000		200		2	
300		3000		30000		300		-	
400		4000		40000		400		-	
500		5000		50000		500		-	
600		6000		60000		600		-	
700		7000		70000		700		-	
800		8000		80000		800		-	
900		9000		90000		900		-	

- Coloque o canal 1 do osciloscópio para medir a tensão de entrada e o canal 2 para medir a tensão de saída. Coloque o osciloscópio no modo X-Y. Varie a frequência do gerador de sinais conforme a Tabela 2.2, meça e anote os parâmetros  $2a$  e  $2b$  da figura de Lissajous.

**Tabela 2.2** Quadro para levantamento da fase da resposta em frequência do filtro

$f$ (Hz)	$2a$	$2b$	$f$ (kHz)	$2a$	$2b$	$f$ (MHz)	$2a$	$2b$
100			10			1		
200			20			2		
300			30			-		
400			40			-		
500			50			-		
600			60			-		
700			70			-		
800			80			-		
900			90			-		

continua

**Tabela 2.2** Quadro para levantamento da fase da resposta em frequência do filtro (*continuação*)

$f$ (Hz)	2a	2b	$f$ (kHz)	2a	2b	$f$ (MHz)	2a	2b
1000			100			-		
2000			200			-		
3000			300			-		
4000			400			-		
5000			500			-		
6000			600			-		
7000			700			-		
8000			800			-		
9000			900			-		

## QUESTÕES

1. Com os valores anotados na Tabela 2.1, construa o gráfico do módulo do ganho de tensão do filtro em função da frequência.
2. Com os valores anotados na Tabela 2.2, calcule a fase da resposta em frequência do filtro como

$$\theta = \text{sen}^{-1} \left( \frac{2a}{2b} \right) \quad (2.3)$$

3. Com os valores calculados na Questão 2, construa o gráfico da fase do ganho de tensão do filtro em função da frequência.
4. Calcule a frequência de corte do filtro montado na Parte Prática e indique-a nos gráficos construídos nas Questões 1 e 3.
5. A partir do gráfico da amplitude da resposta em frequência do filtro, determine as faixas de passagem, transição e atenuação.
6. Usando o Matlab ou outro *software* matemático/científico qualquer, obtenha o gráfico do módulo do ganho de tensão do filtro em função da frequência.
7. Compare o gráfico obtido na Questão 6 com o construído na Questão 1.
8. Usando o Matlab ou outro *software* matemático/científico qualquer, obtenha o gráfico da fase do ganho de tensão do filtro em função da frequência.
9. Compare o gráfico obtido na Questão 8 com o construído na Questão 3.

# PRÁTICA 3

## FILTRO PASSA-ALTAS

### OBJETIVOS

- Entender o comportamento de um filtro passa-altas.
- Verificar experimentalmente o funcionamento de um filtro passa-altas de primeira ordem.

### TEORIA

Um filtro passa-altas é caracterizado por iniciar a faixa de passagem, ou seja, a faixa com atenuação máxima de 3 dB, na frequência de corte ( $f_c$ ). Assim, sinais com frequência abaixo de  $f_c$  são fortemente atenuados, enquanto sinais acima de  $f_c$  sofrem atenuação máxima de 3 dB.

A Figura 3.1 ilustra o bloco que simboliza um filtro passa-altas.

A Figura 3.2 ilustra o módulo da resposta em frequência para um filtro passa-altas.

