



Experiência 6 Resposta em Frequência de Circuitos RC e RLC

GUIA EXPERIMENTAL

*Elaboração: Profs. Walter Jaimes Salcedo e Marcio Lobo,
Revisão: Elisabete Galeazzo e Leopoldo Yoshioka
Edição 2018*

OBJETIVOS:

- Saber analisar a resposta em frequência de quadropolos constituídos por circuitos passivos RC e RLC, utilizando métodos computacional e experimental.
- Ser capaz de discutir a resposta em frequência de um multímetro digital.

Lista de materiais

- Osciloscópio digital (modelo DSO-X 2002A, Agilent)
- Gerador de funções
- Multímetro digital portátil Tektronix TX3
- Medidor RLC
- Resistores: 1 k Ω e 10k Ω
- Capacitor: 100 nF
- Indutor: 3,0 mH
- Planilha Eletrônica
- Software de cálculo

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). Preencha a Tabela 1 do seu relatório com os resultados obtidos.

Obs: você poderá medir o valor do capacitor com o medidor RLC também. Nesse caso, escolha os seguintes parâmetros para medição: capacitância C_p e resistência paralela parasitária (R_p) do capacitor na frequência de 1 kHz.

Montagem do Circuito:

Monte o circuito mostrado na Figura 1, considerando 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 Vpp . Meça os valores eficazes V_E e V_S diretamente com as pontas de prova do osciloscópio.

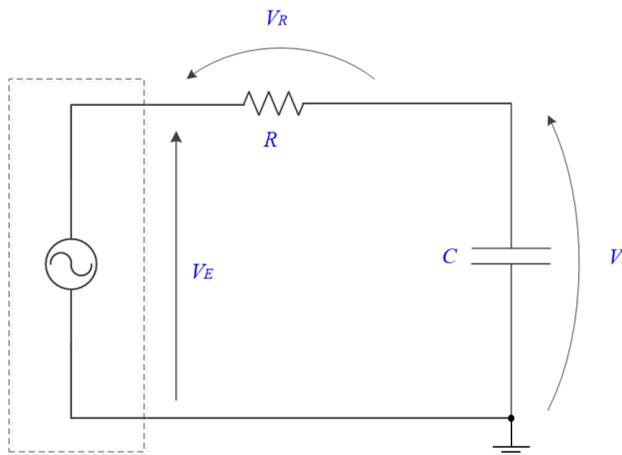


Figura 1- Circuito RC.

1.2 Determinação da resposta em frequência do circuito RC

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

Os resultados dos itens a seguir (c, d, e) devem ser indicados na Tabela 2 do relatório:

- Meça com o osciloscópio os valores eficazes de V_E (ch1) e de V_S (ch2), como também a defasagem entre esses sinais ($\phi_{V_S, V_E} = \text{CH2} \rightarrow \text{CH1}$), 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.

- Calcule o módulo do ganho $|G(f)|$ a partir das tensões experimentais.
- Indique o módulo do ganho $|G(f)|$ e a defasagem ϕ , calculados previamente (efetuados na preparação do experimento) utilizando-se os valores nominais dos componentes.

Planilha eletrônica disponibilizada nessa experiência para efetuar os cálculos e gráficos:

Alunos da sala C1-06: utilizem a planilha eletrônica do OpenOffice denominada “CALC”, instalada na pasta OFFICE no microcomputador de sua bancada.

Alunos da sala C1-01: utilizem a planilha eletrônica do Office disponível no computador da sua bancada.

f) Construa manualmente os seguintes gráficos no seu relatório:

- i. Módulo do ganho $|G|$ em função da frequência f (valores experimentais);
- ii. Defasagem (ϕ_{V_S, V_E}) em função da frequência f (valores experimentais).

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

h) Determine a faixa de passagem¹ e a frequência de corte (f_c) a partir das curvas experimentais. Indique-as em seus gráficos.

i) Calcule a frequência de corte teórica (f_c) do circuito, através dos valores experimentais dos componentes do circuito (Tabela 1).

j) Compare o resultado obtido no item h (valor experimental) com o do item i (valor teórico). Justifique eventuais discrepâncias.

k) Quais seriam as possíveis aplicações para o circuito RC analisado neste experimento? Explique.

2. RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DE UM CIRCUITO RLC PARALELO:

Monte o circuito da Figura 2, com os componentes L e C fornecidos (**obs: neste circuito altere R para 10 k Ω**). Note que R_s e L_s estão representando o modelo do indutor real utilizado na montagem.

