



**PSI 3031– LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS (COOP)**

No. USP	Nome	Nota	Bancada

Data:	Turma:	Profs:
-------	--------	--------

**EXP. 6: RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DE CIRCUITOS RC e RLC**  
**GUIA EXPERIMENTAL E ROTEIRO DO RELATÓRIO**

Edição 2023

Profs. W. J. Salcedo e M Lobo,  
Ver.2018 E. Galeazzo e L Yoshioka  
Ver.2023 MNPC

**Objetivos da experiência**

- Analisar o comportamento a diferentes frequências (*Resposta em Frequência*) de quadropolos constituídos por circuitos passivos RC e RLC;

**Materiais necessários para realização do experimento no laboratório:**

- Osciloscópio digital Agilent DSO-X 2002A,
- Gerador de funções Agilent 33500B, Medidor RLC,
- Multímetro digital portátil Yokogawa TY720,
- Resistores de 1 k $\Omega$  e 10 k $\Omega$ ,
- Capacitor de 100 nF e Bobina (Indutor real) de 3,0 mH
- Planilha Eletrônica e Software de cálculo

**PREPARAÇÃO PARA A EXPERIÊNCIA:**

Conforme descrito na *Parte 2 da Introdução Teórica da Experiência 6*, mostre aos professores os gráficos de resposta em frequência obtidos utilizando o computador e **solicite o visto**, como indicado a seguir  
Observação: Anexar os gráficos da *Preparação* neste relatório.

**1) Resposta em frequência de circuito RC com  $R_g = 0 \Omega$ ;  $R = 1 \text{ k}\Omega$  e  $C = 100 \text{ nF}$ .**

Visto do Professor:	
---------------------	--

**2) Resposta em frequência de circuito RLC com  $R = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 100 \text{ nF}$ ,  $L_s = 3,0 \text{ mH}$  e  $R_s = 8,0 \Omega$ .**

Visto do Professor:	
---------------------	--

# 1 RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DE UM CIRCUITO RC:

## 1.1 Identificação e medição dos componentes passivos

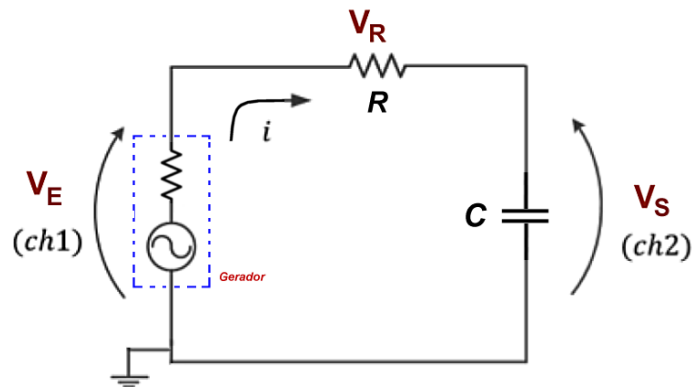
Meça as resistências ( $R$ ) e a capacitância ( $C$ ) dos componentes da lista de materiais utilizando o multímetro portátil. Meça a indutância ( $L_s$ ) e a resistência série do indutor ( $R_s$ ) utilizando o medidor RLC na frequência de 1 kHz. Você pode também medir a capacitância ( $C_p$ ) e resistência paralela parasitária ( $R_p$ ) do capacitor com o medidor RLC na frequência de 1 kHz.

**Tabela 1 – Valores dos componentes  $R$ ,  $L$  e  $C$**

	Resistor 1	Resistor 2	Capacitor	Indutor (medido em 1kHz)	
Valor	$R$ (k $\Omega$ )	$R$ (k $\Omega$ )	$C_p$ (nF)	$L_s$ (mH)	$R_s$ ( $\Omega$ )
Nominal	1	10	100	3,0	8,0
Medido					

## 1.2 Determinação da resposta em frequência do circuito RC

Monte o circuito mostrado na Figura 1, com os valores nominais dos componentes iguais a  $R = 1 \text{ k}\Omega$  e  $C = 100 \text{ nF}$ , respectivamente. Programe o gerador de funções para fornecer uma onda senoidal de amplitude de  $10 \text{ Vpp}$ . Meça os valores eficazes de entrada ( $V_E$ ) e saída (tensão no capacitor  $V_S$ ) com o osciloscópio.



