	<b>Universidade Federal Rural de Pernambuco</b> <b>Unidade Acadêmica de Belo Jardim</b> <b>Engenharia de Controle e Automação</b>	
	<b>Relatório da Prática 2 – Leis de Kirchhoff para Circuitos Fasoriais</b>	
Disciplina:	Circuitos Elétricos 2	
Professor:	Henrique Patriota	
Alunos:	Ezequiel Henrique Melo do Nascimento Pedro Henrique de Almeida Santos	
Bancada:	07	Data: 14/11/2024

## 1. Introdução

No dia 14 de novembro de 2024 foi realizada a 2ª Prática da disciplina de Circuitos 2, instruída pelo professor Henrique Patriota. Essa atividade consistiu em montar um circuito completo com resistor, capacitor e indutor a fim de verificar a aplicação das Leis de Kirchhoff e Teorema de Thévenin com um regime de fonte alternada, utilizando o regime fasorial.

Sobre a prática, foi realizada a análise do comportamento das formas de onda do circuito descrito no guia da atividade.. Para isso, foi necessário utilizar um gerador de funções a fim de fornecer ondas de entrada senoidais ao circuito, além de um osciloscópio para observar o comportamento das ondas de tensão em diferentes componentes do circuito. Através da observação das ondas foi possível analisar o comportamento do circuito e determinar, teoricamente, o valor do fasor correspondente.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo Geral

Objetivo geral, apresentar aos alunos o uso de fontes CA com o uso de gerador de função e osciloscópio para cálculos a fim de comprovar os conceitos estabelecidos nas aulas teóricas.

### 2.2. Objetivos Específicos

**2.2.1.** Verificar a aplicação das Leis de Kirchhoff em circuitos de regime permanente CA utilizando a análise fasorial.

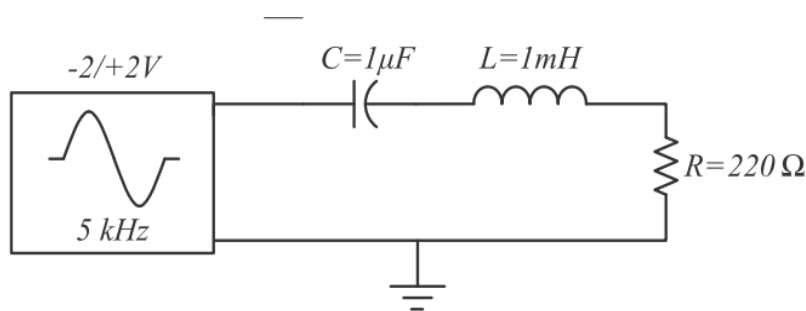
**2.2.2.** Verificar a aplicação do teorema de Thévenin circuitos em regime permanente CA contendo elementos reativos.

### 3. Metodologia

A metodologia utilizada para realização da prática contou com um guia disponibilizado pelo professor Henrique Patriota com os conceitos sobre Leis de Kirchhoff para Circuitos Fasoriais.

Neste guia está apresentado um circuito conforme a Figura 1, utilizado como base para cálculos teóricos das tensões sobre a fonte, resistor, indutor e capacitor. Após os cálculos, foi realizada a montagem do circuito, e em seguida foi feita a medição dos componentes utilizando um multímetro devidamente configurado para corrente alternada, permitindo a comparação entre os valores teóricos e experimentais. Por fim, foi utilizado o osciloscópio para visualizar as formas de onda senoidais e determinar o fasor do circuito.

Figura 1 - Circuito resistivo para cálculos teóricos e montagem



Para uma melhor compreensão do circuito durante o experimento houveram algumas adaptações referentes ao circuito da Figura 1, que foram necessárias para a realização efetiva do experimento.

#### 3.1. Cálculos teóricos da prática - Frequência de 100Hz

##### 3.1.1. Tensão na Fonte ( $V_{Fonte}$ )

$$V_{RMS} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

$$V_{RMS} = \frac{2}{\sqrt{2}}$$

$$V_{RMS} = 1,41\text{ V}$$

##### 3.1.2. Impedância Total ( $Z$ )

$$R = 330\Omega$$

$$X_c = \frac{1}{j\omega c}$$

$$X_c = \frac{1}{j * 2 * \pi * 100 * 100 * 10^{-9}}$$

$$X_c = -15915j$$

$$X_l = j\omega l$$

$$X_l = j * 2 * \pi * 100 * 2,2 * 10^{-3}$$

$$X_l = 1,38j \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{330^2 + (1,38j - (-15915j))^2}$$

