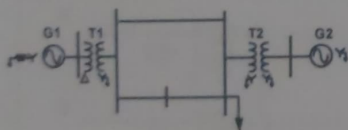
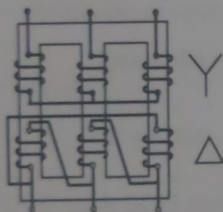
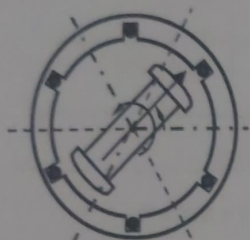
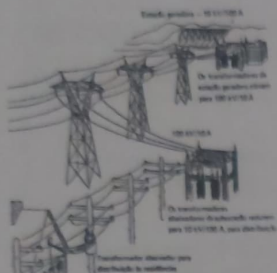




UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GRUPO DE SISTEMAS ELÉTRICOS



Exp_02

ALUNO(A):

Rogério Moreira Almeida

TURMA:

03-B

Espaço reservado ao Professor/Monitor:

PREPARAÇÃO/Simulação Digital:

Visto:

DATA:

28/03/24

MEDIÇÃO/Análise dos Resultados:

Visto:

DATA:

11/04/24

Regênio Noronha Almeida
12/11/05/99

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
LABORATÓRIO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

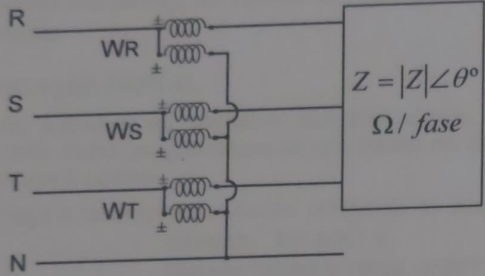
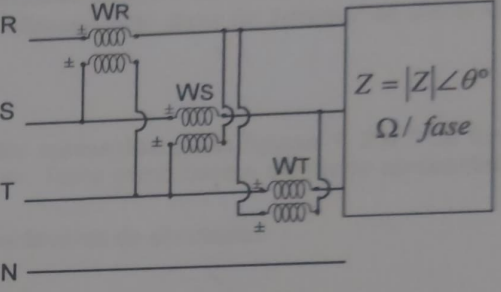
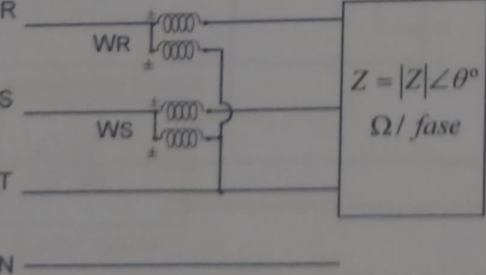
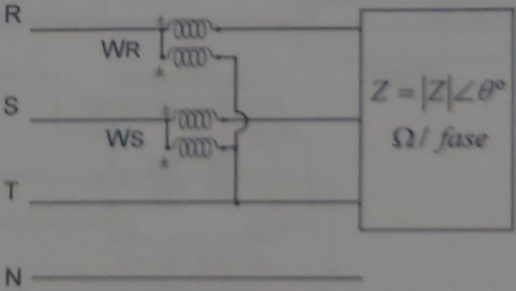
POTÊNCIA EM CIRCUITOS TRIFÁSICOS EQUILIBRADOS

1. OBJETIVO

Utilização do método dos dois e dos três wattímetros para a obtenção da potência ativa, reativa e do fator de potência em circuitos trifásicos equilibrados.

2. INTRODUÇÃO

Considere um sistema trifásico equilibrado de sequência R-S-T alimentando uma carga equilibrada de impedância $Z = |Z| \angle \theta^\circ \ \Omega / \text{fase}$.

MÉTODO DOS TRÊS WATTÍMETROS	
Potência ativa  <p style="text-align: center;">figura -1</p>	Potência Reativa  <p style="text-align: center;">figura -2</p>
$P = W_R + W_S + W_T$ <p>Para as cargas equilibradas,</p> $W_R = W_S = W_T$ <p>Assim,</p> $P = 3 \cdot W_R$	$Q = (W_R + W_S + W_T) / \sqrt{3}$ <p>Para as cargas equilibradas,</p> $W_R = W_S = W_T$ <p>Assim,</p> $Q = \sqrt{3} \cdot W_R$
MÉTODO DOS DOIS WATTÍMETROS	
Potência ativa  <p style="text-align: center;">figura -3</p>	Potência Reativa (Cargas equilibradas)  <p style="text-align: center;">figura -4</p>
$P = W_R + W_S$	$Q = \sqrt{3} (W_R - W_S)$

3. PREPARAÇÃO

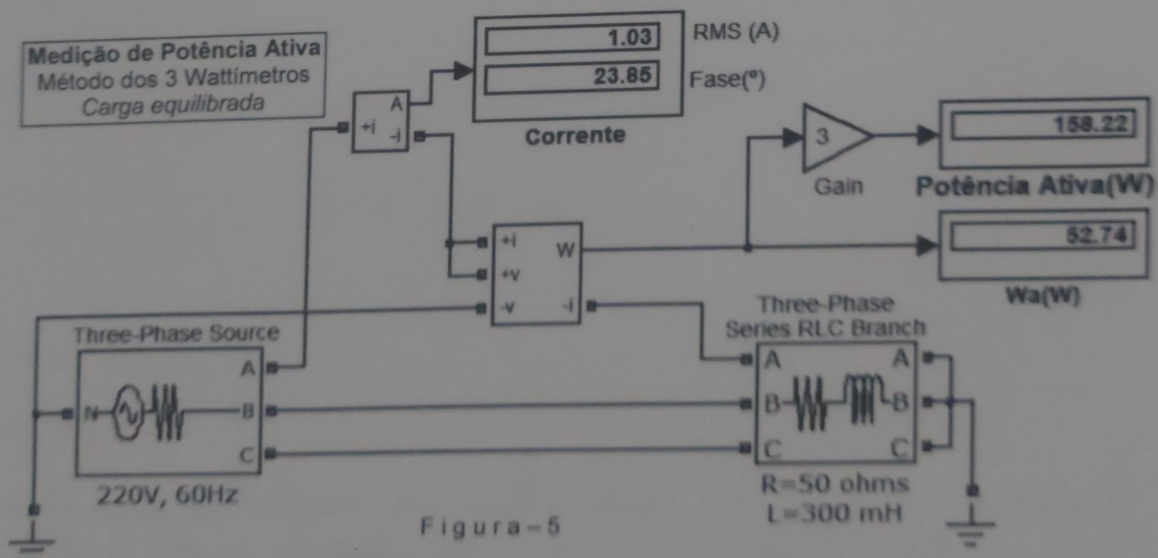
Considere um sistema equilibrado de 220V e de sequência RST alimentando uma carga em Y constituída de um resistor de 150 Ω em série com um indutância de 300 mH em cada uma das fases pede-se:

- 1) Determinar as correntes de linha na forma fasorial adotando \hat{V}_{ST} como referência;
- 2) Determine as leituras dos wattímetros na figura-1 e calcule a potência ativa absorvida pela carga a partir da leituras dos wattímetros;
- 3) Determine as leituras dos wattímetros na figura-2 e calcule a potência reativa absorvida pela carga a partir da leituras dos wattímetros;
- 4) Determine as leituras dos wattímetros na figura-3 e calcule a potência ativa, reativa e o fator de potência da carga a partir da leituras dos wattímetros;
- 5) Anote os valores calculados nas colunas correspondentes das tabela-1A, 2A e 3A;
- 6) Refaça os itens de 1 a 5 considerando agora que a carga em Y é constituída de um resistor de 50 Ω em série com um indutância de 300 mH em cada uma das fases e anote os valores calculados nas colunas correspondentes das tabela-1B, 2B e 3B.