**Fig.1** Circuito RC

a) Apresente as fórmulas para calcular o módulo do ganho linear  $|G(j\omega)|$  e a fase  $\phi(j\omega)$  a partir dos parâmetros do circuito.

b) Apresente a fórmula para se obter  $|G(j\omega)|$  (módulo do ganho linear) a partir das tensões experimentais.

c) Meça com o osciloscópio e anote na Tabela 2 os valores eficazes de  $V_E$  e de  $V_S$ , bem como a defasagem entre esses sinais ( $\phi_{V_S \rightarrow V_E}$ ), para os valores de frequência  $f$  escolhidas.

*Nota: para sinais com amplitude baixa recomenda-se utilizar o recurso “média” do osciloscópio (ACQUIRE), a fim de reduzir a flutuação da medição.*

d) Calcule o módulo do ganho  $|G(f)|$  a partir das tensões experimentais.

e) Indique o módulo do ganho  $|G(f)|$  e a defasagem  $\phi$ , calculados previamente (efetuados na preparação do experimento) utilizando-se os valores nominais dos componentes.

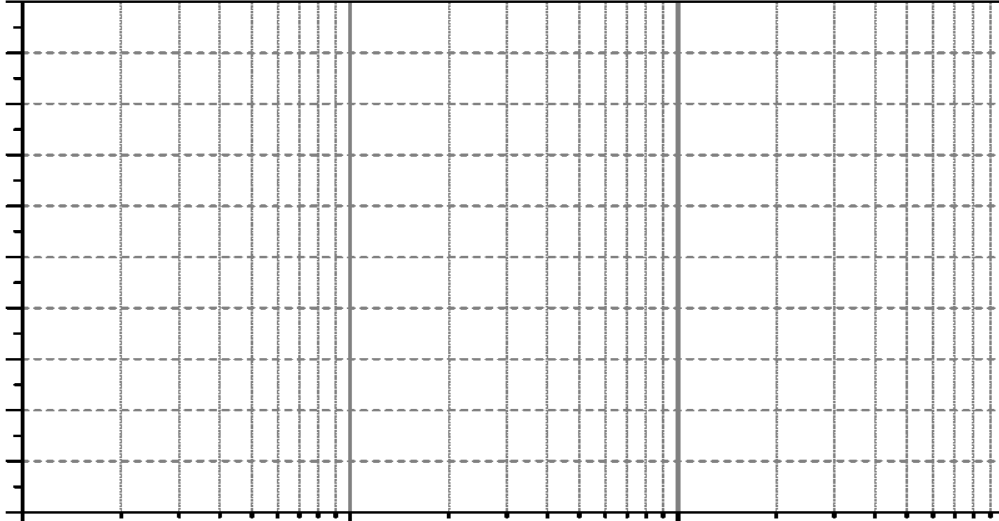
*Planilha eletrônica disponibilizada nessa experiência no Moodle para efetuar os cálculos e gráficos.*

**Tabela 2 - Resposta em frequência de um circuito RC.**

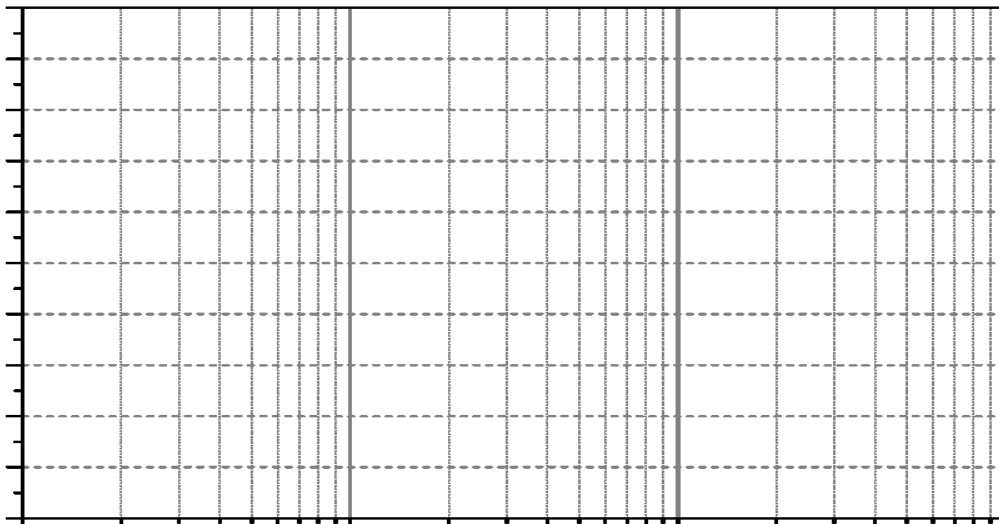
Valores Experimentais				Cálculos a partir das tensões	Cálculos teóricos a partir dos parâmetros do circuito	
f (Hz)	$V_E$ (CA $V_{RMS}$ )	$V_S$ (CA $V_{RMS}$ )	Fase $\theta_{S \rightarrow E}$ $\phi_{V_S, V_E}$ ( $^\circ$ )	Ganho	Ganho	Fase
10						
50						
100						
300						
500						
700						
1 k						
1,2 k						
1,3 k						
1,4 k						
1,5 k						
1,6 k						
1,7 k						
1,8 k						
2 k						
3 k						
6 k						
10 k						

