



ESCOLA POLITÉCNICA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos

PSI 3031 - LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

GUIA DE EXPERIMENTOS

Experiência 4 – Sinais senoidais, fasores, leis de Kirchhoff

Cynthia Itiki, Inés Pereyra, Marcelo Carreno, Vitor Nascimento,
Elisabete Galeazzo, Leopoldo Yoshioka e Henrique E.M. Peres

1º quadrimestre de 2020

Objetivos da experiência

Verificar experimentalmente as relações existentes entre tensão e corrente em capacitores para diversos tipos de alimentação de circuitos. Consolidar o conceito de fasor como representação de um sinal senoidal. Consolidar o conceito de impedância e explorar sua representação na forma polar e cartesiana.

Equipamentos e materiais

- Osciloscópio; gerador de funções (modelo 33500 da Agilent), multímetro de bancada de 6 ½ dígitos, multímetro portátil.
- *Protoboard*, fios e cabos;
- Resistor de 1 k Ω e capacitor de 220 nF.

PARTE EXPERIMENTAL

1. DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DA IMPEDÂNCIA DO CAPACITOR

Objetivos: Nesta seção, pretende-se estimar o módulo da impedância de um capacitor e verificar como ele varia com a frequência. Para atingir esse objetivo, são realizadas medidas de tensão e corrente eficazes com multímetros em um circuito RC série. Também será analisado se a resistência e a capacitância permanecem constantes ou se variam com as frequências experimentadas.

- a) Monte o circuito RC da Figura 1 (com $R = 1 \text{ k}\Omega$ e $C = 220 \text{ nF}$). Ajuste o gerador¹ (V_E) para fornecer um sinal senoidal de 6 V_{RMS} e offset nulo.

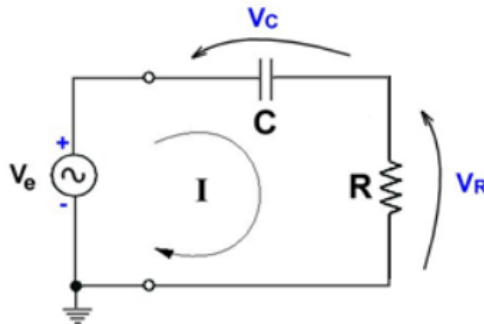


Figura 1 – Circuito RC

Obtenha as tensões sobre os componentes C e R com o multímetro de bancada, e meça a corrente do circuito com o multímetro portátil, para diferentes valores de frequência do sinal de entrada ($v_E(t)$), indicados na Tabela 1 do relatório. Esboce a montagem experimental, indicando as posições dos 2 medidores no circuito. Descreva o modo de operação do gerador e como os medidores devem estar configurados para medir sinais na condição de 0 Hz (ou DC).

Dica: Para gerar apenas um nível DC de 6 V no gerador de funções, selecione: *waveform* → *more* → *DC* (e digite o valor de offset desejado).

- b) Utilizando-se os valores de tensão e de corrente medidos, calcule a resistência R (sendo $R = |Z_R| = V_R / I$), o módulo da impedância do capacitor $|Z_C|$ (sendo $|Z_C| = V_C / I$), e o valor da sua capacitância, C , (sendo $C = 1 / 2\pi f Z_C$), nas frequências analisadas.
- c) Analise se a resistência, o módulo da impedância do capacitor e a capacitância variam ou não com a frequência.

¹ A partir daqui não mencionaremos a necessidade de configurar o gerador em **HIGH-Z**, assumiremos que esta será a nossa condição default. Somente em casos excepcionais indicaremos a configuração de 50Ω .

- d) Analise a validade da 2ª Lei de Kirchhoff, ao aplicá-la às medidas de tensão obtidas pelo multímetro de bancada. Note que ela parece não valer... Como se explica isso?

2. VALIDADE DA SEGUNDA LEI DE KIRCHHOFF E REPRESENTAÇÃO FASORIAL

Objetivos: Nesta seção, usa-se o osciloscópio para medir as amplitudes e fases das tensões no gerador, no resistor e no capacitor. A tensão medida no gerador é comparada com a soma das tensões medidas no resistor e no capacitor em cada instante de tempo, com o objetivo de validar a 2ª Lei de Kirchhoff.

A meta aqui é fazer medidas independentes das tensões no gerador, no resistor e no capacitor com o osciloscópio, para verificar se $v_E(t) = v_R(t) + v_C(t)$.

No entanto, infelizmente não é possível medir diretamente as três tensões no osciloscópio². (Por quê?).

Uma forma de resolver tal problema é fazer como indicado na Figura 2. Pode-se medir diretamente a tensão $v_E(t)$ pela configuração da Figura 2a, e, depois, verificar que ela corresponde à soma $v_R(t) + v_C(t)$, obtida na configuração da Figura 2b.