$$Z \simeq 15912,95j \Omega$$

### 3.1.3. Corrente no Circuito (I)

$$I = \frac{V_{RMS}}{|Z|}$$

$$I = \frac{1,41}{15912,95}$$

$$I = 8,86 * 10^{-5}$$

$$I = 88,6\mu A$$

### 3.1.4. Tensão na Capacitor ( $V_{Capacitor}$ )

$$V = |X_c| * I$$

$$V = 15915 * 88,6 * 10^{-6}$$

$$V = 1,41 V$$

### 3.1.5. Tensão no Indutor ( $V_{Indutor}$ )

$$V = |X_L| * I$$

$$V = 1,38 * 88,6 * 10^{-6}$$

$$V = 1,22 * 10^{-4} V$$

### 3.1.6. Tensão na Fonte ( $V_{Resistor}$ )

$$V = R * I$$

$$V = 330 * 88,6 * 10^{-6}$$

$$V = 29,2m V$$

### 3.2. Cálculos teóricos da prática - Frequência de 1000Hz

Em um segundo momento da prática, o professor sugeriu a mudança da frequência em que o gerador de função para 1KHz, então para essa segunda parte realizou-se os mesmos cálculos do tópico anterior para encontrar as tensões sobre a Fonte, resistor, capacitor e indutor na nova frequência e obtém-se os seguintes resultados.

#### 3.2.1. Tensão na Fonte ( $V_{Fonte}$ )

$$V_{RMS} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

$$V_{RMS} = \frac{2}{\sqrt{2}}$$

$$V_{RMS} = 1,41 \text{ V}$$

#### 3.2.2. Impedância Total (Z)

$$R = 330\Omega$$

$$X_c = \frac{1}{j\omega c}$$

$$X_c = \frac{1}{j * 2 * \pi * 1000 * 100 * 10^{-9}}$$

$$X_c = -1591,5j$$

$$X_l = j\omega l$$

$$X_l = j * 2 * \pi * 1000 * 2,2 * 10^{-3}$$

$$X_l = 13,8j \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{330^2 + (13,8j - (-1591,5j))^2}$$

$$Z \simeq 1571,01j \Omega$$

#### 3.2.3. Corrente no Circuito (I)

$$I = \frac{V_{RMS}}{|Z|}$$

$$I = \frac{1,41}{1571,01}$$

$$I = 8,975 * 10^{-4} \text{ A}$$

$$I = 897,5\mu A$$

### 3.2.4. Tensão na Capacitor ( $V_{Capacitor}$ )

$$V = |X_c| * I$$

$$V = 1591,5 * 8,975 * 10^{-4}$$

$$V = 1,42 V$$

### 3.2.5. Tensão no Indutor ( $V_{Indutor}$ )

$$V = |X_L| * I$$

$$V = 13,8 * 8,975 * 10^{-4}$$

$$V = 12,3 mV$$

### 3.2.6. Tensão na Resistor ( $V_{Resistor}$ )

$$V = R * I$$

$$V = 330 * 8,975 * 10^{-4}$$

$$V = 0,296 V$$

$$V = 296m V$$

## 3.3. Montagem do circuito

Após a realização dos cálculos teóricos sobre o circuito foi realizada a montagem que contou com os seguintes materiais:

1. Fonte CA
2. Gerador de funções
3. Osciloscópio
4. Multímetro
5. Protoboard
6. 1 resistor de  $330\Omega$
7. 1 Indutor de  $2,2mH$
8. 1 Capacitor de  $100nF$

Primeiramente, foi montado na protoboard um circuito equivalente ao da Figura 1, obtendo uma montagem conforme a Figura 2. Em seguida, foi medida a tensão da fonte e de cada um dos componentes do circuito, conforme as Figuras 3, 4, 5 e 6, para isso foi necessário configurar o multímetro para realizar leitura em corrente alternada.