f) Construa manualmente os seguintes gráficos no seu relatório:

i. Módulo do ganho  $|G(f)|$  (valores experimentais);



ii. Defasagem ( $\varphi_{VS,VE}$ ) em função da frequência  $f$  (valores experimentais).



g) Compare as curvas experimentais com as teóricas (traçadas na “preparação”). Comente.

h) Determine a **faixa de passagem**<sup>1</sup> e a **frequência de corte** ( $f_c$ ) a partir das curvas experimentais. Indique-as em seus gráficos.

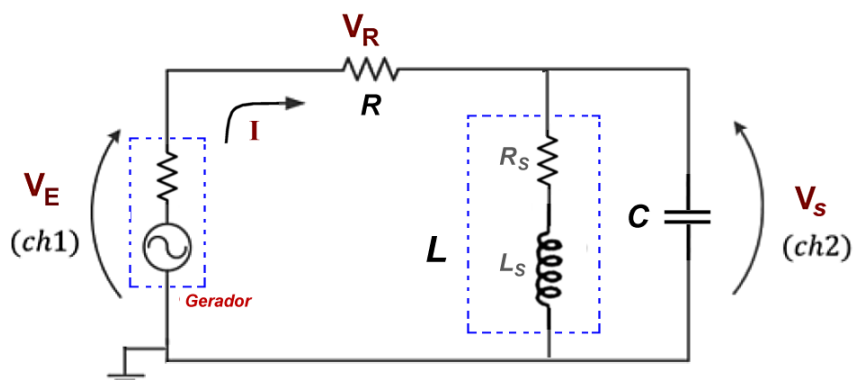
---

<sup>1</sup> Faixa de passagem é a faixa de frequências onde o ganho está dentro do intervalo de 3 dB em relação ao valor máximo (patamar).

- i) Calcule a frequência de corte teórica ( $f_c$ ) do circuito, utilizando os valores experimentais dos componentes do circuito (Tabela 1) e compare o resultado obtido no item h (valor experimental). Justifique eventuais discrepâncias.
- j) Os gráficos de Módulo do Ganho  $|G(f)|$  e de Defasagem  $\phi_{V_s, V_E}(f)$  são a “resposta em frequência” do circuito RC série estudado. Analise o comportamento desses gráficos e sugira possíveis aplicações para esse circuito. Explique
- k) Se as posições do Resistor e do Capacitor estivessem trocados ou se “a saída” do circuito RC estivesse no Resistor, quais seriam as possíveis aplicações do circuito neste caso? Explique.

## 2 RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DE UM CIRCUITO RLC PARALELO:

Monte o circuito da Figura 2, com  $R = 10 \text{ k}\Omega$  e os componentes  $L$  e  $C$  fornecidos. Note que  $R_s$  e  $L_s$  estão representando o modelo do indutor real utilizado na montagem. Programe o gerador de funções para fornecer uma onda senoidal com amplitude de  $10 \text{ Vpp}$ .



