



PSI 3212- LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

No. USP	Nome	Nota	Bancada

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

EXP 05: RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DE CIRCUITOS RC E RLC

**GUIA EXPERIMENTAL E ROTEIRO DO RELATÓRIO**

Profs. W. J. Salcedo e M. Lobo,  
Rev: E. Galeazzo e L. Yoshioka / MNPC/  
**Versão 2023**

**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, Multímetro digital portátil Yokogawa TY720, Medidor RLC,
- Resistores de 1 k $\Omega$  e 10 k $\Omega$ , Capacitor de 100 nF e Bobina (Indutor real) de 3,0 mH com  $R_{Lsérie} = 8 \Omega$ .
- Planilha Eletrônica e Software de cálculo

**PREPARAÇÃO PARA A EXPERIÊNCIA** (feita em casa, antes da aula):

Conforme descrito na *Parte 2 da Introdução Teórica da Exp-5*, mostre aos professores os gráficos da resposta em frequência obtidos utilizando a planilha Excel) e Anexe ao 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:	
---------------------	--

## PARTE EXPERIMENTAL

### 1 RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DE UM CIRCUITO RC:

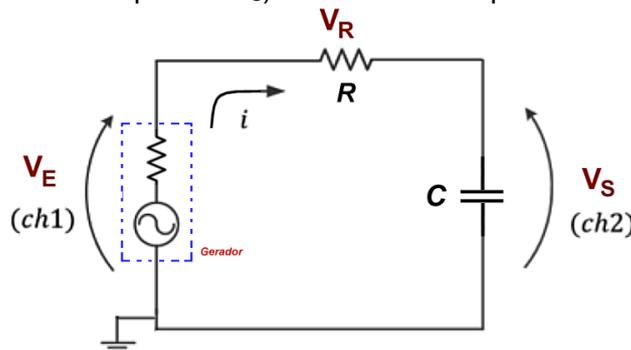
#### 1.1 Identificação e medição dos componentes passivos

Meça as resistências ( $R$ ) e a capacitância ( $C$ ) disponíveis na bancada utilizando o multímetro portátil. Meça a indutância ( $L_S$ ) e a resistência série do indutor ( $R_{L_S}$ ) utilizando o medidor RLC na frequência de 1 kHz. Meça também a capacitância ( $C_P$ ) e resistência paralela parasitária ( $R_{C_P}$ ) do capacitor na frequência de 1 kHz e preencha a Tabela abaixo.

Tabela 1	Multímetro			Medidor RLC			
	Resistor	Resistor	Capacitor	Indutor (em 1kHz)		Capacitor (em 1kHz)	
Valor	R (k $\Omega$ )	R (k $\Omega$ )	C (nF)	$L_S$ (mH)	$R_{L_S}$ ( $\Omega$ )	$C_P$ (nF)	$R_{C_P}$
Nominal	1	10	100	3,0	8,0	100	
Medido							

#### 1.2 Determinação da resposta em frequência do circuito RC

Monte o circuito da figura abaixo, com  $R = 1 \text{ k}\Omega$  e  $C = 100 \text{ nF}$ . Programe o gerador de funções para fornecer uma **onda senoidal** de amplitude de **10 Vpp**. Meça os valores eficazes de entrada ( $V_E$ ) e saída (tensão no capacitor  $V_S$ ) com o osciloscópio.



a) Apresente as fórmulas para calcular o módulo do ganho linear  $|G(j\omega)|$  e a fase  $\varphi(j\omega)$  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  $V_S$ , como também a defasagem entre esses sinais ( $\Phi_{V_S} \rightarrow \Phi_{V_E}$ ), 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  $\varphi$ , calculados previamente (efetuados na preparação do experimento) utilizando-se os valores nominais dos componentes.