Figura 2 - Montagem do circuito na *protoboard*

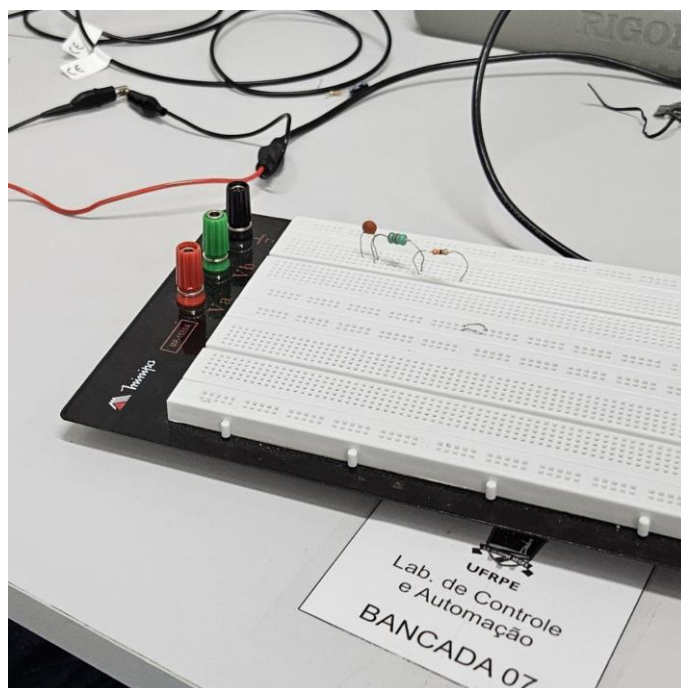


Figura 3 - Medição da Tensão da Fonte

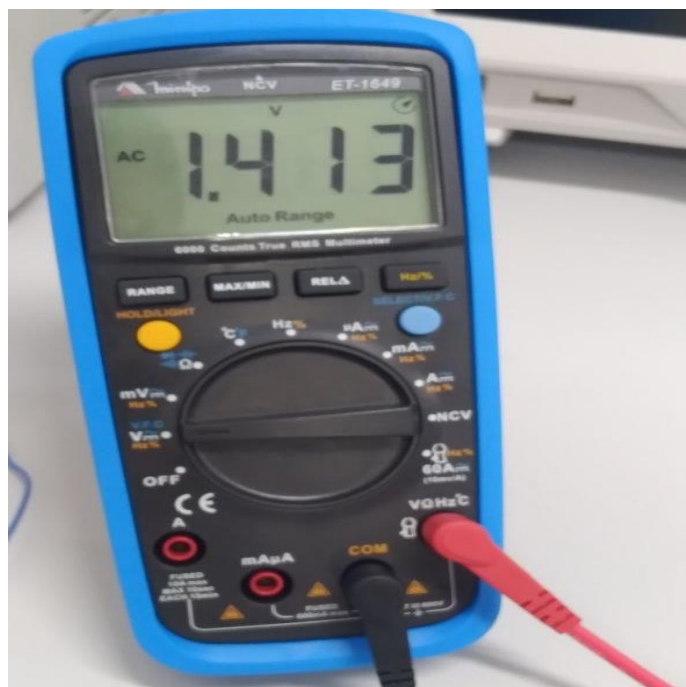


Figura 4 - Medição da Tensão no Capacitor

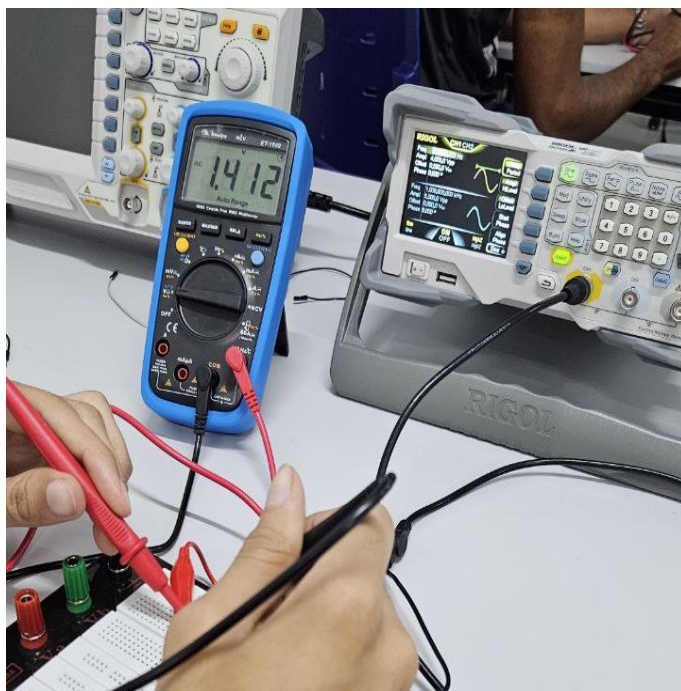


Figura 5 - Medição da Tensão no Indutor

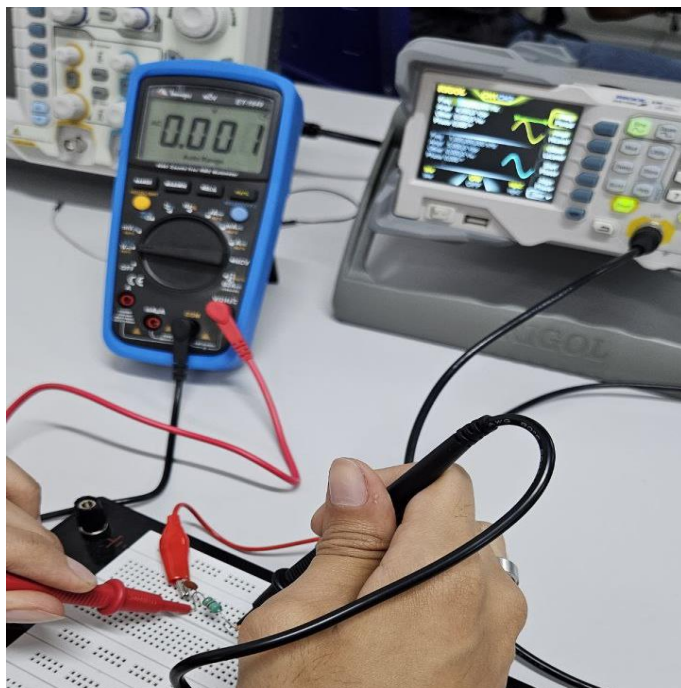
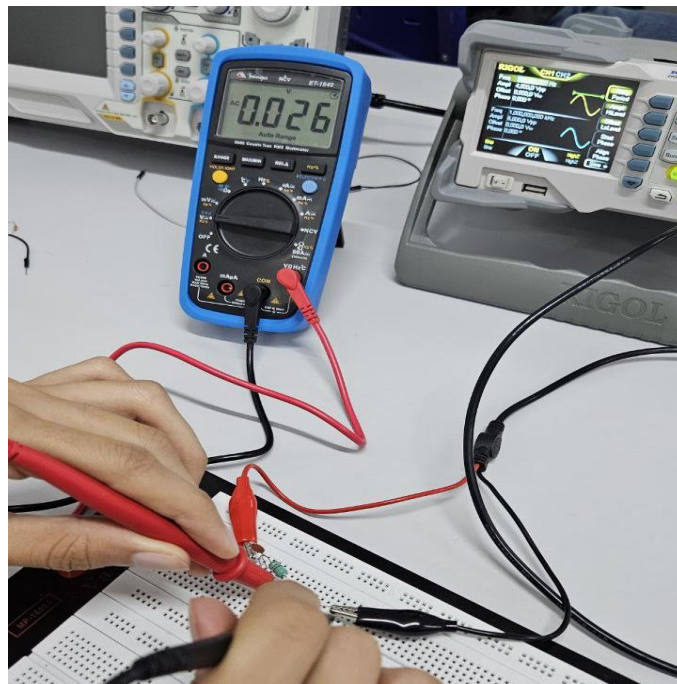




Figura 6 - Medição da Tensão no Resistor



Após a medição da tensão dos componentes, seguimos para a segunda parte da prática, onde a frequência do gerador de função foi mudada para  $1\text{kHz}$ , como demonstra a Figura 7. Após realizar esse procedimento, foram feitas todas as medições de tensão da fonte e dos componentes do circuito novamente, conforme as Figuras 7, 8, 9 e 10.

