



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

PSI 3212 – LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

Cinthia Itiki, Inés Pereyra – 2018

Experiência 4 – Cossenoides, Fasores e Impedâncias  
Roteiro para Relatório e Guia de Experimento

No. USP	Nome	Nota	Bancada

Data:	Turmas:	Prof(a):
-------	---------	----------

### Objetivos

Esta experiência é dividida em três blocos, com objetivos distintos.

- Primeiramente, são medidos os valores eficazes da tensão de alimentação e das tensões sobre um resistor e uma bobina (denominada “bipolo”).
- Em seguida, usa-se o osciloscópio para medir as amplitudes pico-a-pico e as defasagens das tensões no gerador e no resistor em relação à tensão no bipolo, com o objetivo de validar a segunda lei de Kirchhoff.
- Em seguida, supondo-se a validade da segunda lei de Kirchhoff, calculam-se as defasagens entre as tensões, a partir dos valores eficazes medidos com o multímetro portátil.
- Na última parte, os diagramas fasoriais permitem a determinação da impedância do bipolo, com o uso de um resistor *shunt* para estimar a corrente que passa no bipolo.

### Equipamentos e materiais

- Resistor *shunt* de  $1k\Omega$
- Bobina (“bipolo”)
- Osciloscópio
- Multímetro portátil
- Gerador de funções
- Computador com o simulador instalado

### 1. Medições com o multímetro portátil

1.a) Meça a resistência do resistor *shunt* de valor nominal  $1k\Omega$ , com o multímetro portátil.

$R =$

Monte o circuito da figura 1. Ajuste inicialmente uma tensão senoidal de frequência **50Hz** e amplitude pico-a-pico de **13Vpp**.

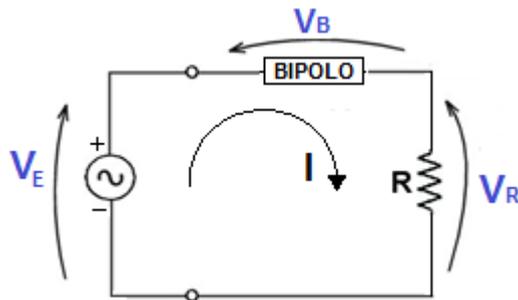


Figura 1 – Circuito para medição dos valores eficazes com o multímetro portátil.

1.b) Ajuste as frequências e meça as tensões eficazes com o **multímetro portátil**. Preencha as primeiras colunas da tabela 1. Observação: Para o multímetro DMM830, as medidas são confiáveis apenas até a frequência de 1kHz. Por quê?

Tabela 1 – Medidas de tensões eficazes com o multímetro portátil e cálculos das fases, da corrente e da impedância.

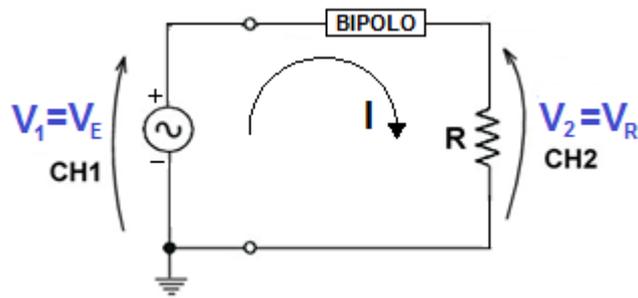
frequência	Medidas AC			Cálculos			
	$V_E$	$V_B$	$V_R$	$\theta_E$	$\theta_B$	$I = V_R / R$	$ Z_B  = V_B / I$
50Hz							
100Hz							
200Hz							
500Hz							
1kHz							
2kHz							

1.c) Observe que, para as medidas com o multímetro portátil, a soma das tensões medidas no bipolo e no resistor não coincide com a tensão medida no gerador. Por quê?

