



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

PSI 3212 – LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

M.N.P.Carreño, C.Itiki e I. Pereyra / 2020

## Guia Experimental e Roteiro para Relatório

Versão para simulação da

### Experiência 5 – Sinais Senoidais e Fasores

No. USP	Nome	Nota	Bancada
10792132	Tiago de Almeida Takeda		

Data: 17/01/2021	Turmas: 03	Prof(a):
------------------	------------	----------

#### Objetivos

- Verificar experimentalmente a validade da 2ª lei de Kirchhoff em circuitos DC e AC utilizando multímetro e osciloscópio;
- Determinar **atraves de simulação no MultiSim, LTSpice ou outro simulador de circuitos**, os fasores das tensões e correntes num circuito com componentes resistivos e reativos (bobina), utilizando multímetro e osciloscópio;
- Determinar **atraves de simulação no MultiSim, LTSpice ou outro simulador de circuitos** a impedância complexa da bobina (módulo e fase) a partir dos fasores da tensão e corrente na bobina, numa certa faixa de frequências.

#### Equipamentos e materiais

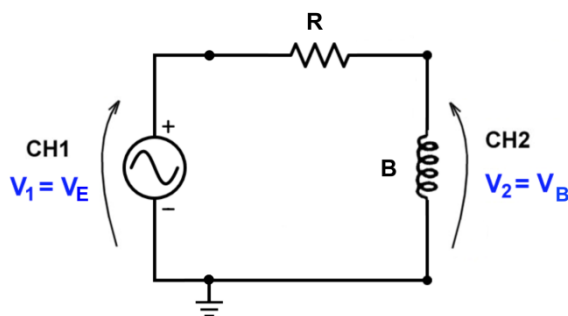
- Resistor de 1k $\Omega$
- Bobina 170 mH
- Osciloscópio
- Multímetro portátil
- Gerador de funções
- Computador

**Obs:** Esta experiência será feita através da simulação dos circuitos elétricos propostos

**Nos lugares onde diz “meça” uma variável (com voltímetro, osciloscópio, etc.) entenda que você deve obter o valor dessa variável a partir das simulações e dos recursos que o programa de simulação fornecer !**

## 1. Validação da 2ª lei de Kirchhoff utilizando multímetro

- 1a) Monte o circuito abaixo com um resistor  $R=1\text{ k}\Omega$  em série com uma Bobina de valor nominal 170 mH e alimente com uma **tensão DC** de 10 V. Meça com o multímetro as tensões  $V_E$ ,  $V_R$  e  $V_B$ . Note que na prática uma bobina não é um indutor ideal, pois o fio elétrico que forma a bobina é muito fino e longo, possuindo uma resistência elétrica não desprezível. Assim, para efeito de simulação, a bobina deve ser substituída por um indutor ideal  $L=170\text{ mH}$  em série com uma resistência  $R_{SL} = 300\text{ }\Omega$ .



Anote os valores obtidos na tabela abaixo:

Circuito DC		
$V_E$	$V_R$	$V_B$
10V	-7.69V	-2.31V

- 1b) Verifique se os valores obtidos satisfazem a 2ª Lei de Kirchhoff:

Sim, os valores satisfazem a 2ª Lei de Kirchhoff.

- 1c) Agora alimente o mesmo circuito com uma **tensão AC senoidal** de 1 kHz e 10 V<sub>pp</sub>, e meça novamente, com o multímetro, as tensões  $V_E$ ,  $V_R$  e  $V_B$ . Anote os valores obtidos, indicando claramente as unidades:

Circuito AC		
$V_E$	$V_R$	$V_B$
6.30V	-76mV	-6.37V

Verifique que se a soma das tensões no resistor ( $V_R$ ) e na bobina ( $V_B$ ) é igual à tensão fornecida pela fonte.

- 1d) Esse resultado indica que a 2ª Lei de Kirchhoff não é válida em circuitos AC ?  
Analise e explique claramente o resultado.

Não, este resultado indica que há uma impedância indutiva causada pela resposta em regime transiente no indutor.

## 2. Validação da 2ª lei de Kirchhoff utilizando osciloscópio

Utilizando o mesmo circuito do item anterior, meça com o canal 1 e canal 2 do osciloscópio as tensões  $V_E(t)$  e  $V_B(t)$  conforme a Fig.2a abaixo. Armazene o sinal  $V_B(t)$  na memória do osciloscópio. Para isto, utilize o botão "Save/Recall" e salve num cartão USB, com o formato "Dados da Forma da Onda de Referência [\* .h5]", o Canal 2 (com o sinal  $V_B(t)$ ). A seguir, troque a posição do Resistor e da Bobina, e meça os sinais  $V_E(t)$  e  $V_R(t)$  conforme a Fig.2b.