IMPORTANTE: Observe a notação apropriada para as grandezas elétricas envolvidas, de modo a diferenciar as formas complexas, as formas fasoriais e seus valores eficazes. Não deixe de informar as unidades das grandezas.

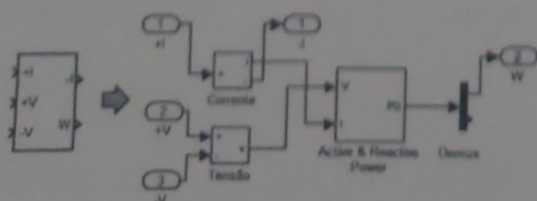
4. SIMULAÇÃO DIGITAL

1. No ambiente do "Matlab®/ Simulink" simule os circuitos apresentados nas figuras 1, 2 e 3 de forma a obter todas as grandezas já calculadas no item anterior. Tome como base o diagrama apresentado na figura 5 abaixo;
2. Faça a resolução do circuito utilizando os seguintes parâmetros de simulação:
Intervalo: 0 s a 0,1 s;
Método: ODE23t (Mod. stiff/Trapezoidal);
Tolerância relativa: 1e-5.
Considere que a fonte possui uma resistência interna de 0,001 Ω .
3. Preencha com os valores obtidos na simulação nas colunas correspondentes das tabelas 1A, 2A, 3A, 1B, 2B e 3B

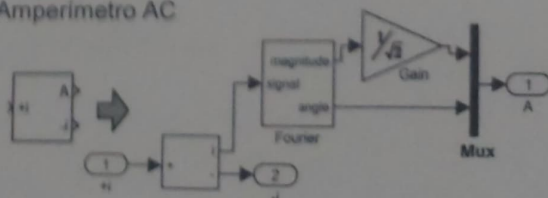


Instrumentos:

Wattímetro AC



Amperímetro AC



Rogério Moreira Almeida.

121110599

3:

Preparação

- 1° Determine os correntes de linha na forma fasorial adotando \hat{V}_{AT} como referência;

$$V_L = 220V$$

$$f = 60\text{Hz}$$

$$R = 150\Omega$$

$$L = 300\text{mH}$$

$$\hat{V}_{AT} = 220 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\hat{V}_{RA} = 220 \angle 120^\circ \text{ V}$$

$$\hat{V}_{TR} = 220 \angle -120^\circ \text{ V}$$

Carga em Y

$$* \hat{I}_L = \frac{\hat{V}_L}{\sqrt{3} \cdot Z_L} \quad \text{e} \quad \hat{V}_L = \hat{V}_L \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$* V_f = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot V_L \angle -30^\circ = 127 \angle -30^\circ \text{ V}$$

$$* Z_L = 150 + j \cdot (2\pi \cdot f) \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 150 + j 113,10 \Omega$$

$$* \hat{I}_{L1} = \frac{127 \angle -30^\circ}{150 + j 113,10} = 0,68 \angle -67^\circ \text{ A}$$

Logo

$$\hat{I}_{L2} = 0,68 \angle 53^\circ \text{ A}$$

$$\hat{I}_{L3} = 0,68 \angle -187^\circ \text{ A}$$

- 2° Determine as leituras dos wattímetros na figura-1 e calcule a potência ativa absorvida pela carga a partir das leituras dos wattímetros;

$P = W_R + W_S + W_T$; para cargas equilibradas $W_R = W_S = W_T$; Logo $P = 3 \cdot W_R$

$$P = 3 \cdot [\hat{I}_L \cdot \hat{V}_L \cos(\theta_{V_L} - \theta_{I_L})]$$

$$P = 3 \cdot [0,68 \cdot 127 \cdot \cos(90^\circ - 53^\circ)]$$

$$P = 3 \cdot [86,36 \cdot \cos(37^\circ)] = 206,91 \text{ W}$$

Rogério Moreira Almeida
12 111 05 99

- 3° Determine as leituras dos wattímetros na figura-2 e calcule a potência reativa absorvida pela carga a partir das leituras dos wattímetros

$$Q = (W_R + W_S + W_T) \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \quad ; \quad \text{para as cargas equilibradas } W_R = W_S = W_T$$

$$\text{Logo: } Q = \sqrt{3} \cdot W_R$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot (\hat{V}_{RT} \cdot \hat{I}_R \cdot \cos(\theta_{RT} - \theta_{IR}))$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot [220 \cdot 0,68 \cdot \cos(0^\circ - 53^\circ)]$$

$$Q = 259,11 \cdot \cos(-53)$$

$$Q = 155,94 \text{ var}$$

- 4° Determine as leituras dos wattímetros na figura-3 e calcule a potência ativa, reativa e o fator de potência da carga a partir das leituras dos wattímetros

$$P = \hat{V}_{RT} \cdot \hat{I}_R \cdot \cos(\theta_{V_{RT}} - \theta_{I_R}) + \hat{V}_{ST} \cdot \hat{I}_S \cdot \cos(\theta_{V_{ST}} - \theta_{I_S})$$

$$P = 220 \cdot 0,68 \cdot \cos(60^\circ - 53^\circ) + 220 \cdot 0,68 \cdot \cos(0^\circ + 67^\circ)$$

$$* P = 148,48 + 58,45 = 206,93 \text{ W}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot (W_R - W_S) = \sqrt{3} (148,48 - 58,45)$$

$$* Q = 155,94 \text{ var}$$

$$\text{fator de potência} = \frac{P}{|S|}$$

$$* \text{fp} = \frac{206,93}{\sqrt{(206,93)^2 + (155,94)^2}} = 0,80 \text{ pf}$$

Rogério Moreira Almeida

121110599

- 6° Refaço os itens anteriores para uma carga Y , e constituída de um resistor de 50Ω em série com uma indutância de 300 mH em cada uma das fases