**Figura 2-** Circuito RLC.

## 2.1 Determinação de resposta em frequência do circuito RLC

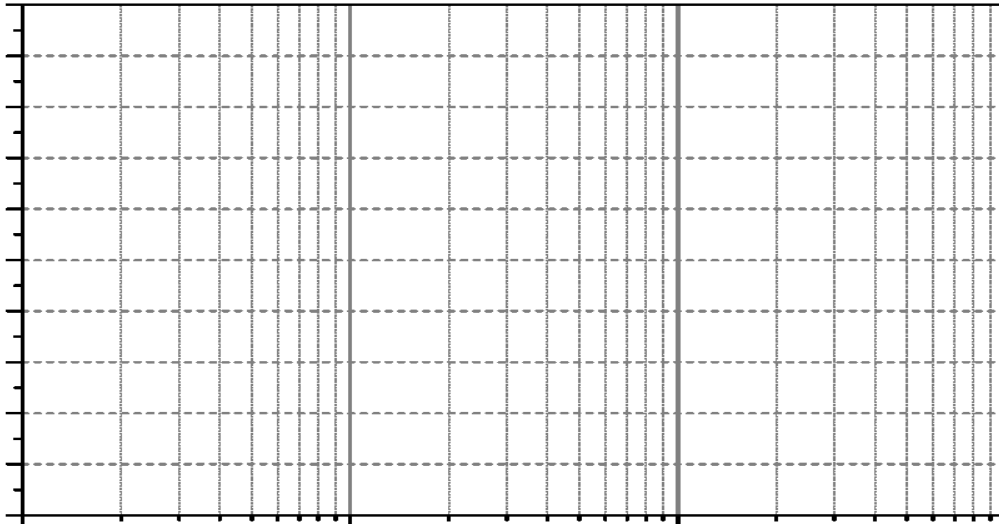
- a) Indique quais expressões da *Introdução Teórica* devem ser usadas para calcular  $|G(j\omega)|$  e  $\varphi$  a partir dos parâmetros do circuito da Figura 2.
- b) Meça com o osciloscópio e anote os valores eficazes de entrada ( $V_E$ ) e saída ( $V_S$ ) para as frequências indicadas na Tabela 3. Meça também a defasagem do sinal de saída em relação ao sinal de entrada ( $\Phi_{V_S, V_E} = \varphi_{V_S} \rightarrow \varphi_{V_E}$ ) para as frequências destacadas em cinza (meça mais valores perto de 9,2 kHz). Calcule o módulo do ganho  $|G(f)|$  experimental, a partir das tensões medidas e anote os valores na Tabela 3. Anote também o módulo do ganho  $|G(f)|$  e a defasagem  $\varphi$ , calculados previamente através das fórmulas teóricas indicadas no item 2.1.a (efetuados na preparação do experimento ou utilize a planilha disponibilizada) utilizando-se os valores nominais dos componentes.

**Tabela 3 – Resposta em frequência da de circuito RLC**

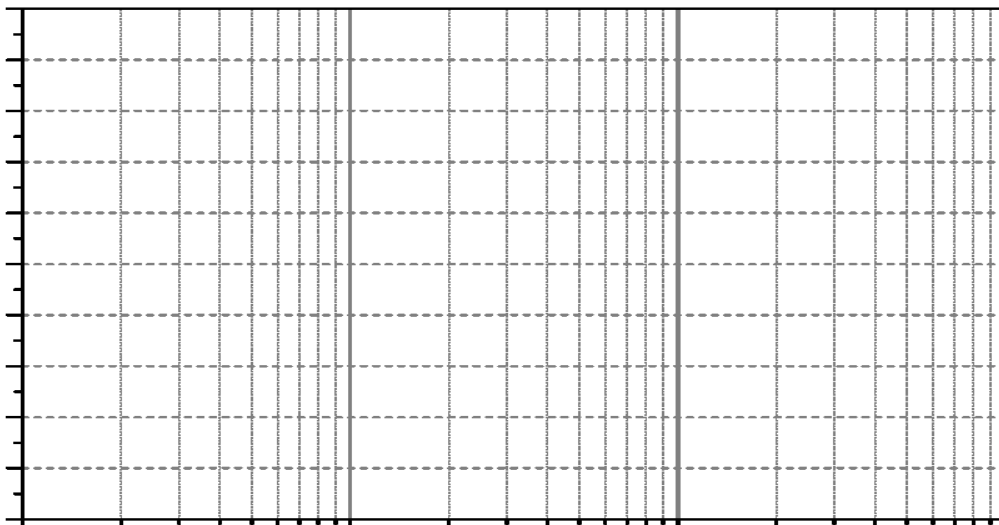
Valores Experimentais				Cálculos a partir das tensões	Dados do item 2, Preparação Cálculos teóricos a partir dos parâmetros do circuito	
f (Hz)	$V_E$ (CH1) (CA $V_{RMS}$ )	$V_S$ (CH2) (CA $V_{RMS}$ )	Fase $\theta_{2 \rightarrow 1}$ $\varphi_{V_S, V_E} (^\circ)$	Ganho $ G(f) $	$ G(f) $	Fase $\varphi$
100						
1,0 k						
3 k						
5 k						
8,9 k						
9,0 k						
9,1 k						
9,2 k						
9,3 k						
9,5 k						
10 k						
15 k						
20 k						