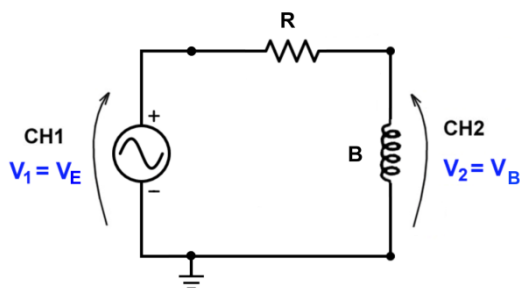


Fig.2a

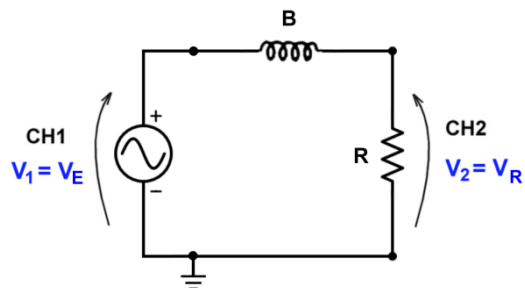
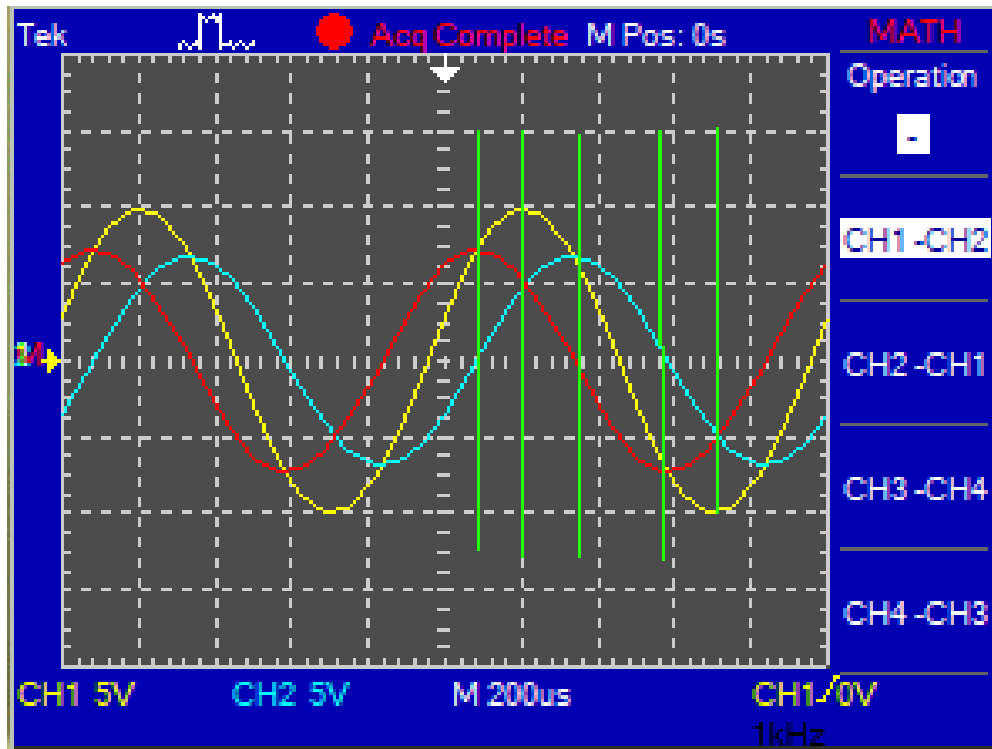


Fig.2b

Utilize a "Save/Recall" e o softKey Recall para recuperar o sinal  $V_B(t)$  que você tinha salvo previamente no cartão USB. Note que na tela do osciloscópio aparecerão os 3 sinais ( $V_E(t)$ ,  $V_R(t)$  e o sinal  $V_B(t)$  salvo). Capture a tela do osciloscópio (ou salve a tela com o cartão USB no osciloscópio, não se esquecendo de inverter as cores para deixar o fundo branco), e imprima a tela do osciloscópio mostrando esses 3 sinais.

- 2a) Escolha 5 pontos no eixo dos tempos da figura e verifique neles a validade da 2ª Lei de Kirchhoff para cada instante. Indique as somas dos valores na própria figura impressa e ANEXE ao relatório. **Obs.: Não deixe de indicar na figura os pontos escolhidos e as contas realizadas para verificar a 2ª Lei de Kirchhoff.**

- 2b) A seguir, utilizando a função MATH, obtenha o sinal  $V_{MATH} = V_E(t) - V_R(t)$ .  
 Desenhe na figura abaixo tanto o sinal  $V_B(t)$  guardado na memória quanto o sinal  $V_{MATH}(t) = (V_E(t) - V_R(t))$ .



- 2c) Descreva o que observa:

Na imagem observamos que a tensão da fonte (em vermelho) e a tensão no resistor (em azul). Também observamos que o gráfico em amarelo representa a operação  $CH1 - CH2$ .

- 2d) O que pode concluir desse resultado ?

Concluimos então que a 2ª Lei de Kirchhoff se conserva neste circuito, dado que a tensão do resistor (em azul) + tensão no indutor (em vermelho:  $CH1 - CH2$ ) = tensão da fonte (em vermelho).