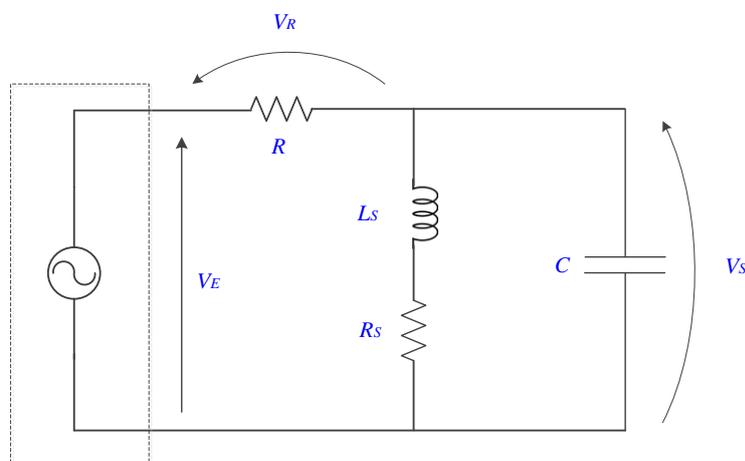


Figura 2- Circuito RLC.

Meça V_S e V_E diretamente com as pontas de prova do osciloscópio.

Programo o gerador de funções para fornecer uma onda senoidal de amplitude de 10 Vpp.

¹ Faixa de passagem corresponde à faixa de frequência onde o ganho está dentro do intervalo de 3 dB em relação ao valor máximo (patamar).

2.1 Determinação de resposta em frequência

a) Indique quais expressões da *Introdução Teórica* devem ser usadas para calcular $|G(j\omega)|$ e ϕ a partir dos parâmetros do circuito da Figura 2.

Preencha a Tabela 3 do seu relatório com as informações solicitadas nos itens *b*, *c* e *d*, a seguir:

b) Meça com o osciloscópio os valores eficazes de V_E e V_S , bem com a defasagem ϕ_{V_S, V_E} para as diferentes frequências.

c) Calcule o módulo do ganho $|G(f)|$ experimental, a partir das tensões medidas.

d) Apresente o módulo do ganho $|G(f)|$ e a defasagem ϕ , calculados através das fórmulas teóricas indicadas no item 2.1.a, para cada valor de frequência aplicada ao circuito (*utilize os valores calculados previamente na preparação ou utilize a planilha disponibilizada*).

e) Utilizando a planilha eletrônica, construa os seguintes gráficos a partir dos dados experimentais:

- i. O gráfico do $|G|$ em função da frequência, f ;
- ii. O gráfico da fase (ϕ_{V_S, V_E}) em função da frequência, f .

f) Determine as frequências de corte inferior (f_{c1}) e superior (f_{c2}) a partir da curva experimental do módulo do ganho em função da frequência.

g) Determine a frequência de ressonância (f_R), a faixa de passagem e o índice de mérito (Q) do circuito a partir da curva experimental do módulo do ganho em função da frequência.

g') Calcule a frequência de ressonância a partir dos parâmetros do circuito e compare com o valor obtido graficamente.

h) Analise o comportamento da defasagem entre o sinal de saída e o da entrada na faixa de passagem e na frequência de ressonância.

h') Como seria o comportamento da defasagem em função da frequência, 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 será observada pelo 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.

. Alimente o circuito da Figura 2 com este sinal, e observe o comportamento de V_s 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).

. Sugere-se utilizar sincronismo externo para estabilizar a forma de onda no osciloscópio, e assim realizar as medições.

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.

a) O circuito RLC acima analisado pode ser aplicado em que tipo de filtro?

b) Discuta seus resultados e resuma suas conclusões.

3. (item adicional) RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DE VOLTÍMETROS CA

3.1 Efetue:

. Com o multímetro digital portátil (no caso, o modelo TX3 da Tektronix se você estiver no laboratório da sala C1-06 e ou o DMM830 da Tektronix, se você estiver no laboratório da sala C1-01), meça as tensões senoidais de **5,0 V_{RMS}** fornecidas pelo gerador de sinais, variando-se a frequência do sinal senoidal de 100 Hz a 30 kHz. Meça, ao mesmo tempo, o sinal do gerador com o osciloscópio, para que tal medição seja usada como referência. Anote as leituras obtidas em tabela apropriada do seu relatório.

. Indique um procedimento experimental para determinar a frequência de corte do multímetro digital portátil.

3.2 Análise dos Resultados e Discussão:

- a. Determine a frequência de corte do multímetro digital portátil por meio do procedimento sugerido.
- b. Analisando-se a resposta do multímetro portátil no intervalo de frequências de operação especificado pelo fabricante, verifique se o equipamento forneceu leitura dentro da incerteza especificada.

Vide especificações de operação do multímetro no manual do instrumento, pg. 33, ou considere:

Para o multímetro TX3:

Para a faixa de 5 V de leitura e resolução de 5000 contagens, precisão de:

$\pm (0,4\% + 2 \text{ contagens})$ na faixa de 40 Hz a 20 kHz.

Para o multímetro DMM830:

Para a faixa de 5 V (modo AC) e resolução de 40.000 contagens, precisão de:

$\pm (2,5\% + 40 \text{ unidades})$ na faixa de 100 Hz a 1 kHz.

Banda passante desse equipamento é 1 kHz.

- c. Comente e justifique sua resposta.
- d. Discuta seus resultados e resuma suas conclusões.