Figura 7 - Gerador de função configurado para  $1\text{kHz}$





Figura 8 - Medição da Tensão da Fonte para parte 2 da prática

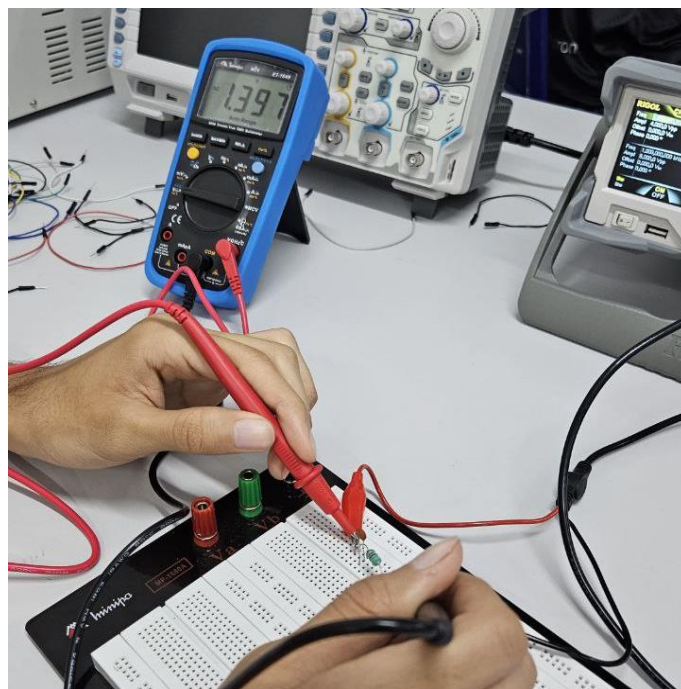


Figura 9 - Medição da Tensão no Capacitor para parte 2 da prática

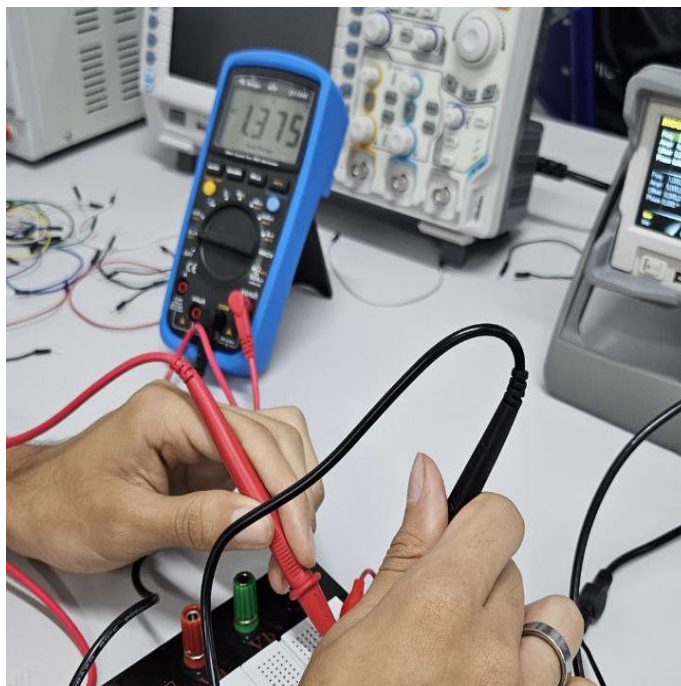


Figura 9 - Medição da Tensão no Indutor para parte 2 da prática

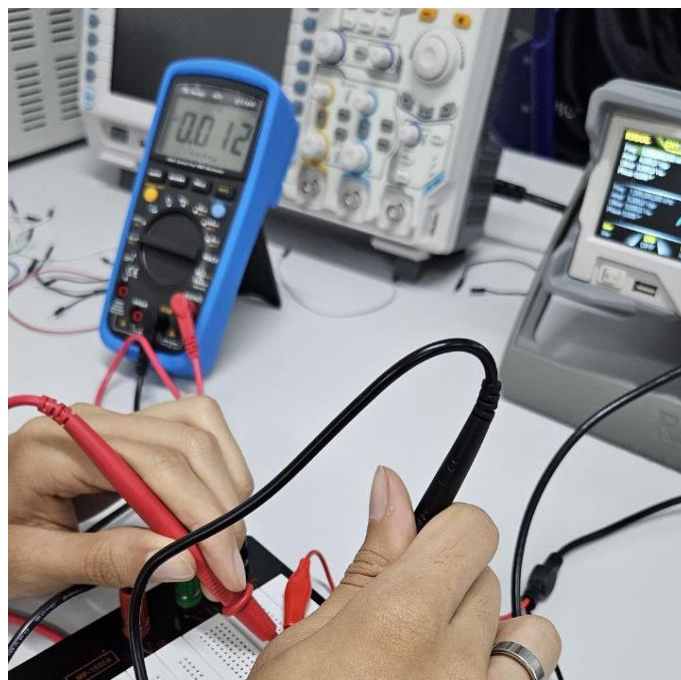
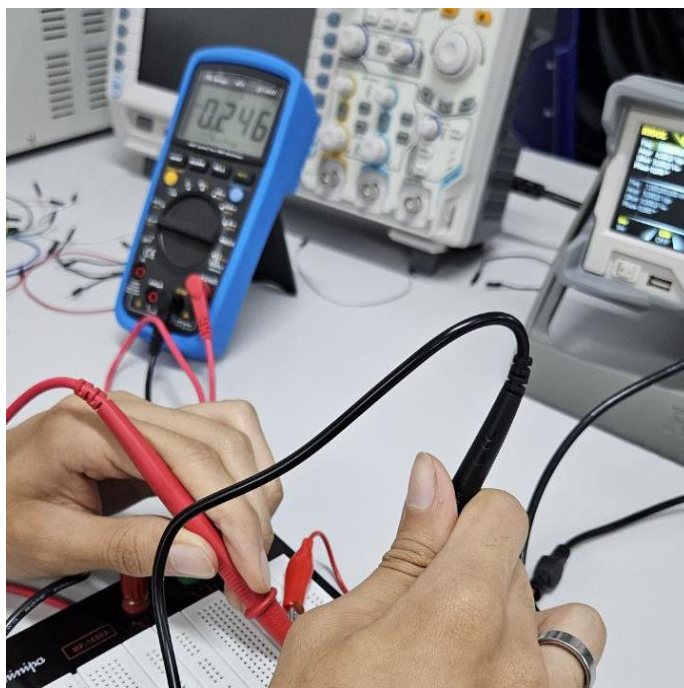