### 3. Determinação dos fasores das tensões $\hat{V}_E$ , $\hat{V}_R$ e $\hat{V}_B$ utilizando osciloscópio

- 3a) Com o circuito já montado (Fig.2b), meça com o osciloscópio as tensões de pico de  $V_E(t)$ ,  $V_R(t)$  e  $V_B(t)$  ( $= V_{MATH}(t)$ ) para as frequências 100 Hz, 500 Hz, 1 kHz e as defasagens  $\text{Fase}(V_R \rightarrow V_E)$  e  $\text{Fase}(V_B \rightarrow V_E)$

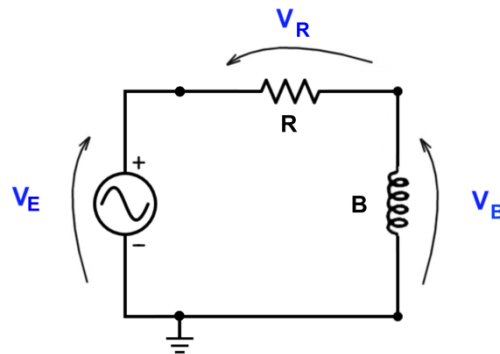
Frequência	$V_E$	$V_R$	$V_B$	Fase ( $V_R \rightarrow V_E$ )	Fase ( $V_B \rightarrow V_E$ )
100 Hz	10V	10V	1,4V	82,53°	90,56°
500 Hz	9,8V	8,7V	4,55V	62,45°	90,11°
1 kHz	9,95V	6,9V	7,2V	43,83°	90,19°

- 3b) A partir desses valores, escreva a amplitude complexa dos fasores  $\hat{V}_E$ ,  $\hat{V}_R$  e  $\hat{V}_B$  para as 3 frequências na forma polar e cartesiana:

Fasor	Amplitude Complexa	
	Forma Polar	Forma Cartesiana
$\hat{V}_E$	10[0°] 9,8[0°] 9,95[0°]	10,0 9,80 9,95
$\hat{V}_R$	1,4[82,53°] 8,7[62,45°] 6,9[43,83°]	1,30 + 9,92i 4,02 + 7,71i 4,98 + 4,78i
$\hat{V}_B$	1,40[90,56°] 4,55[90,11°] 7,20[90,19°]	1,37e-2 + 1,40i -8,74e-3 + 4,55i -2,39e-2 + 7,20i

**4. Determinação da defasagem entre  $[\hat{V}_R \text{ e } \hat{V}_E]$  e  $[\hat{V}_B \text{ e } \hat{V}_E]$  utilizando apenas multímetro**

Monte o circuito da figura 3. Ajuste inicialmente uma tensão senoidal de frequência **100 Hz** e amplitude pico-a-pico de **10 Vpp**.



**Figura 3** – Circuito para determinação das defasagens

- 4.a)** Meça as tensões eficazes com o **multímetro portátil** e preencha a tabela 3. Observações: Nesta seção, a tensão no resistor será tomada como referência das fases. Portanto, adota-se  $v_R(t) = V_R \cos(\omega_0 t)$ . Além disso, como a bobina tem comportamento indutivo, na faixa de frequências das medidas, o sinal das fases será considerado positivo.

**Tabela 3** – Medidas de tensões eficazes para a determinação das fases.

frequência	Medidas AC			Cálculos	
	$V_E$	$V_B$	$V_R$	$\theta_E$	$\theta_B$
100 Hz	-1,142mV	130,368uV	-1,272mV		
500 Hz	756,994uV	-394,663uV	-1,152mV		
1 kHz	723,103uV	552,755uV	-170,348uV		

- 4.b)** Desenhe o diagrama fasorial das tensões no resistor, na bobina e no gerador, para a frequência de 1 kHz. Observação: o diagrama representa as fases e as amplitudes de pico  $V_p = 1,414 V_{ef}$ .

**4.c)** Calcule os valores das fases das tensões do gerador e da bobina e complete a tabela 3.

$$\theta_B = + \left| \arccos \left( \frac{V_E^2 - V_R^2 - V_B^2}{2 V_R V_B} \right) \right|$$

$$\theta_E = + \left| \arccos \left( \frac{V_E^2 + V_R^2 - V_B^2}{2 V_R V_E} \right) \right|$$

**5. Determinação da impedância da bobina (módulo e fase) na faixa entre 100 Hz e 10 kHz utilizando osciloscópio.**

Alimente agora o circuito da Figura 3 com um sinal senoidal de 10 Vpp e frequência variando na faixa de 100 Hz a 10 kHz. Meça com o canal 1 do osciloscópio o valor de pico da tensão  $V_E$ , com o canal 2 o valor de pico da tensão  $V_B$ , e com o recurso "Math" obtenha o valor de pico da tensão  $V_R$ . Meça também a Fase ( $V_B \rightarrow V_R$ ). Calcule a corrente ( $I_B$ ) e a impedância complexa da bobina ( $Z_B$ ) e escreva a mesma na forma polar, complete a tabela 4 indicando claramente as unidades de cada grandeza:

	Medidas			Cálculos	
Frequência	$V_B$	$V_R$	Fase( $V_B \rightarrow V_R$ )	$I_B$	$Z_B$ Forma polar
100 Hz					
200 Hz					
500 Hz					
1 kHz					
2 kHz					
5 kHz					
10 kHz					