1° $Z_L = 50 + j113,10 \Omega$

$$\hat{I}_{RL} = \frac{127 \angle -30^\circ}{50 + j113,10} = 1,02 \angle -96,15^\circ \text{ A}$$

Logo

$$\hat{I}_{RL} = 1,02 \angle 23,85^\circ \text{ A}$$

$$\hat{I}_{TL} = 1,02 \angle -216,15^\circ \text{ A}$$

2° $P = 3 [\hat{I}_R \cdot \hat{V}_R \cdot \cos(\theta_{VR} - \theta_{IR})]$
 $P = 3 \cdot [1,02 \cdot 127 \cdot \cos(90 - 23,85)]$

$$P = 3 \cdot 52,38$$

$$P = 157,14 \text{ W}$$

3° $Q = \sqrt{3} \cdot [\hat{V}_{LT} \cdot \hat{I}_R \cdot \cos(\theta_{IT} - \theta_{IR})]$

$$Q = \sqrt{3} \cdot (220 \cdot 1,02 \cdot \cos(0 - 23,85))$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot (205,24)$$

$$Q = 355,48 \text{ var}$$

Regina Moura Almeida

121110599

$$P = \hat{V}_R \cdot \hat{I}_R \cdot \cos(\theta_{V_R} - \theta_{I_R}) + \hat{V}_{cr} \cdot \hat{I}_R \cdot \cos(\theta_{V_{cr}} - \theta_{I_R})$$

$$P = 220 \cdot 1,02 \cos(60^\circ - 23,85^\circ) + 220 \cdot 1,02 \cos(0^\circ - 96,15^\circ)$$