As duas configurações propostas estão indicadas a seguir:

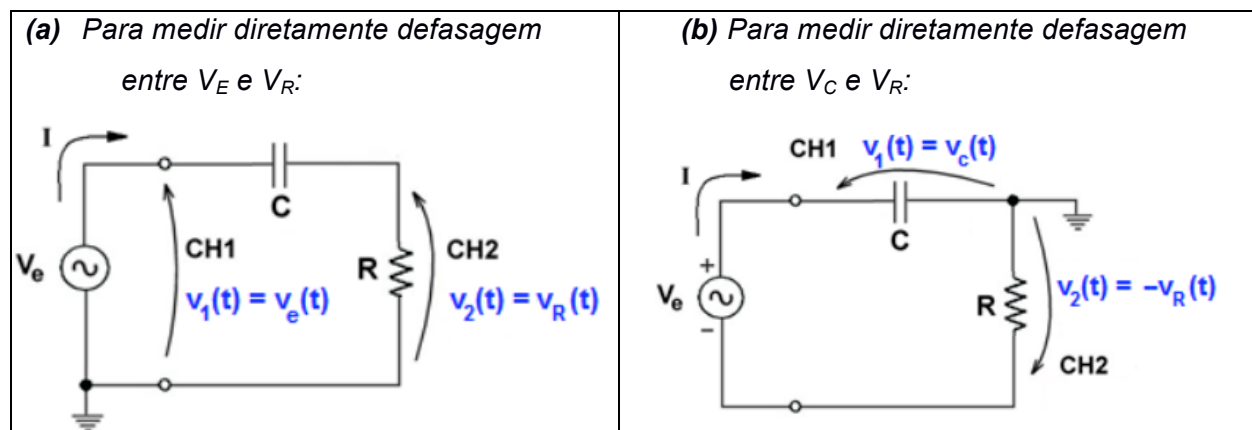


Figura 2 – Configurações para medir tensões no circuito RC.

Note que:

- No primeiro caso (Figura 2a), **o terra** das pontas de prova do osciloscópio deve ficar entre o resistor e a fonte.
- No segundo caso (Figura 2b), **o terra** das pontas de prova deve ficar entre o resistor e o capacitor.
- A tensão no resistor será utilizada como referência para medir a defasagem dos sinais em ambas as configurações, com a seguinte expressão: $v_R(t) = V_R \cos(\omega t)$, ou seja, $\theta_R = 0^\circ$.

Logo, tem-se que as tensões no capacitor e no gerador serão respectivamente:

² O recurso **MATH** poderia ser aplicado, no entanto é uma medida indireta.

$v_C(t) = V_C \cos(\omega t + \theta_C)$ e $v_E(t) = V_E \cos(\omega t + \theta_E)$, em que V_R , V_C e V_E neste caso são as amplitudes de pico.

- Para ter uma única referência de tempo nas duas configurações, o disparo (trigger) do osciloscópio deverá ser pelo canal 2 (sinal sobre o resistor).

Procedimento experimental:

- Mantenha o mesmo circuito e o mesmo sinal do gerador do item anterior, com $f = 1$ kHz.
- Coloque o disparo do trigger pelo canal 2, nível ZERO, com rampa de subida.
obs: não utilize trigger externo, pois neste caso o circuito ficará aterrado pelo gerador!
- O recurso “*acquire*” no painel do osciloscópio minimizará ruídos e ou flutuações nas medições, caso ocorram.

A seguir, execute:

a) Meça a amplitude e defasagem da tensão no gerador na configuração da Figura 2a.

b) Para manter a curva do gerador na tela do osciloscópio, visando sua comparação com as curvas que serão obtidas na montagem da Figura 2b, faça o seguinte:

. Apague (ou desabilite) o canal 2 e tecle “**display**,” no painel do osciloscópio, em seguida: **capture forma de onda** (softkey).

. Efetue a montagem da configuração da Figura 2b. Visualize os sinais dos canais 1 e 2, mas não altere as escalas e nível do trigger ajustados anteriormente.

*Obs: Lembre-se de inverter a medida do canal 2 e confirme se o trigger (do canal 2) ainda está ajustado para **borda de subida**.*

. Utilize a função soma do osciloscópio e obtenha a função $f(t) = v_C(t) + V_R(t)$.

. Meça as amplitudes pico a pico e as defasagens das curvas $v_R(t)$, $v_C(t)$, $f(t)$.

Obs: as defasagens devem estar entre -90 e 90 graus.

c) Faça a seguinte análise: compare $f(t)$ com a curva $v_E(t)$ capturada na tela. Avalie novamente a validade da segunda lei de Kirchhoff para os sinais $v_E(t)$, $v_R(t)$ e $v_C(t)$. Por que, afinal, ela vale para esses sinais? (Quais foram realmente as grandezas medidas pelo multímetro na parte 1 da experiência?)

d) Escreva as expressões de v_E , v_R e v_C no domínio do tempo e na forma fasorial com os valores medidos.

e) Esboce o diagrama fasorial das tensões. Como se relacionam os fasores?

3. DETERMINAÇÃO DO MÓDULO E FASE DA IMPEDÂNCIA DO CAPACITOR

Nesta seção, as medições das amplitudes e da defasagem entre tensão e corrente permitirão a determinação da impedância do capacitor, que poderá ser representada na forma polar ou cartesiana.

Utilize o mesmo circuito da Figure 2b (terra da ponta de prova entre o resistor e o capacitor) para observar diretamente a tensão no capacitor $v_C(t)$ e a corrente no circuito $i(t)$ (proporcional à tensão no resistor, $v_R(t)$). Note que a queda de tensão no capacitor ($v_C(t)$) está defasada da corrente que o atravessa.

- a) Meça a tensão " V_C " no capacitor e tensão " V_R " no circuito através do osciloscópio, assim como as defasagens entre $v_C(t)$ e $i(t)$ para as frequências de 100 Hz, 1 kHz e 10 kHz. Complete a tabela 3 do roteiro.
- b) Determine a impedância do capacitor (Z_C) nas três frequências indicadas, utilizando-se a tensão e a corrente experimentais, com representações nas formas polar e cartesiana.
- c) Calcule a impedância Z do conjunto: capacitor em série com resistor, nas formas polar e cartesiana, nas três frequências analisadas. Esboce as impedâncias no plano complexo.
- d) Discuta sobre o comportamento da impedância do circuito RC com a frequência.