e) Com os dados da Tabela 3, faça o gráfico deo módulo do ganho  $|G(f)|$  vs. frequência:

i. O gráfico de módulo do ganho  $|G(f)|$  vs. Frequência (valores experimentais)



ii. O gráfico da Defasagem ( $\Phi_{VS,VE}$ ) vs. Frequência (valores experimentais).



f) Determine as frequências de corte inferior ( $f_{c1}$ ) e superior ( $f_{c2}$ ), a frequência de ressonância ( $f_R$ ), a faixa de passagem e o índice de mérito (Q) do circuito a partir da curva experimental de  $|G(f)|$  (indique-os também no gráfico).

- g) Calcule a frequência de ressonância ( $f_R$ ) a partir dos parâmetros do circuito e compare com o valor obtido graficamente. Mostre claramente seus cálculos.
- h) Analise o comportamento da defasagem entre o sinal de saída e o da entrada na faixa de passagem e na frequência de ressonância.
- i) Analisando o comportamento da defasagem do circuito (principalmente em baixa frequência), descreva como seria a curva experimental da defasagem caso a resistência série (parasitária) do indutor,  $R_s$ , fosse zero?

## 2.2 Aplicação de funções automáticas do Gerador de Funções para análise da resposta em frequência de circuitos.

Nesta parte da experiência faremos uma observação experimental do comportamento ressonante do circuito no osciloscópio, utilizando-se um recurso do gerador de funções **AGILENT 33500B** denominado **SWEEP**. Por meio de tal programação, avaliaremos a resposta em frequência do circuito de forma indireta.

Ao ativar a função **SWEEP**, o gerador de funções fornecerá na sua saída um sinal senoidal com frequência variável, com taxa de repetição do sinal definida pelo usuário. Neste experimento programaremos o gerador de funções para fornecer um sinal senoidal que variará sua frequência de 5 kHz a 15 kHz linearmente a cada intervalo de 100 ms. A resposta do circuito  $V_s$  deve ser observada no osciloscópio.

### Para programar o sinal $V_E$ no gerador no modo SWEEP:

- Tecele o botão **SWEEP** no painel do gerador. Na sequência, tecele as seguintes funções, impondo os valores indicados:
- STARTFREQ = 5 kHz,
- STOPFREQ = 15 kHz,
- SWEEPTIME = 100 ms,
- SWEEP TYPE = linear,
- SWEEP = ON.



No osciloscópio:

- Certifique-se que o modo “acquire” ou “média” do seu osciloscópio esteja desabilitado.
- Mude a escala de tempo do osciloscópio para visualizar os sinais, de modo a identificar um ponto de máximo dentro do intervalo indicado no SWEEPTIME (no seu caso é igual a 100 ms).

Para correlacionar as leituras das medições da forma da onda na escala do tempo do osciloscópio com medições na escala em frequência, utilize a seguinte correspondência: cada intervalo de 100 ms (adotado na função SWEEPTIME) corresponde a um intervalo de 10 kHz em frequência (que foi definido pela frequência final menos a frequência inicial adotadas).

Com isso, esboce a curva obtida no osciloscópio por meio deste recurso do gerador e determine as seguintes grandezas relacionadas à tensão  $V_s$  com auxílio dos cursores:

- i.  $V_{\max}$  e  $V_{\max}/\sqrt{2}$ , respectivamente;
- ii. a faixa (ou banda) de passagem (em Hz);
- iii. a frequência de ressonância.
- iv. Determine o Q do circuito através deste esboço.

i. O circuito RLC acima analisado pode ser aplicado em que tipo de filtro?

ii. Discuta seus resultados e resuma suas conclusões.