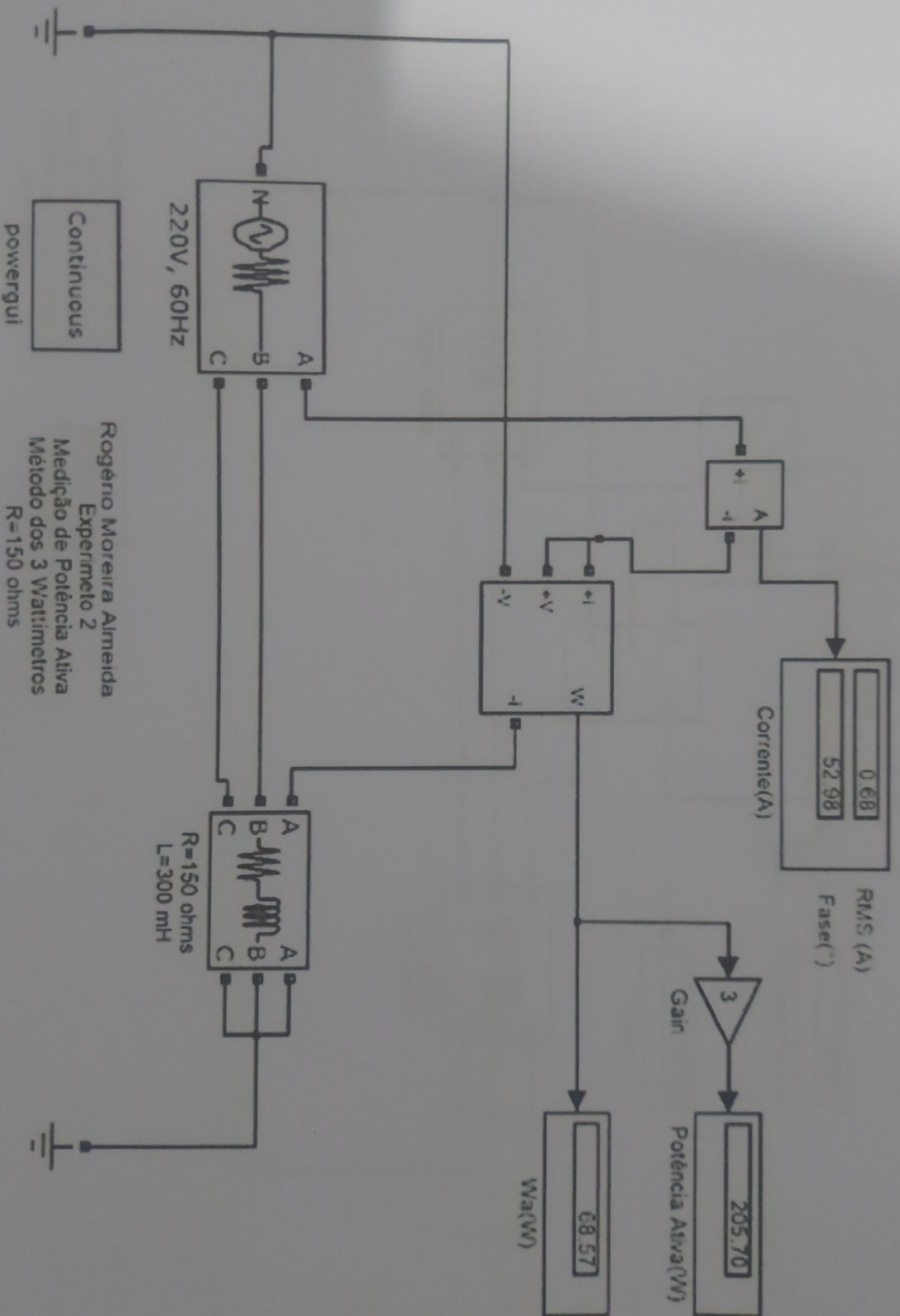
$$P = 181,2 + 29,04$$

$$P = 157,15 \text{ W}$$

$$Q = \sqrt{3} (181,2 + 29,04)$$

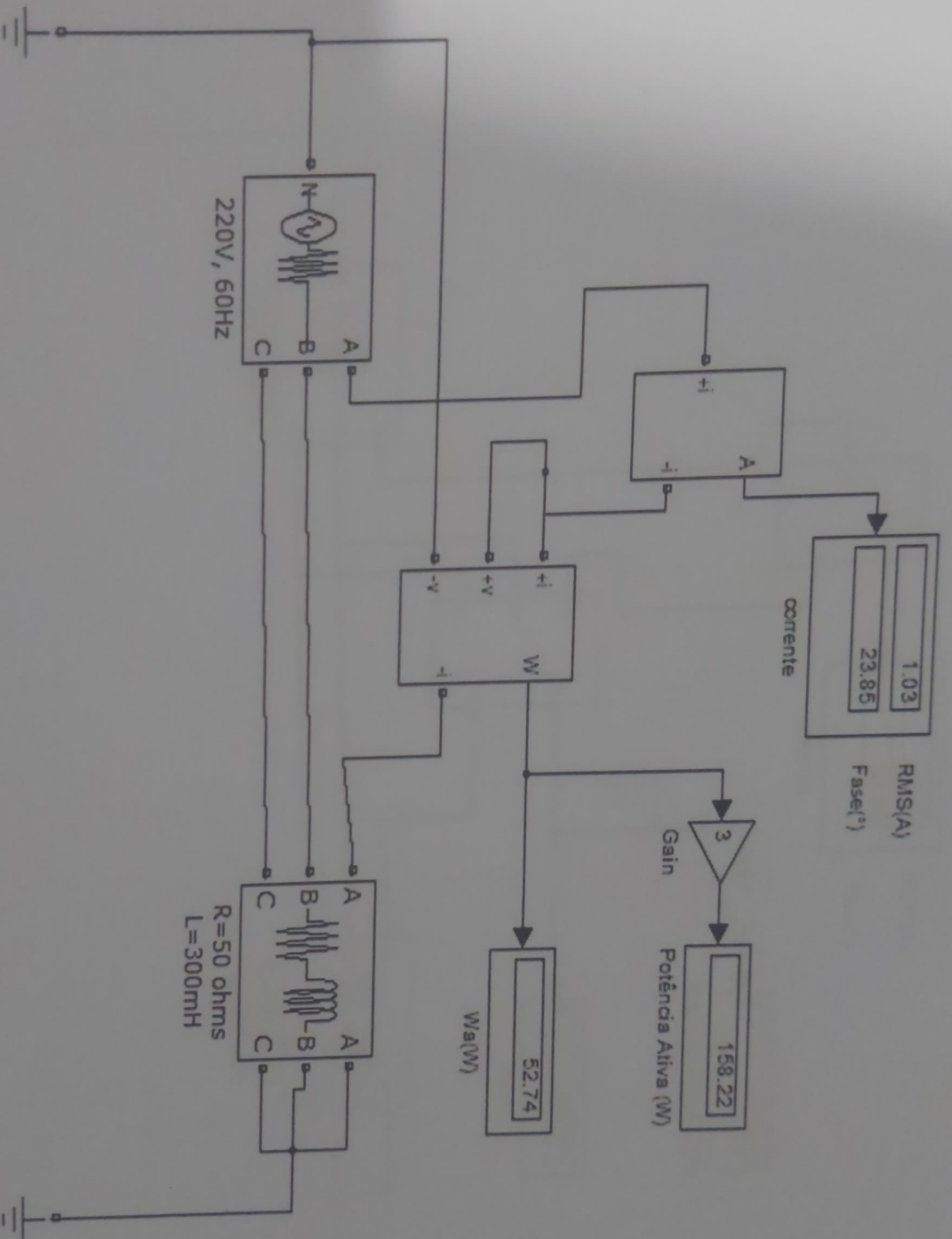
$$Q = 355,49 \text{ var}$$

$$pf = \frac{P}{|S|} = \frac{157,15}{\sqrt{(157,15)^2 + (355,49)^2}} = 0,40 \text{ at}$$