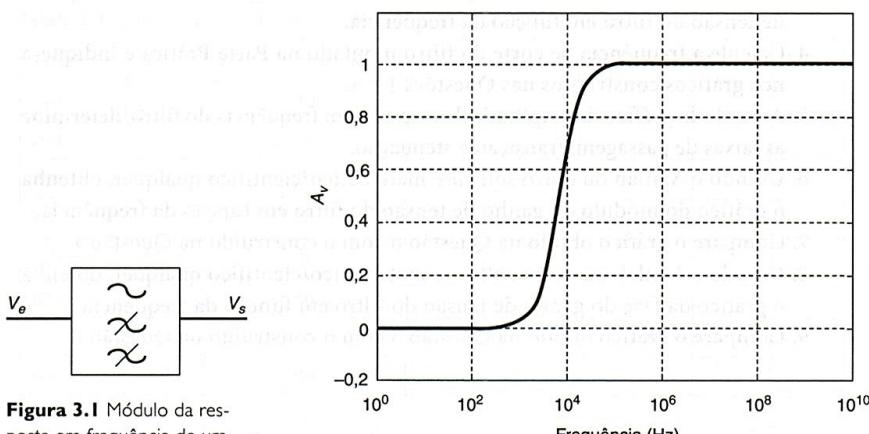


Figura 3.1 Módulo da resposta em frequência de um filtro passa-altas.

Figura 3.2 Diagrama de blocos de um filtro passa-altas.

### FILTRO PASSA-ALTAS

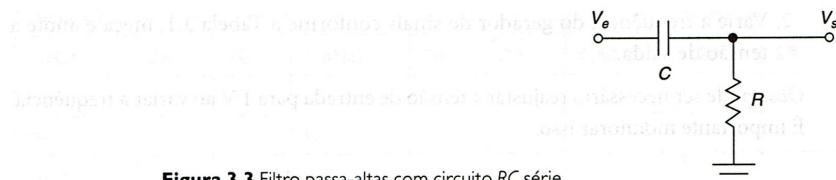


Figura 3.3 Filtro passa-altas com circuito RC série.

O circuito mais simples para implementar um filtro passa-altas é o circuito  $RC$  série ilustrado na Figura 3.3. Para sinais de baixa frequência, a reatância capacitiva assume valores elevados em comparação com a resistência, fazendo com que a tensão de saída,  $V_s$ , seja praticamente nula. Para sinais de frequência elevada, a reatância capacitiva assume valores baixos em comparação com a resistência, fazendo com que a tensão de saída,  $V_s$ , seja praticamente igual à tensão de entrada,  $V_e$ .

Na frequência de corte,  $f_c$ , ocorre uma queda de 3 dB na potência de saída e é calculada da mesma maneira que para o filtro  $RC$  passa-baixas, ou seja,

$$R = Xc \quad \text{ou} \quad R = \frac{1}{2\pi f_c C}, \quad \text{daí} \quad f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.1)$$

O ganho de tensão do filtro é dado por

$$A_v = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (1/2\pi f C)^2}} \quad (3.2)$$

### MATERIAL EXPERIMENTAL

Gerador de sinais

Osciloscópio analógico ou digital

Resistor de 4,7 kΩ

Capacitor de 10 nF

### PARTE PRÁTICA

- Monte o circuito da Figura 3.4 e ajuste o gerador de sinais para fornecer uma onda senoidal de 1 V de amplitude.

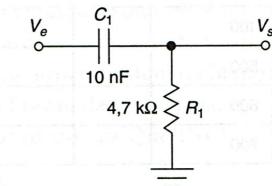


Figura 3.4 Circuito  $RC$  da Parte Prática 3.

2. Varie a frequência do gerador de sinais conforme a Tabela 3.1, meça e anote a tensão de saída.

*Obs.:* pode ser necessário reajustar a tensão de entrada para 1 V ao variar a frequência. É importante monitorar isso.

**Tabela 3.1** Quadro para levantamento da amplitude da resposta em frequência do filtro

<b>f(Hz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>	<b>f(Hz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>	<b>f(Hz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>	<b>f(kHz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>	<b>f(MHz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>
100		1000		10000		100		1	
200		2000		20000		200		2	
300		3000		30000		300		-	
400		4000		40000		400		-	
500		5000		50000		500		-	
600		6000		60000		600		-	
700		7000		70000		700		-	
800		8000		80000		800		-	
900		9000		90000		900		-	

3. Coloque o canal 1 do osciloscópio para medir a tensão de entrada e o canal 2 para medir a tensão de saída. Coloque o osciloscópio no modo X-Y. Varie a frequência do gerador de sinais conforme a Tabela 3.2, meça e anote os parâmetros  $2a$  e  $2b$  da figura de Lissajous.