## 2. Validação da segunda lei de Kirchhoff

*O objetivo desta seção é medir as amplitudes e as defasagens das tensões do gerador e do resistor, em relação a uma referência comum (tensão no resistor), sem pressupor a validade da segunda lei de Kirchhoff. Em seguida, a tensão medida do gerador será comparada à soma matemática das tensões medidas no resistor e no bipolo. Caso as medidas tenham sido feitas corretamente, o resultado deverá indicar que a segunda lei de Kirchhoff é válida.*

2.a) Ajuste um sinal senoidal de frequência **1kHz** e amplitude pico-a-pico de **13V<sub>PP</sub>**, no gerador de funções. Em seguida, monte o circuito da figura 2. O terra das pontas de prova do osciloscópio deve ficar entre o resistor e o terminal ‘-’ do gerador. Nenhum dos canais do osciloscópio deverá ser invertido. Meça as amplitudes pico-a-pico das tensões no gerador e no resistor. Meça também a defasagem entre as tensões. Calcule a amplitude de pico das tensões e preencha a tabela 2. A tensão do resistor é  $v_R(t) = V_R \cos(\omega_0 t)$  e a tensão no gerador é  $v_E(t) = V_E \cos(\omega_0 t + \theta_E)$ .

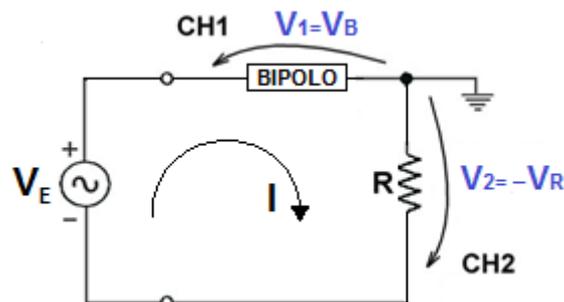


**Figura 2** – Circuito para medição das tensões no gerador e no resistor, com terra comum entre o gerador e o resistor.

**Tabela 2** – Medições com o osciloscópio das amplitudes e fases das tensões no gerador e no resistor.

	pc-pc(1)	pc-pc(2)
Amplitude pico-a-pico		
Fase	fase(1→2)= $\theta_E$	fase(2→2)= $\theta_R$
		0°
Amplitude de pico	$V_E = \text{pc-pc}(1)/2$	$V_R = \text{pc-pc}(2)/2$

**2.b)** Monte o circuito da figura 3. Meça a tensão pico-a-pico no bipolo e a defasagem entre a tensão no bipolo e no resistor. O terra das pontas de prova deve ficar entre o resistor e o bipolo. Essa montagem muda o sinal (de + para -) da tensão medida no resistor. Por isso, lembre-se de acionar a opção “invert” somente no canal 2. Anote os valores medidos das defasagens e das amplitudes pico-a-pico. Calcule os valores das amplitudes de pico e preencha a tabela 3. A tensão no bipolo é dada por  $v_B(t) = V_B \cos(\omega_0 t + \theta_B)$ .



**Figura 3** – Circuito para medição das tensões no bipolo e no resistor, com terra comum entre o resistor e o bipolo.

**Tabela 3** – Medição da amplitude e fase da tensão no bipolo.  
Cálculo matemático da soma das tensões no bipolo e no resistor.

	pc-pc(1)	pc-pc(Math)
Amplitude pico-a-pico		
Fase	fase(1→2)= $\theta_B$	fase(Math→2)= $\theta_{Math}$
Amplitude de pico	$V_B = \text{pc-pc}(1)/2$	$V_{Math} = \text{pc-pc}(Math)/2$

- 2.c)** Utilize a função matemática (“Math”) do osciloscópio e obtenha  $f(t)=v_R(t)+v_B(t)$  para o circuito da figura 3. O uso dessa função supõe que a tensão no gerador seja igual à soma das tensões no resistor e no bipolo, ou seja, supõe que a segunda lei de Kirchhoff seja válida. Meça a amplitude pico-a-pico e a defasagem fase( $M \rightarrow 2$ ) de  $f(t)$  em relação ao resistor. Preencha a tabela 3.
- 2.d)** Calcule a diferença percentual entre o valor calculado da amplitude de pico  $V_{math}$  na tabela 3 (supondo a validade da segunda lei de Kirchhoff) e o obtido de  $V_E$  na tabela 2 (a partir da medição direta).
- 2.e)** Calcule a diferença percentual entre o valor obtido da fase  $\theta_{Math}$  na tabela 3 (supondo a validade da segunda lei de Kirchhoff) e o medido  $\theta_E$  na tabela 2 (a partir da medição direta).
- 2.f)** A validade da segunda lei de Kirchhoff  $v_{Math}(t)=v_R(t)+v_B(t)=v_E(t)$ , para as medidas com o osciloscópio, pode ser comprovada por valores pequenos das diferenças percentuais (calculadas nos itens anteriores). Caso essas diferenças forem relativamente grandes, descubra os eventuais erros experimentais e refaça as medidas.