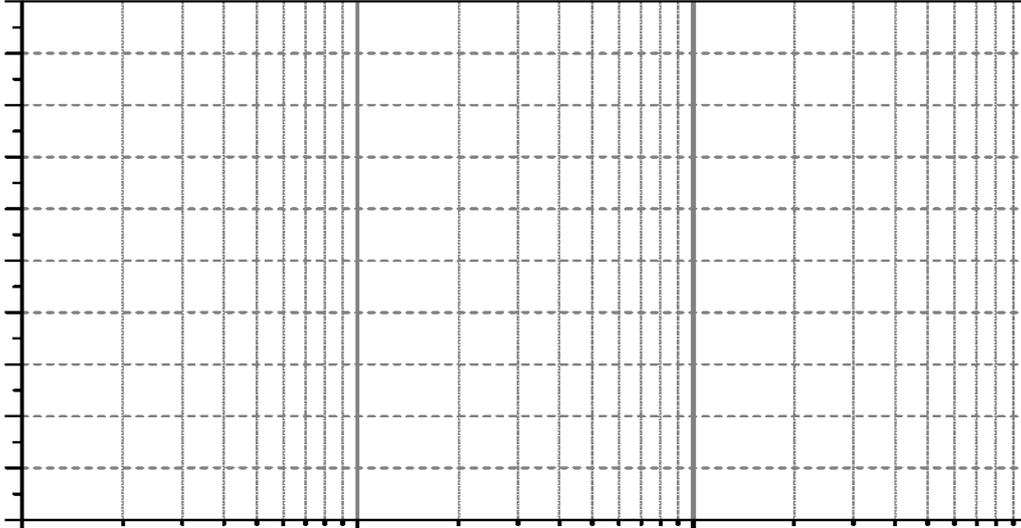
*\* Caso não tenha efetuado a preparação em casa, utilize a planilha eletrônica disponibilizada no Moodle nesta experiência para efetuar os cálculos,.*

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

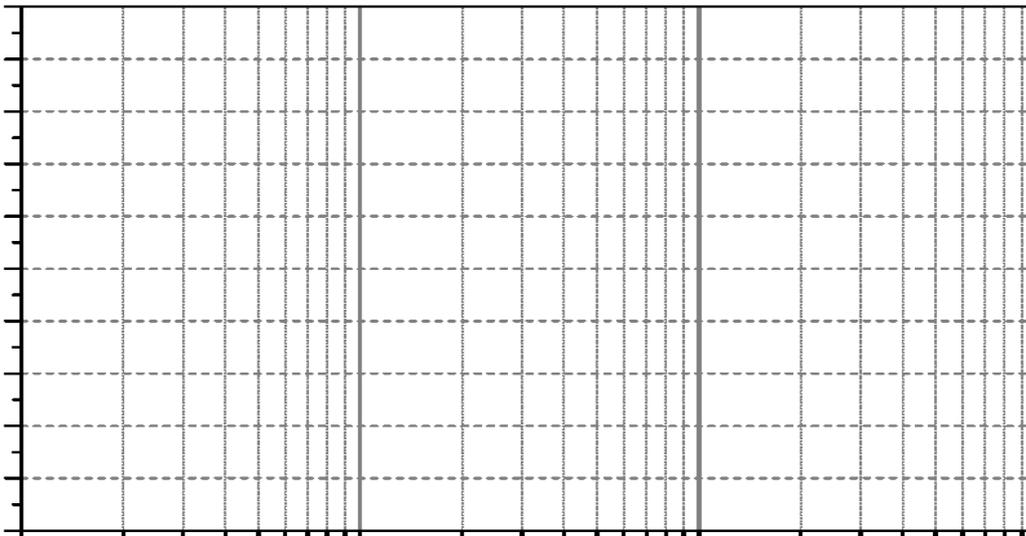
Valores Experimentais				Cálculos a partir das tensões medidas	Dados do item 1, Preparação	
f (Hz)	$V_E$ (CA $V_{RMS}$ )	$V_S$ (CA $V_{RMS}$ )	Fase $\theta_{S \rightarrow E}$ $\Phi_{V_S, V_E}$ ( $^\circ$ )	Ganho $ G(f) $	$ G(f) $	Fase $\varphi$
10						
50						
100						
300						
500						
700						
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) em função da frequência;



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



g) Compare as curvas experimentais com as teóricas (traçadas na “preparação”). O modelo teórico foi adequado? Justifique sua resposta.