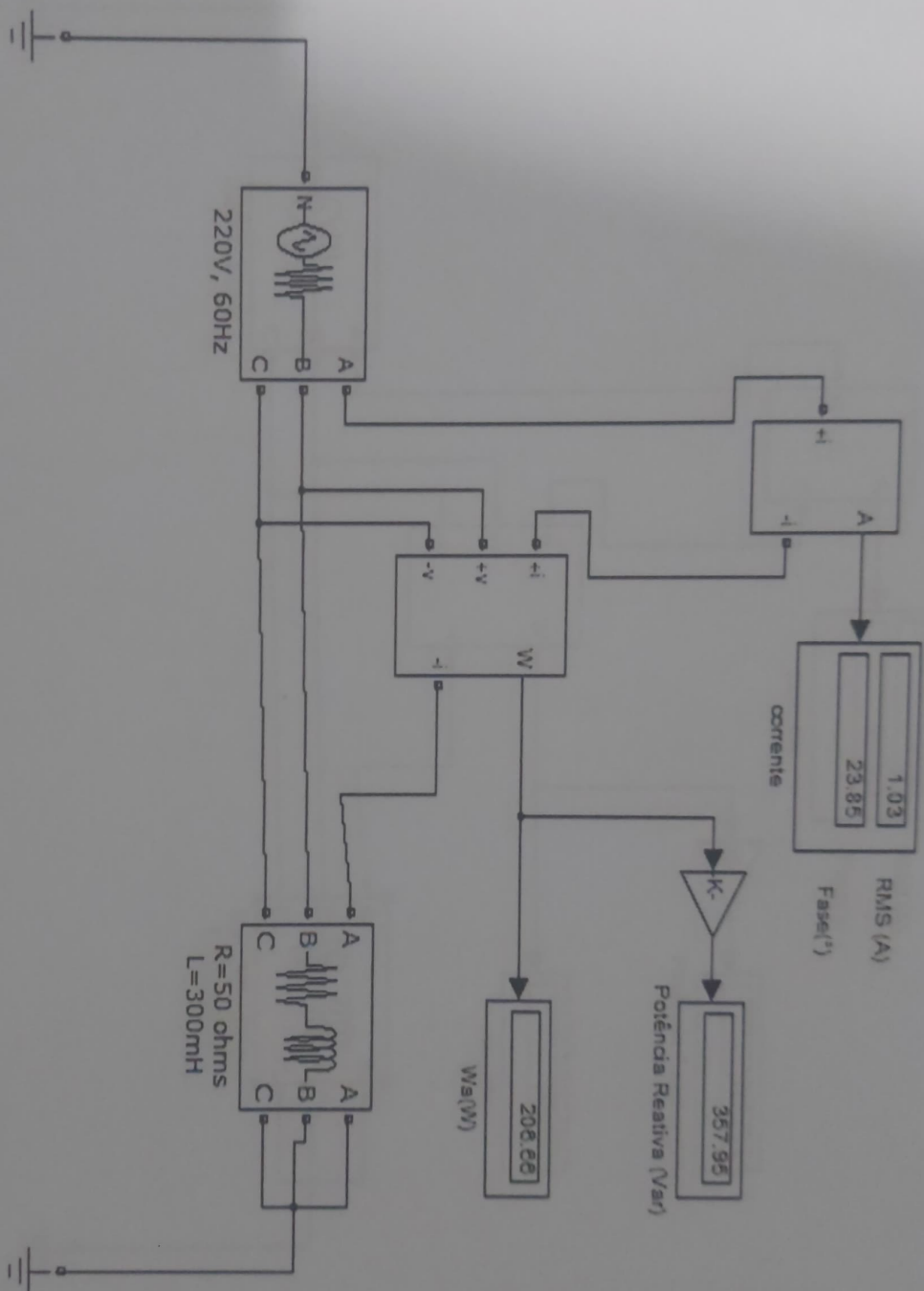
Continuous
powergui

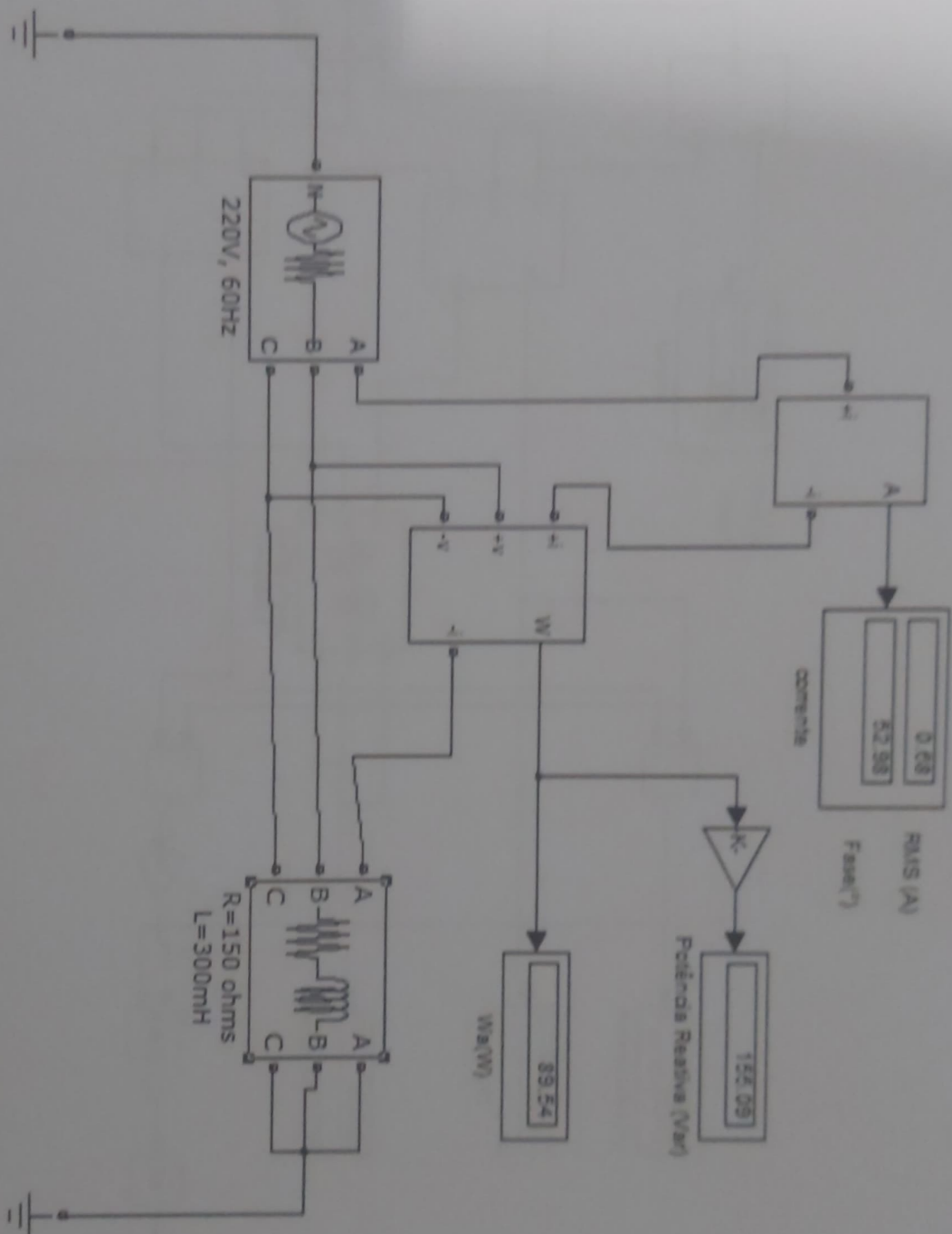
Rogério Moreira Almeida
Experimento 2
Medição de Potência Ativa
Método dos 3 Wattímetros
R=150 ohms



Rogério Moreira Almeida
 Experimento 2
 Medição de Potência Ativa
 Método dos 3 Wattímetros
 $R=50\ \Omega$