**Tabela 3.2** Quadro para levantamento da fase da resposta em frequência do filtro

<b>f(Hz)</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>	<b>f(kHz)</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>	<b>f(MHz)</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>
100			10			1		
200			20			2		
300			30			-		
400			40			-		
500			50			-		
600			60			-		
700			70			-		

continua

**Tabela 3.2** Quadro para levantamento da fase da resposta em frequência do filtro (continuação)

<b>f(Hz)</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>	<b>f(kHz)</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>	<b>f(MHz)</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>
800			80			-		
900			90			-		
1000			100			-		
2000			200			-		
3000			300			-		
4000			400			-		
5000			500			-		
6000			600			-		
7000			700			-		
8000			800			-		
9000			900			-		

## QUESTÕES

1. Com os valores anotados na Tabela 3.1, construa o gráfico do módulo do ganho de tensão do filtro em função da frequência.
2. Com os valores anotados na Tabela 3.2, calcule a fase da resposta em frequência do filtro como
$$\theta = \text{sen}^{-1} \left( \frac{2a}{2b} \right) \quad (3.3)$$
3. Com os valores calculados na Questão 2, construa o gráfico da fase do ganho de tensão do filtro em função da frequência.
4. Calcule a frequência de corte do filtro montado na Parte Prática e indique-a nos gráficos construídos nas Questões 1 e 3.
5. A partir do gráfico da amplitude da resposta em frequência do filtro, determine as faixas de passagem, transição e atenuação.
6. Usando o Matlab ou outro software matemático/científico qualquer, obtenha o gráfico do módulo do ganho de tensão do filtro em função da frequência.
7. Compare o gráfico obtido na Questão 6 com o construído na Questão 1.
8. Usando o Matlab ou outro software matemático/científico qualquer, obtenha o gráfico da fase do ganho de tensão do filtro em função da frequência.
9. Compare o gráfico obtido na Questão 8 com o construído na Questão 3.

# PRÁTICA 4

## FILTRO PASSA-FAIXA

### OBJETIVOS

- Entender o comportamento de um filtro passa-faixa.
- Verificar experimentalmente o funcionamento de um filtro passa-faixa de segunda ordem.

### TEORIA

Um filtro passa-faixa é caracterizado por permitir a passagem de sinais com frequências dentro de uma certa faixa e rejeita (atenua) sinais com frequências fora dessa faixa. Esse tipo de filtro possui duas frequências de corte: a inferior e a superior. Diferentemente dos filtros passa-baixas e passa-altas, o filtro passa-faixa tem algumas definições. Uma delas é a largura de banda, simplesmente a diferença entre a frequência de corte superior e inferior. Outra é a frequência de ressonância, ou seja, a frequência central da faixa de passagem (largura de banda). Por fim, tem o fator de qualidade, a relação entre a frequência de ressonância e a largura de banda.

A Figura 4.1 ilustra o módulo da resposta em frequência para um filtro passa-faixa.

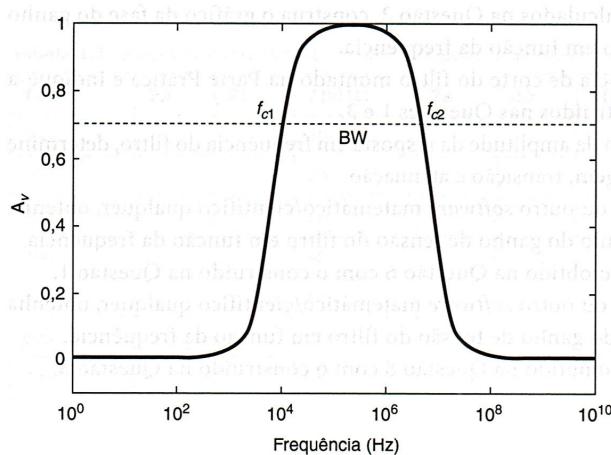


Figura 4.1 Módulo da resposta em frequência de um filtro passa-faixa.

### FILTRO PASSA-FAIXA

A Figura 4.2 ilustra o bloco que simboliza um filtro passa-faixa.

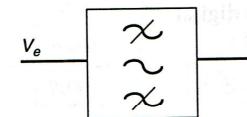


Figura 4.2 Diagrama de blocos de um filtro passa-faixa.

