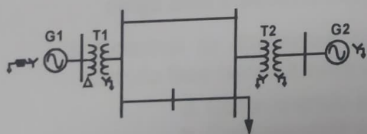
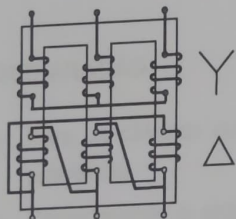
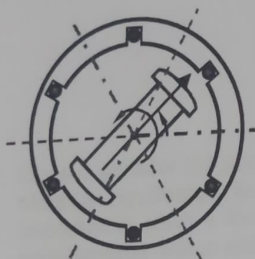
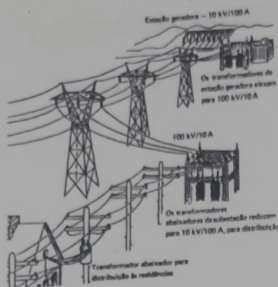




UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA
GRUPO DE SISTEMAS ELÉTRICOS



Exp_03

FALTAS

EM

CIRCUITOS

TRIFÁSICOS

ALUNO(A): Gregório Moreira Almeida TURMA: 03-B

Espaço reservado ao Professor/Monitor:

PREPARAÇÃO/Simulação Digital:

Visto:

DATA: 18/04/24

MEDIÇÃO/Análise dos Resultados:

Visto:

DATA: 09/05/24

FALTAS EM SISTEMAS DE POTÊNCIA

1. OBJETIVO

Avaliar o impacto de faltas trifásicas e faltas fase-terra em Sistemas Elétricos de Potência.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Considere o sistema de potência hipotético apresentado na figura abaixo.

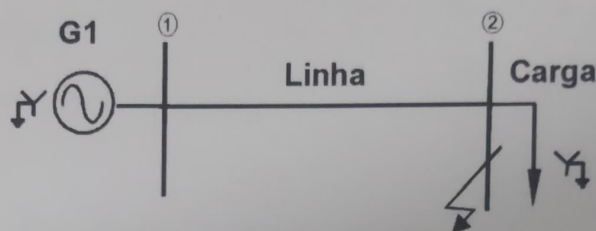


Figura 1 – Sistema de Potência Hipotético

Onde o gerador G1 possui reatância série nula e tensão nominal de 220V, 60Hz, e alimenta uma carga trifásica equilibrada puramente resistiva de $100\Omega/\text{fase}$ através de uma linha de transmissão cuja impedância série é formada por uma resistência de $50\Omega/\text{fase}$ e uma indutância de $300\text{ mH}/\text{fase}$. O acoplamento mútuo entre as fases da linha de transmissão é desprezado.

3. PREPARAÇÃO

- 1- Para os cálculos que se seguem considere que a sequência de fases é RST e adote \hat{V}_{ST} como referência;
- 2- Considerando o sistema da figura 1, determine as **correntes de linha** e as **tensões de fase** na carga para o sistema íntegro e a corrente de curto-circuito para uma falta trifásica na barra 2.
- 3- Construa os diagramas de sequência para o sistema da figura 1 e determine a corrente de curto-circuito fase-terra na barra 2 para as seguintes condições:
 - a. Considerando a carga com o centro-estrela solidamente aterrado;
 - b. Considerando a carga com o centro-estrela isolado;
 - c. Considerando que não há carga no sistema (sistema em vazio).
- 4- Ainda, considerando a falta fase-terra para cada uma das condições apresentadas no item anterior, determine:
 - a. As tensões de fase na barra 2;
 - b. As correntes na linha de transmissão;
- 5- Determine a tensão no centro-estrela da carga para o caso da falta fase-terra na barra 2 com o centro-estrela da carga isolado.
- 6- Anote os resultados nas tabelas correspondentes que se seguem.

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.