Continuous
 powergui





Rogério Moreira Almeida

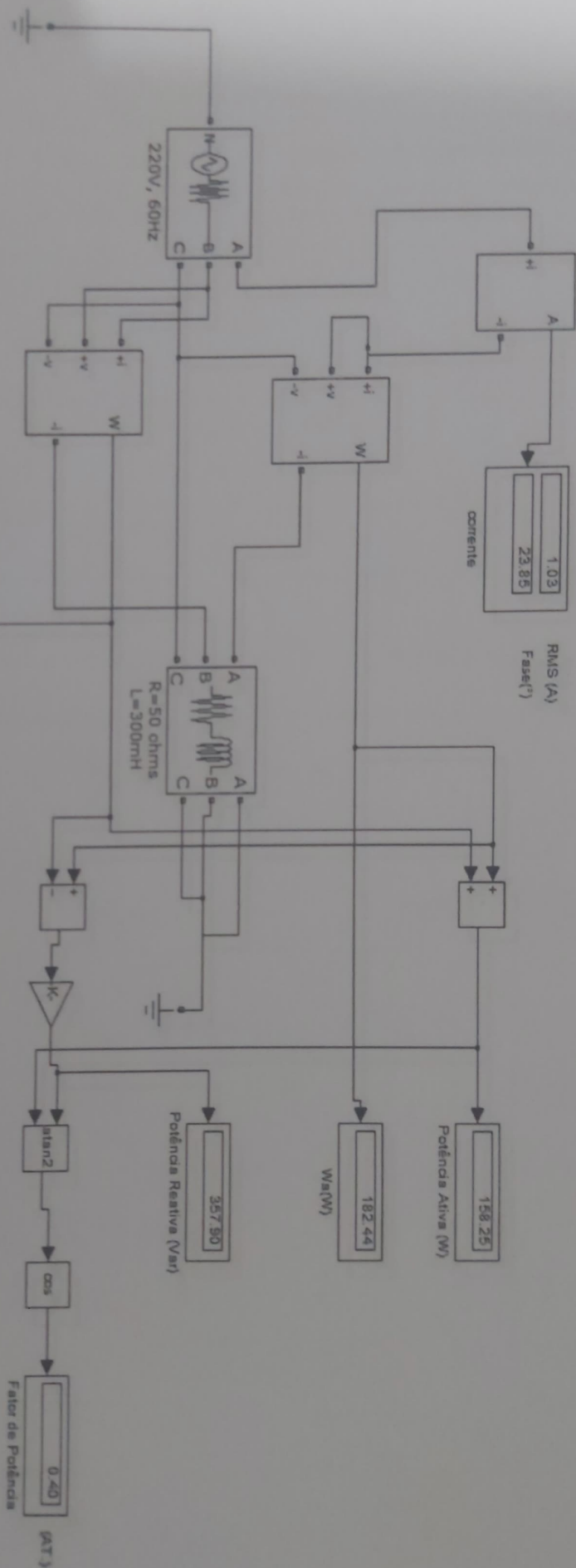
Experimento 2

Determinação de Potência Reativa

Método dos 3 Wattímetros

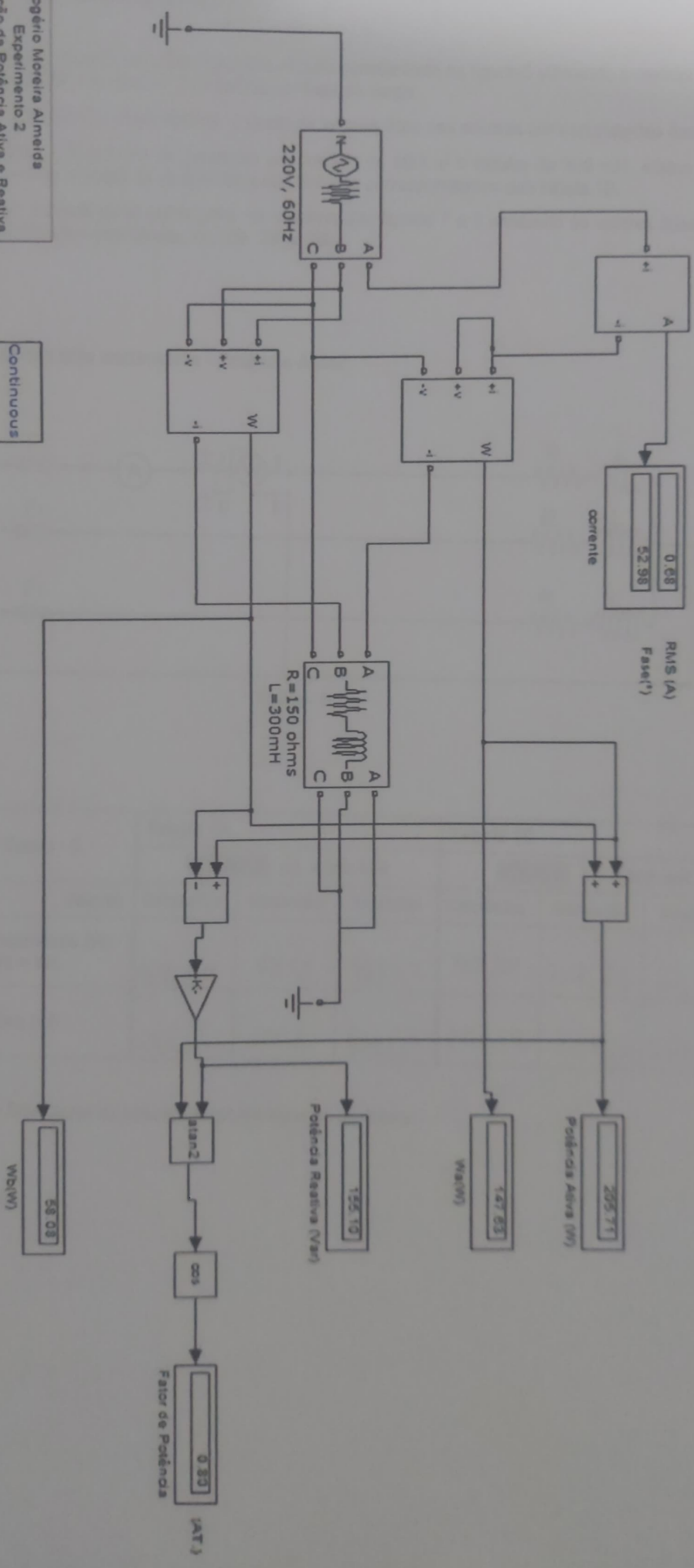
R=150 ohms

Continuous
powergui



Rogério Moreira Almeida
 Experimento 2
 Determinação da Potência Ativa e Reativa
 Método dos 2 Wattímetros
 $R=150\text{ ohms}$

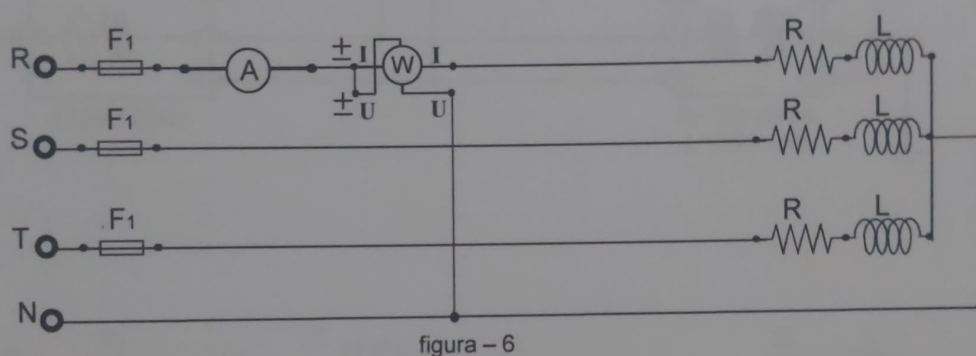
Continuous
 powergui



5. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- 1) Utilizando o material fornecido monte o circuito apresentado na figura-6 utilizando o resistor de 150Ω . e o indutor de 300 mH como a impedância por fase da carga;
- 2) Efetue a leitura dos instrumentos e anote os valores lidos nas colunas correspondentes das tabela 1A;
- 3) Substitua a impedância da carga por um resistor de 50Ω . e o indutor de 300 mH efetue a leitura dos instrumentos e anote os valores lidos nas colunas correspondentes das tabela 1B;
- 4) Repita o procedimento acima para os circuitos das figuras 7 e 8 anotando as valores lidos nas colunas correspondentes das tabelas 2A, 2B, 3A e 3B.

5.1 Método dos três wattímetros - Potência Ativa:



Circuito da figura - 6	Tabela 1A			Tabela 1B		
	$R = 150\Omega$ e $L = 300\text{ mH}$			$R = 50\Omega$ e $L = 300\text{ mH}$		
Valores	Calculados	Simulação*	Medições	Calculados	Simulação	Medições
Leitura dos Wattímetros (W) $W_R = W_S = W_T$	68,97	68,57	80	52,38	52,74	70
Potência Ativa (W)	206,93	205,7	240	157,14	158,22	210