### 3. Determinação das fases das tensões

*O objetivo desta seção é calcular as fases das tensões no bipolo e no gerador, a partir dos valores eficazes medidos com o multímetro portátil. No cálculo das fases, supõe-se a validade da segunda lei de Kirchhoff.*

Nesta seção, a tensão no resistor será tomada como referência, ou seja, adota-se  $v_R(t)=V_R \cos(\omega_0 t)$ . Além disso, sabe-se que o bipolo é uma bobina, cujo comportamento é indutivo na faixa de frequências das medidas. Portanto, o sinal (‘+’ ou ‘-’) das fases  $\theta_B$  e  $\theta_E$  é positivo.

- 3.a)** Calcule os valores das fases das tensões do gerador e da bobina, a partir dos valores eficazes medidos com o multímetro portátil. Complete as colunas intermediárias da tabela 1.

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

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

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

#### 4. Determinação da impedância e da potência dissipada no bipolo

*O objetivo desta seção é determinar a impedância. No cálculo da corrente do circuito, supõe-se a validade da lei de Ohm sobre o resistor shunt.*

- 4.a) A partir dos valores medidos e calculados na tabela 1, calcule a corrente eficaz  $I$  no circuito, usando o valor já medido do resistor  $R$  no item 1.a. Obtenha o módulo da impedância  $|Z_B|$  do bipolo “desconhecido”, ou seja, da bobina. Complete a tabela 1. Observação: a fase da impedância  $\theta_Z$  corresponde à defasagem entre  $v_B(t)$  e  $i(t)$  que, por sua vez, é igual à defasagem  $\theta_B$  entre  $v_B(t)$  e  $v_R(t)$ . Isso ocorre porque a tensão no resistor tem a mesma fase que a corrente no circuito.
- 4.b) De acordo com a tabela 1, o módulo da impedância  $|Z_B|$  aumenta ou diminui com a frequência?
- 4.c) Observe que a bobina não é um indutor ideal, já que um indutor ideal apresentaria fase constante e igual a  $+90^\circ$  entre a tensão e a corrente. De acordo com a tabela 1, a fase da impedância  $\theta_Z = \theta_B$  aumenta ou diminui com a frequência?
- 4.d) **Remova a bobina do circuito** e meça a indutância e a resistência série do bipolo, com o medidor RLC em 1kHz.

$$L_{B \text{ serie}} = \boxed{\phantom{0000}}$$

$$R_{B \text{ serie}} = \boxed{\phantom{0000}}$$

- 4.e) Calcule o valor médio da potência dissipada no bipolo, na frequência de **1kHz**, a partir da fase  $\theta_B$  e dos valores da tensão eficaz  $V_B$  no bipolo e da corrente eficaz  $I$ , obtidos na tabela 1.

$$P = V_B I \cos(\theta_B) =$$

## 5. Simulação opcional (1,0 ponto extra)

- 5.a) **Inicialize** o computador do laboratório no **modo Windows**. Abra o MultiSim e construa o circuito da figura 3, com alimentação senoidal de 13Vpp e 1kHz. Represente o bipolo por um indutor ideal  $L_{Bserie}$  em série com um resistor ideal  $R_{Bserie}$  (cujos valores foram medidos no item 4.d) e o resistor  $R$  pela resistência medida no item 1.a. Faça a simulação no MultiSim e obtenha o gráfico das tensões no bipolo  $v_B(t) = +v_1(t)$  e no resistor  $v_R(t) = -v_2(t)$ , com 2 a 3 ciclos das cossenoides. Anexe a impressão ao relatório.
- 5.b) A partir do gráfico impresso da simulação, determine as amplitudes de pico das tensões  $V_B$  e  $V_R$ , além da defasagem ( $\theta_B - \theta_R$ ) entre a tensão no bipolo no resistor. Compare com os valores obtidos nas tabelas 2 e 3.