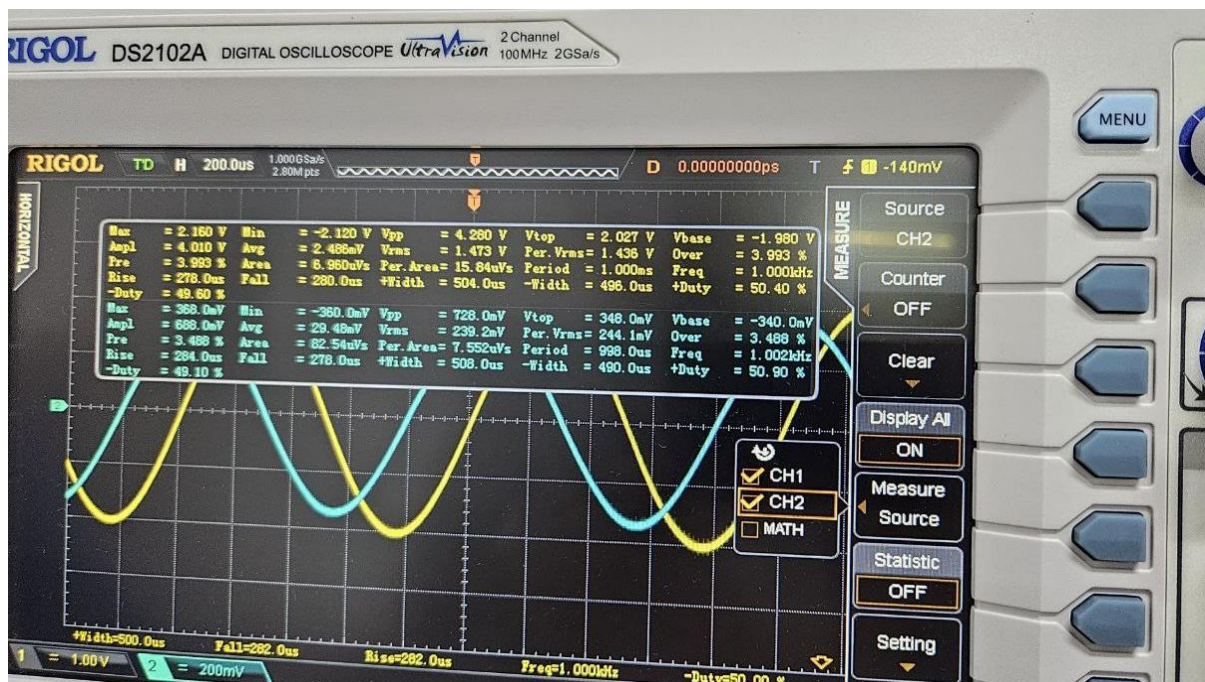
Figura 10 - Medição da Tensão no Resistor para parte 2 da prática



Após feita a medição de todos os componentes do circuito novamente, foi utilizado o osciloscópio para observar o comportamento das ondas de entrada e saída no circuito. A Figura 11 apresenta as ondas observadas.