3. bifasiação

1. considerando a sequência RST, adotando \hat{V}_T como referência

dados

gerador: 220V 60Hz

carga: 100n / fase

$Z_{linha} = (50 + j113,09) \Omega / fase$

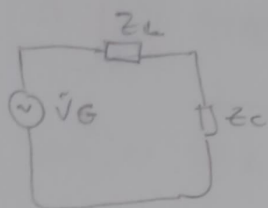
$$X_L = \omega L = 60 \cdot 2\pi \cdot 0,3 = 113,09 \Omega$$

tensão por fase do gerador

$$\hat{V}_R = 127 \angle 90^\circ \text{ V}$$

$$\hat{V}_S = 127 \angle -30^\circ \text{ V}$$

$$\hat{V}_T = 127 \angle 210^\circ \text{ V}$$



$$\hat{I}_R = \frac{\hat{V}_R}{(Z_L + Z_C)} = \frac{127 \angle 90^\circ}{50 + j113,09} = \hat{I}_R = 0,68 \angle 52,98^\circ \text{ A}$$

$$\hat{I}_R = 0,68 \angle -67,02^\circ \text{ A}$$

$$\hat{I}_T = 0,68 \angle 172,98^\circ \text{ A}$$

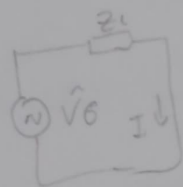
* Tensão de fase na carga:

$$\hat{V}_R = Z_C \cdot \hat{I}_R = 100 \cdot 0,68 \angle 52,98^\circ = 67,60 \angle 52,98^\circ \text{ V}$$

$$\hat{V}_T = 67,60 \angle 172,98^\circ \text{ V}$$

$$\hat{V}_S = 67,60 \angle -67,02^\circ \text{ V}$$

* A corrente de curto-circuito para uma falta trifásica na barra 2.



$$\hat{I}_R = \frac{\hat{V}_R}{Z_L} = \frac{127 \angle 90^\circ}{50 + j113,09} = 1,03 \angle -96,14^\circ \text{ A}$$

$$\hat{I}_S = 1,03 \angle 23,86^\circ \text{ A}$$

$$\hat{I}_T = 1,03 \angle 143,86^\circ \text{ A}$$

fase está em curto-circuitado na carga

$$\text{logo } \hat{V}_R = \hat{V}_S = \hat{V}_T = 0 \text{ V}$$

* A corrente de curto-circuito é o módulo da corrente de linha

$$\hat{I}_{cc} = 2,03 \text{ A}$$

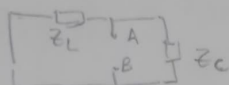
$$\hat{V}_G = \begin{bmatrix} \hat{V} \\ \hat{V} \\ \hat{V} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{V}_R \\ \hat{V}_S \\ \hat{V}_T \end{bmatrix}$$

$$a = 1 \angle 120^\circ$$

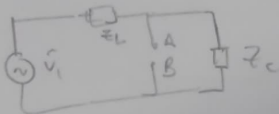
$$a^2 = 1 \angle 240^\circ$$

$$\hat{V}_G \cdot \begin{bmatrix} \hat{V}_0 \\ \hat{V}_1 \\ \hat{V}_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 \angle 120^\circ & 1 \angle 240^\circ \\ 1 & 1 \angle 240^\circ & 1 \angle 120^\circ \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 127 \angle 90^\circ \\ 127 \angle -30^\circ \\ 127 \angle 210^\circ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 127 \angle 90^\circ \\ 0 \end{bmatrix} \text{ V}$$

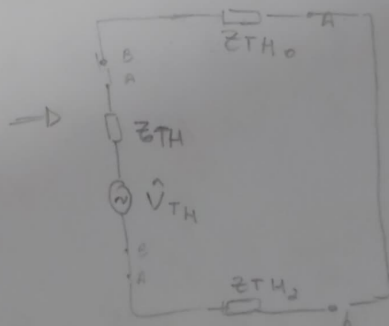
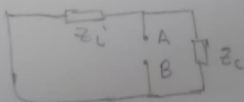
seq (0)



seq (+)



seq (-)



$$\hat{V}_{TH} = \frac{Z_C}{Z_L + Z_C} \cdot V_1 = \frac{100 \cdot 127 \angle 90^\circ}{150 + j113,04} = 67,60 \angle 52,99^\circ \text{ V}$$