Existem diversas formas de implementar filtros passa-faixa. Uma delas é conectar em cascata um filtro passa-altas e um filtro passa-baixas, como ilustrado na Figura 4.3.

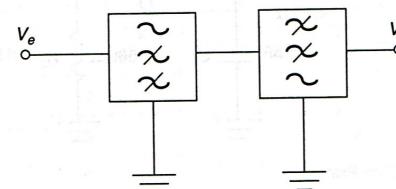


Figura 4.3 Construção de um filtro passa-faixa.

A escolha dos componentes é tal que a frequência de corte do filtro passa-altas seja menor que a frequência de corte do filtro passa-baixas. Uma componente de frequência abaixo da frequência de corte inferior pode passar pelo filtro passa-baixas, mas será atenuada pelo filtro passa-altas. Da mesma forma, uma componente de frequência acima da frequência de corte superior passará pelo filtro passa-altas, mas será fortemente atenuada pelo filtro passa-baixas. A Figura 4.4 ilustra o circuito de um filtro passa-faixa de segunda ordem.

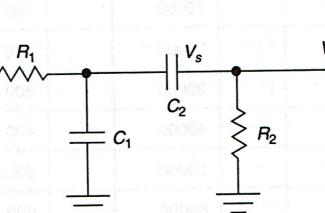


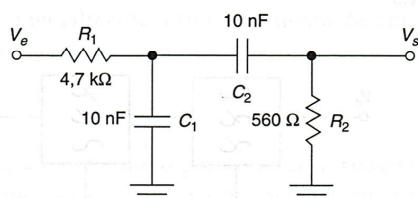
Figura 4.4 Filtro passa-faixa com dois circuitos RC.

## MATERIAL EXPERIMENTAL

- Gerador de sinais
- Osciloscópio analógico ou digital
- Resistor de  $4,7\text{ k}\Omega$
- Resistor de  $560\ \Omega$
- Dois capacitores de  $10\text{ nF}$

## PARTE PRÁTICA

- Monte o circuito da Figura 4.5 e ajuste o gerador de sinais para fornecer uma onda senoidal de 1 V de amplitude.



**Figura 4.5** Circuito RC da Prática 4.

- Varie a frequência do gerador de sinais conforme a Tabela 4.1, meça e anote a tensão de saída.

*Obs.: pode ser necessário reajustar a tensão de entrada para 1 V ao variar a frequência. É importante monitorar isso.*

**Tabela 4.1** Quadro para levantamento da amplitude da resposta em frequência do filtro

<b>f(Hz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>	<b>f(Hz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>	<b>f(Hz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>	<b>f(kHz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>	<b>f(MHz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>
100		1000		10000		100		1	
200		2000		20000		200		2	
300		3000		30000		300		-	
400		4000		40000		400		-	
500		5000		50000		500		-	
600		6000		60000		600		-	

*continua*

**Tabela 4.1** Quadro para levantamento da amplitude da resposta em frequência do filtro (*continuação*)

<b>f(Hz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>	<b>f(Hz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>	<b>f(Hz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>	<b>f(kHz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>	<b>f(MHz)</b>	<b>V<sub>s</sub></b>
700		7000		70000		700		-	
800		8000		80000		800		-	
900		9000		90000		900		-	

- Coloque o canal 1 do osciloscópio para medir a tensão de entrada e o canal 2 para medir a tensão de saída. Coloque o osciloscópio no modo X-Y. Varie a frequência do gerador de sinais conforme a Tabela 4.2, meça e anote os parâmetros **2a** e **2b** da figura de Lissajous.

**Tabela 4.2** Quadro para levantamento da fase da resposta em frequência do filtro

<b>f(Hz)</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>	<b>f(kHz)</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>	<b>f(MHz)</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>
100			10			1		
200			20			2		
300			30			-		
400			40			-		
500			50			-		
600			60			-		
700			70			-		
800			80			-		
900			90			-		
1000			100			-		
2000			200			-		
3000			300			-		
4000			400			-		
5000			500			-		
6000			600			-		
7000			700			-		
8000			800			-		
9000			900			-		