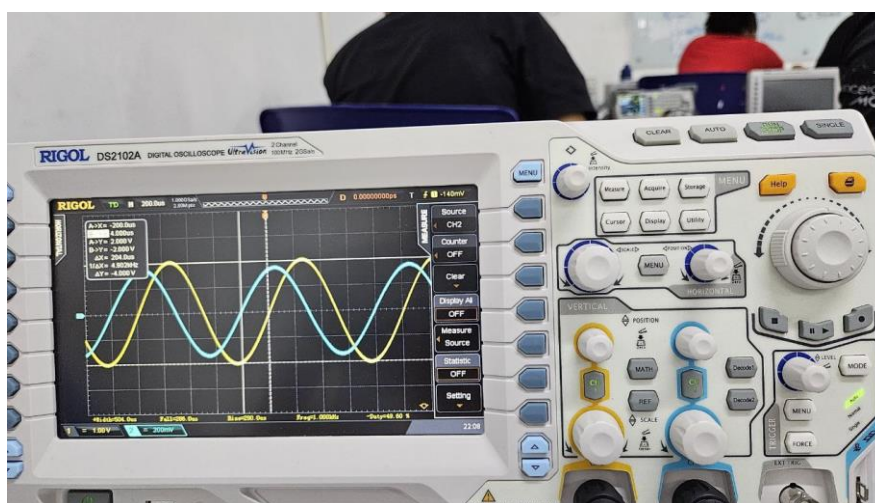


Figura 11 - Ondas senoidais de entrada e saída observadas no osciloscópio, a onda de entrada está em amarelo, enquanto a onda de saída está em azul



Na Figura 11 é possível observar os valores de  $V_{TOP} \approx 2V$  (Tensão de topo) no canal de entrada, enquanto a tensão de topo no canal de saída foi de  $V_{TOP} \approx 350mV$ . Após isso, foi realizada uma estimativa gráfica para determinar o valor do fator de escala do circuito, para isso foi necessário posicionar duas linhas verticais em pontos iguais de cada onda a fim de selecionar um instante de tempo  $\Delta t$ , conforme a Figura 12.

Figura 12 - Instante  $\Delta t$  selecionado no osciloscópio



### 3.4. Cálculo para o fasor

Do procedimento demonstrado na Figura 12 foi possível observar um valor para  $\Delta t$  de  $204\mu s$ , em posse dessa informação é possível determinar o ângulo da fase de uma senóide, através da seguinte relação:

Equação 1 - Ângulo de fase

$$\theta = 360 \times \Delta t \times F$$

Onde:

- $\theta$  é o ângulo da fase em graus
- $\Delta t$  instante de tempo entre as duas senóides
- $F$  é a frequência do circuito em Hertz

Aplicando os valores obtidos na prática temos:

$$\theta = 360 \times 204 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^3$$

$$\theta = 73,44^\circ$$

Logo, o ângulo de fase medido para o circuito utilizado na prática foi de  $73,44^\circ$ , enquanto que a amplitude de pico ( $V_m$ ) observada na Figura 11 foi de  $350mV$ . Desse modo, o fasor resultante para o circuito é representado como  $350mV \angle 73,44^\circ$ .

## 4. Resultados e Discussões

Com os resultados das duas práticas é possível preencher as respectivas tabelas presentes no guia Tabela 1.1 e Tabela 1.2 que servem para mensurar algumas diferenças entre o teórico e as duas práticas, para obter um melhor entendimento sobre essas diferenças é necessário calcular o erro relativo (1ª Equação) e após isso discutir melhor os resultados.

1ª Equação: Erro relativo

$$Erro (\%) = 100 \cdot \frac{|Valor Teórico - Valor Medido|}{Valor Teórico}$$

Tabela 1.1: Tabela relativa a Frequência de 100Hz

	$V_{Fonte}$	$V_{Capacitor}$	$V_{Indutor}$	$V_{Resistor}$
<b>Valores eficazes (simulados)</b>	$1,41V$	$1,41V$	$1,22 * 10^{-4}V$	$29,2mV$
<b>Valores eficazes (medidos)</b>	$1,41V$	$1,41V$	$1mV$	$26mV$