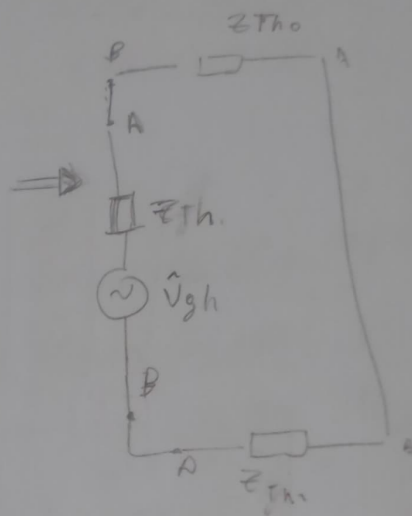
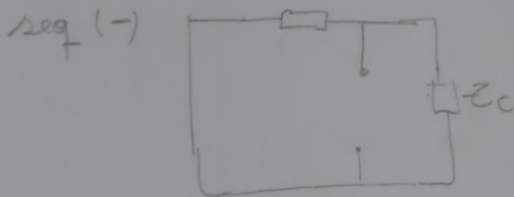
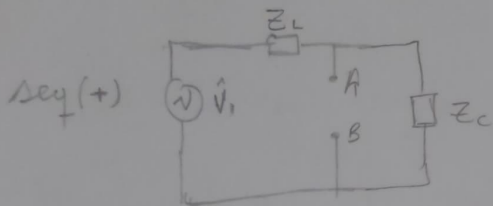
$$Z_{TH0} = Z_{TH1} = Z_{TH2} = Z_C \parallel Z_L = 65,82 \angle 29,18^\circ \Omega$$

$$\hat{I}_{cc} = 3\hat{I} = \frac{3\hat{V}_{TH}}{3Z_{TH}} = \frac{67,60 \angle 52,99^\circ}{65,82 \angle 29,18^\circ} = 1,02 \angle 23,81^\circ \text{ A}$$

3° b

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_0 \\ \hat{V}_1 \\ \hat{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 127 \angle 90^\circ \\ 0 \end{bmatrix} V$$

Teorema os diagramas



$$\hat{V}_{Th} = 67,60 \angle 52,99^\circ V$$

$$Z_{Th0} = Z_C = 123,65 \angle 66,13^\circ \Omega$$

$$Z_{Th1} = Z_{Th2} = 65,82 \angle 29,18^\circ \Omega$$

$$\hat{I}_{cc} = \frac{3 \cdot \hat{V}_{Th}}{2 \cdot Z_{Th} + Z_{Th0}} = 0,84 \angle 5,94^\circ A$$

Rogério Moreira Almeida

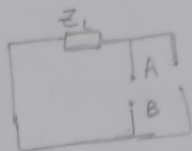
12111 0599.

3.

Sistema em Vazio

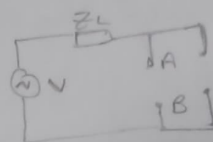
$$\hat{V}_g = \begin{bmatrix} 0 \\ 127 \angle 90^\circ \\ 0 \end{bmatrix} V$$

seq (0)



$$\hat{V}_{TH} = \hat{V}_1 = 127 \angle 90^\circ V$$

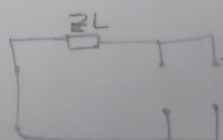
seq (+)



$$Z_{TH0} = Z_{TH1} = Z_{TH2} = Z_L$$

$$\hat{I}_{cc} = 3\hat{I} = \frac{Z}{Z} \cdot \frac{\hat{V}_1}{Z_L}$$

seq (-)



$$\hat{I}_{cc} = 1,02 \angle 23,25^\circ A$$

4.

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_R \\ \hat{V}_S \\ \hat{V}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{V}_0 \\ \hat{V}_1 \\ \hat{V}_2 \end{bmatrix}$$

$$\text{bando} \begin{bmatrix} \hat{V}_0 \\ \hat{V}_1 \\ \hat{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\hat{I}_0 \cdot Z_{TH0} \\ -\hat{I}_1 \cdot Z_{TH1} + V_{TH1} \\ -\hat{I}_2 \cdot Z_{TH2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_R \\ \hat{V}_S \\ \hat{V}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 \angle 240^\circ & 1 \angle 120^\circ \\ 1 & 1 \angle 120^\circ & 1 \angle 240^\circ \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -(0,34 \angle 23,86^\circ) (65,82 \angle 29,13^\circ) \\ -(0,34 \angle 23,86^\circ) (65,82 \angle 29,13^\circ) + 67,6 \angle 90^\circ \\ -(0,34 \angle 23,86^\circ) (65,82 \angle 29,13^\circ) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_R \\ \hat{V}_S \\ \hat{V}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 67,60 \angle -67,02^\circ \\ 67,60 \angle 172,99^\circ \end{bmatrix} V$$