Esta página deve fazer parte do trabalho a ser entregue ao professor

5.2 Método dos três wattímetros - Potência Reativa:

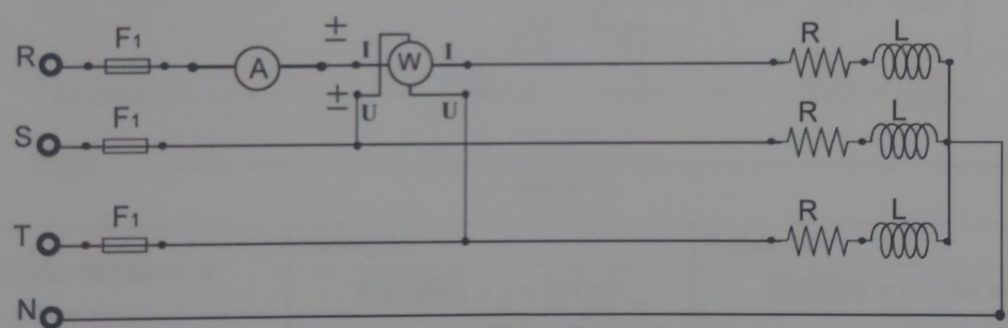
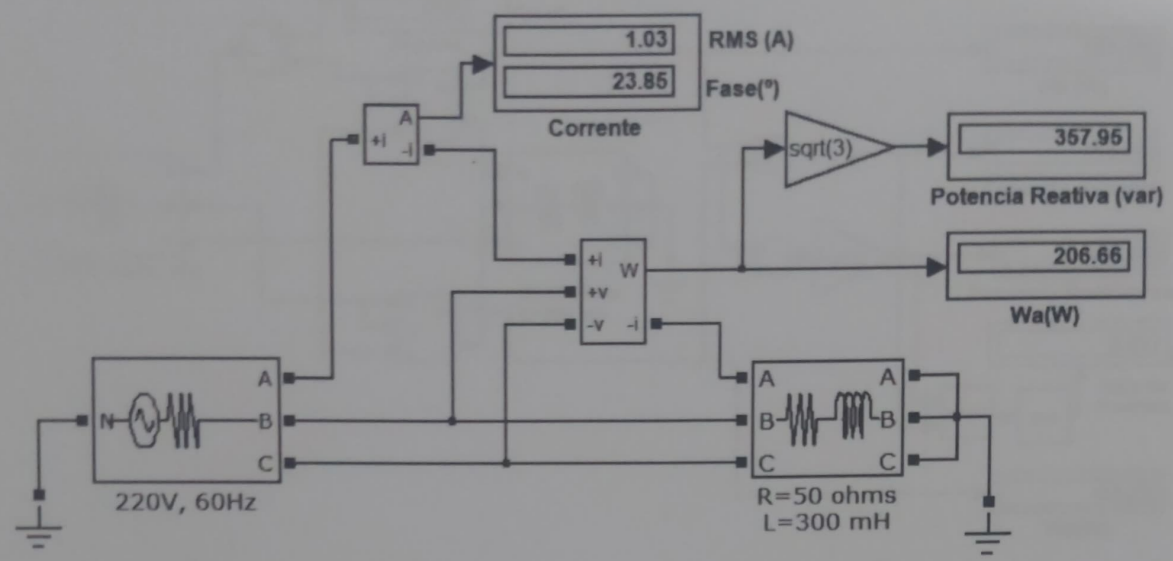


figura - 7

Circuito da figura - 7	Tabela 2A			Tabela 2B		
	R = 150 Ω e L = 300 mH			R = 50 Ω e L = 300 mH		
Valores	Calculados	Simulação	Medições	Calculados	Simulação	Medições
Leitura dos Wattímetros (W) $W_R = W_S = W_T$	90,03	89,54	80	205,24	206,66	178
Potência Reativa (V·A)	155,94	155,09	138,56	355,48	357,95	308,30

Obs: Esta página deve fazer parte do trabalho a ser entregue ao professor

5.3 Método dos dois wattímetros - Potência Ativa e Reativa (cargas equilibradas):

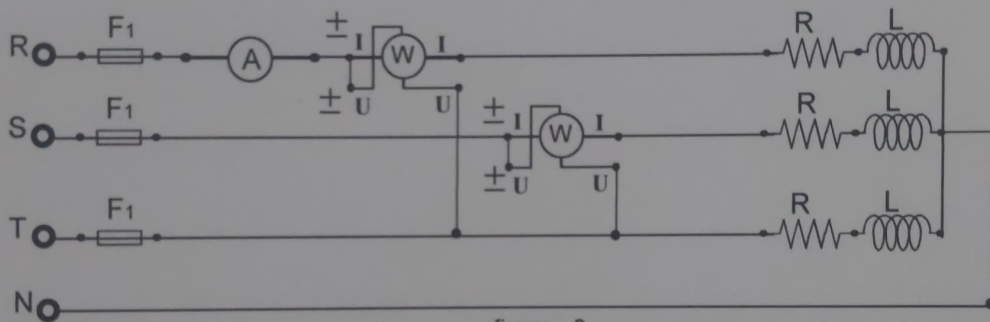
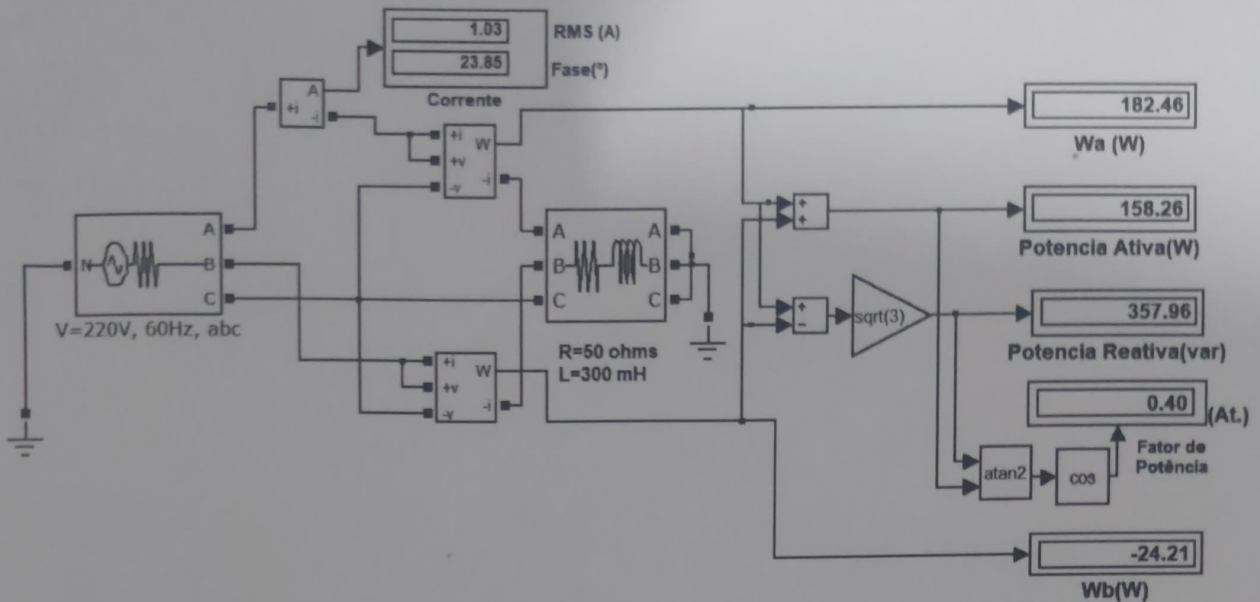


figura - 8

Circuito da figura - 8		Tabela 3A			Tabela 3B		
		$R = 150\ \Omega$ e $L = 300\text{ mH}$			$R = 50\ \Omega$ e $L = 300\text{ mH}$		
Valores		Calculados	Simulação	Medições	Calculados	Simulação	Medições
Leitura dos Wattímetros (W)	W_R	148,48	147,63	139	181,20	182,44	170
	W_S	58,45	58,08	62	-24,04	-24,19	-28
Potência Ativa (W)		206,93	205,71	201,00	157,15	158,25	142
Potência Reativa (V·A)		155,94	155,10	133,37	355,49	357,90	342,95
Fator de Potência		0,80ind	0,80ind	0,70ind	0,40ind	0,40ind	0,38ind