#### 4.1. Erro relativo 1ª Prática - $V_{Fonte}$

$$Erro (\%) = 100 \cdot \frac{|1,41 - 1,41|}{1,41}$$

$$Erro (\%) = 0\%$$

#### 4.2. Erro relativo 1ª Prática- $V_{Capacitor}$

$$Erro (\%) = 100 \cdot \frac{|1,41 - 1,41|}{1,41}$$

$$Erro (\%) = 0\%$$

#### 4.3. Erro relativo 1ª Prática- $V_{Indutor}$

$$Erro (\%) = 100 \cdot \frac{|1,22 \cdot 10^{-4} - 0,001|}{1,22 \cdot 10^{-4}}$$

$$Erro (\%) = 719,67\%$$

#### 4.4. Erro relativo 1ª Prática- $V_{Resistor}$

$$Erro (\%) = 100 \cdot \frac{|0,0292 - 0,026|}{0,0292}$$

$$Erro (\%) = 10\%$$

Dessa forma, é possível observar que os resultados de  $V_{Fonte}$  e  $V_{Capacitor}$ , mostram perfeita concordância com os valores teóricos, com erro relativo de 0%, indicando que o circuito estava montado corretamente e sem interferências externas. Entretanto,  $V_{Indutor}$  O erro relativo foi muito alto (719,67%), o que indica que algo afetou a precisão da medição. Isso pode ser devido a limitações do multímetro, que talvez não consiga medir uma tensão tão baixa com precisão, ou ainda a resistência interna do indutor e capacitância no circuito, também podem ter influenciado o resultado. Ademais,  $V_{Resistor}$ . O erro de 10,96% está dentro de limites aceitáveis, provavelmente devido à tolerância dos componentes e possíveis flutuações no circuito. Esses resultados indicam a necessidade de aprimorar as medições para o indutor.

Tabela 1.2: Tabela relativa a Frequência de 1000Hz

	$V_{Fonte}$	$V_{Capacitor}$	$V_{Indutor}$	$V_{Resistor}$
<b>Valores eficazes (simulados)</b>	$1,41V$	$1,42V$	$12,3 mV$	$296 mV$
<b>Valores eficazes (medidos)</b>	$1,39V$	$1,37V$	$12 mV$	$246 mV$

#### 4.5. Erro relativo 2ª Prática - $V_{Fonte}$

$$Erro (\%) = 100 \cdot \frac{|1,41 - 1,39|}{1,41}$$

$$Erro (\%) = 1,41\%$$

#### 4.6. Erro relativo 2ª Prática - $V_{Capacitor}$

$$Erro (\%) = 100 \cdot \frac{|1,42 - 1,37|}{1,42}$$

$$Erro (\%) = 3,52\%$$

#### 4.7. Erro relativo 2ª Prática - $V_{Indutor}$

$$Erro (\%) = 100 \cdot \frac{|0,0123 - 0,012|}{0,0123}$$

$$Erro (\%) = 2,43\%$$

#### 4.8. Erro relativo 2ª Prática - $V_{Resistor}$

$$Erro (\%) = 100 \cdot \frac{|0,296 - 0,246|}{0,296}$$

$$Erro (\%) = 16,8\%$$

Na 2ª prática, os resultados mostraram algumas diferenças em relação aos valores teóricos, mas de forma mais controlada em comparação com a 1ª prática. O erro relativo para  $V_{Fonte}$ , foi de 1,41%, o que é bastante baixo e indica que a medição foi precisa e bem alinhada com o valor teórico. Para  $V_{Capacitor}$ , o erro foi de 3,52%, o que ainda está dentro de um limite aceitável, mas sugere que pequenas variações no circuito ou no processo de medição possam ter influenciado o resultado.

Seguindo o mesmo padrão  $V_{Indutor}$  o erro relativo foi de 2,43%, o que é um valor pequeno e indica boa precisão, o que comparando os resultados da 2ª prática com os da 1ª prática, podemos observar que o erro relativo na 2ª prática está dentro dos padrões e que o erro relativo da 1ª prática é fruto de limitações do multímetro, o que gerou aquela porcentagem tão alta de erro e que circuito e os cálculos estão corretos. Entretanto o erro de 16,8% na  $V_{Resistor}$ , pode ser explicado pela dificuldade de medir tensões tão baixas com precisão, ou ainda a tolerância dos resistores que possuem uma faixa de variação da resistência especificada para a real.

## **5. Conclusões**

Portanto, pode-se concluir que a realização dessa prática foi essencial para a observar o significado de um fasor na prática. Além disso, a prática permitiu não apenas reforçar o entendimento teórico, mas também desenvolver habilidades práticas de montagem e análise de circuitos utilizando equipamentos como gerador de função e osciloscópio, que são de extrema importância para gerar e observar ondas de tensão em circuitos de corrente alternada. Essa prática contribuiu, portanto, para melhorar a compreensão sobre circuitos de corrente alternada, evidenciando que as Leis de Kirchhoff também são aplicáveis para circuitos fasoriais.