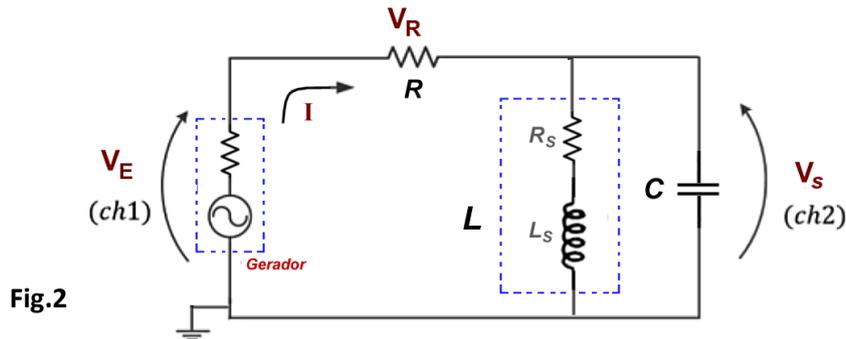
- h) Determine a faixa de passagem<sup>1</sup> e a frequência de corte ( $f_c$ ) a partir das curvas experimentais. Indique-as nos dois gráficos acima.
- i) Calcule a frequência de corte teórica ( $f_c$ ) do circuito, utilizando os valores experimentais dos componentes (Tabela 1). (Apresente seu cálculo).
- j) Compare o resultado obtido no item h (valor experimental) com o do item i (valor teórico) (indique o erro relativo!). Justifique eventuais discrepâncias.
- k) Quais seriam as possíveis aplicações para o circuito RC analisado neste experimento? Explique.

---

<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).

## 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 Vpp**.



### 2.1 Determinação de resposta em frequência do circuito RLC

- Indique o número das expressões da *Introdução Teórica* devem ser usadas para calcular  $|G(j\omega)|$  e  $\varphi$  a partir dos parâmetros do circuito da Figura 2.
- Meça com o osciloscópio os valores eficazes das tensões de entrada e saída do circuito ( $V_E$  e  $V_S$ ), bem como a defasagem entre esses dois sinais ( $\varphi_{V_S, V_E}$ ) para as diferentes frequências, preenchendo a Tabela 3.
- Calcule o módulo do ganho  $|G(f)|$  experimental, a partir das tensões experimentais.
- Indique o módulo do ganho  $|G(f)|$  e a defasagem  $\varphi$ , calculados previamente através das fórmulas teóricas (item 2.1.a) (efetuados na preparação do experimento ou pela planilha Excel) utilizando-se os valores nominais dos componentes. *Utilizar o recurso "média" do osciloscópio.*

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

Valores Experimentais				Cálculos a partir das tensões medidas	Dados do item 2, Preparação	
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 $\varphi$
1,0 k						
3 k						
5 k						
7 k						
8 k						
8,5 k						
8,8 k						
9 k						
9,2 k						

9,3 k						
9,4 k						
9,6 k						
10 k						
11 k						
12 k						
15 k						
20 k						

- e) Utilizando a planilha eletrônica, imprima os seguintes gráficos a partir dos dados experimentais:
- i. O gráfico de  $|G(f)|$ ;
  - ii. O gráfico da fase ( $\phi_{VS,VE}$ ) em função da frequência,  $f$ .
- 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 a partir dos parâmetros do circuito e compare com o valor obtido graficamente. Apresente seus cálculos (da frequência e do erro relativo).
- 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 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, mantendo $V_E = 10 \text{ Vpp}$ :

- Tecele o botão **SWEEP** no painel do gerador. Na sequência, tecele as seguintes funções, impondo os valores indicados:
  - STARTFREQ = 5 kHz
  - STOPFREQ = 15 kHz,
  - 3) 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).

Para estabilizar o sinal na tela do osciloscópio utilize o trigger externo.

*★Veja o vídeo sobre a função Sweep para entender melhor esta função.*

Com isso, esboce abaixo 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:

- a)  $V_{\max}$  e  $V_{\max}/\sqrt{2}$ , respectivamente;
- b) c) a faixa (ou banda) de passagem (em Hz)
- c) A frequência de ressonância
- d) Determine o Q do circuito através deste esboço