Obs: Esta página deve fazer parte do trabalho a ser entregue ao professor

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS / QUESTIONÁRIO

O questionário será entregue pelo professor/monitor após a realização das montagens e medições.

7. BIBLIOGRAFIA

- Epaminondas A. N. & Outros *Apostila do Laboratório de Sistemas*, DEE/CCT/UFCG, 2003.
 Nilsson, J.W. & Riedel, S.A. *Circuitos Elétricos*, LTC Editora S.A., Rio de Janeiro, 1996.
 Edminister, J. A. *Circuitos Elétricos*. Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda., Rio de Janeiro, 1971.
 William D. Stevenson Jr., *Elementos de análise de sistemas de potência*
 Robba, Ernesto João, *Introdução a sistemas elétricos de potência: Componentes Simétricos*

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica
Laboratório de Sistemas Elétricos 2023.2(c)

Aluno(a): Sergio Morais Almeida Turma: 03B Matrícula: 12110599

Exp_02 – QUESTIONÁRIO / Análise dos Resultados

Potência em Circuitos Trifásicos Equilibrados

- 1) A partir do valor eficaz da tensão da fonte e do valor eficaz da corrente de linha para o circuito com $R=50\Omega$. Determine a impedância por fase da carga a partir dos resultados da simulação digital no método do três wattímetros para a Potência Reativa. Apresente seu resultado na forma cartesiana e considere a tensão na fase S como referência
- 2) Comente os resultados obtidos com a utilização dos métodos dos dois e três wattímetros, avaliando as vantagens da utilização de cada método.
- 3) Justifique por que ao se utilizar o método dos dois wattímetros pode-se obter um valor negativo para a leitura em um deles.
- 4) Qual o procedimento experimental que deve ser adotado no caso de leitura negativa de um wattímetro?
- 5) Apresente sua análise dos resultados observados no experimento.

Obs.: O TRABALHO contendo:

Capa Padronizada+Preparação+Tabelas+Diagramas da Simulação Digital+Questionário+Respostas
Deve ser encaminhado ao endereço eletrônico da disciplina através de um NOVO email até às 19:59 horas de amanhã.

1º Para o método das tens. wattímetros + cálculo de potência Reativa.
simulação digital

$R = 50 \Omega$

Tensão no fase 5 como referência

$Q = \sqrt{3} \cdot (W_s)$, dado que as cargas estão equilibradas

R: R
S: S
T: C

$$\hat{I}_A = 1,03 \angle 23,85 - 120 = 1,02 \angle -96,15^\circ$$

$$\hat{Z}_L = 50 + j(2\pi \cdot 60) \cdot 300 \cdot 10^{-3}$$

$$\hat{Z}_{BL} = 50 + j113,10 \Omega = 123,66 \angle 66,15^\circ \text{ n/fase}$$

$$\hat{V}_A = \hat{Z}_{BL} \hat{I}_A = 126,13 \angle -30^\circ \text{ V}$$

$$P = 3 \cdot [\hat{I}_A \cdot \hat{V}_A \cdot \cos(-30 - (-96,15))]$$

$$P = 3 [128,65 \cdot \cos(66,15)]$$

$$P = 3 \cdot 52,02 \text{ W}$$

$$P = 156,06 \text{ W}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot [\hat{V}_T \cdot \hat{I}_0 \cdot \cos(\theta_{\pi} - \theta_{i_0})]$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot [218,75 \cdot 1,02 \cdot \cos(-120 + 96,15)]$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot [218,75 \cdot 1,02 \cdot \cos(-23,84)]$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot [204,09]$$

$$Q = 353,49 \text{ Var}$$

$$S = 156,06 + j353,49 \text{ VA}$$

$$\hat{Z} = \frac{V^2}{S} = 123,37 \angle -66,18^\circ$$

$$\epsilon = 123,37 \angle 66,18^\circ \text{ n/fase}$$

(2°)

Para medir potência precisamos de $(n-1)$ wattímetros em relação a fase. deste modo temos a utilização do método dos 3 wattímetros, em circuitos trifásicos quadrifilares e o método dos 2 wattímetros em circuitos trifásicos.

O método dos três wattímetros funciona independente da carga estar em equilíbrio, sendo indicado em sistemas com alta variação de fator de potência, tendo maior precisão de sua leitura, pois cada wattímetro é colocado em uma fase, sua desvantagem é o custo do adquire de mais um wattímetro.

No método dos dois wattímetros é feito utilizando um wattímetro em cada fase, ficando a terceira fase como referência, nesse método a leitura exata depende um dos wattímetros, não tem significado físico, pois o engenheiro, sendo necessário a soma das duas leituras.

(3°)

A leitura de um wattímetro é dada por $w = |\tilde{V}_L| \cdot |\hat{I}_L| \cdot \cos(30^\circ + \theta)$ mas sabemos uma leitura negativa $\cos(30^\circ + \theta)$ deve ser negativo e isso pode ocorrer quando θ varia entre 60° e 240° , ou seja se o fator de potência for menor que 0,5, o que implicaria em uma leitura negativa no wattímetro.

(4°)

Basta inverter a polaridade da bobina de tensão, ou de corrente, porém em ambiente real, jamais opte por inverter a bobina de corrente, pois haverá uma interrupção no fornecimento de uma das fases, ocasionando o desligamento de todos os equipamentos trifásicos, outro perigo é o risco de funcionamento ou até explosão devido as elevadas grandezas do sistema. Deste modo deve inverter a bobina de tensão.

5°

Os resultados obtidos foram dentro do esperado, havendo pequenas variações entre os valores experimentais em comparação com as simulações e os cálculos teóricos, devido a precisão dos instrumentos medidos, as impedâncias inerentes ao sistema, porém o comportamento físico do sistema não foram alterados, o que nos permitiu a verificação dos conceitos teóricos descritos.