• falta centro estrela

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_0 \\ \hat{V}_1 \\ \hat{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{I_{cc} Z_L}{3} \\ -\frac{I_{cc} Z_{Th}}{3} \\ -\frac{Z_{Th} I_{cc}}{3} \end{bmatrix} + \hat{V}_{Th} = \begin{bmatrix} 34,62 \angle -107,91^\circ \\ 50,38 \angle 59,48^\circ \\ 18,43 \angle -144,88^\circ \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_R \\ \hat{V}_S \\ \hat{V}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 34,62 \angle -107,91^\circ \\ 50,38 \angle 59,48^\circ \\ 18,43 \angle -144,88^\circ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 90,02 \angle 69,97^\circ \\ 64,23 \angle -167,32^\circ \end{bmatrix} V$$

• Sistema em vazio

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_R \\ \hat{V}_S \\ \hat{V}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -(0,34 \angle 23,85^\circ) \cdot (123,65 \angle 66,15^\circ) \\ -(0,34 \angle 23,85^\circ) \cdot (123,65 \angle 66,15^\circ + 127 \angle 90^\circ) \\ -(0,34 \angle 23,85^\circ) \cdot (123,65 \angle 66,15^\circ) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_R \\ \hat{V}_S \\ \hat{V}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 127 \angle -30^\circ \\ 127 \angle -150^\circ \end{bmatrix} V$$

4.º b)

↓ gerador ↓ carga

$$\begin{bmatrix} \hat{E}_R \\ \hat{I}_S \\ \hat{I}_T \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} \hat{V}_R \\ \hat{V}_S \\ \hat{V}_T \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{V}_R \\ \hat{V}_S \\ \hat{V}_T \end{bmatrix} \right) \cdot \frac{1}{Z_L} =$$

$$= \left(\begin{bmatrix} 127 \angle 90^\circ \\ 127 \angle -30^\circ \\ 127 \angle -150^\circ \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 67,60 \angle -67,00^\circ \\ 67,60 \angle 122,99^\circ \end{bmatrix} \right) \cdot \frac{1}{123,65 \angle 66,15^\circ} = \begin{bmatrix} 1,02 \angle 29,25^\circ \\ 0,68 \angle -67,10^\circ \\ 0,68 \angle 127,73^\circ \end{bmatrix}$$

Rogério Moreira Almeida. 121110599

centro isolado

$$\begin{bmatrix} \hat{I}_R \\ \hat{I}_0 \\ \hat{I}_T \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} 127 \angle 90^\circ \\ 127 \angle -30^\circ \\ 127 \angle 210^\circ \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 90,02 \angle -69,97^\circ \\ 64,23 \angle -167,35^\circ \end{bmatrix} \right) \cdot \frac{1}{123,65 \angle 66,15^\circ} = \begin{bmatrix} 1,03 \angle 23,89^\circ \\ 0,66 \angle -52,29^\circ \\ 0,56 \angle 160,09^\circ \end{bmatrix} \text{ A}$$

Sistema em Vazio

$$\begin{bmatrix} \hat{I}_R \\ \hat{I}_S \\ \hat{I}_T \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} 127 \angle 90^\circ \\ 127 \angle -30^\circ \\ 127 \angle 210^\circ \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 127 \angle -30^\circ \\ 127 \angle 210^\circ \end{bmatrix} \right) \cdot \frac{1}{123,65 \angle 66,15^\circ} = \begin{bmatrix} 1,03 \angle 23,25^\circ \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ A}$$

5°

$$\hat{V}_{SN} = \hat{V}_S - \hat{V}_N$$

$$\hat{V}_N = \hat{V}_S - Z_0 I_0$$

$$\hat{V}_N = (90,02 \angle -69,04^\circ) - 100 (0,66 \angle -51,24^\circ)$$

$$\hat{V}_N = 34,73 \angle -107,37^\circ \text{ V}$$

4. SIMULAÇÃO DIGITAL

1 - No ambiente do "Matlab®/ Simulink" determine as **correntes de linha** e as **tensões de fase** na carga do circuito apresentado na figura 1 para as seguintes condições:

- Para o sistema **ÍNTEGRO**;
- Falta trifásica na Barra 2;
- Falta fase-terra na Barra 2 considerando a carga com o centro-estrela solidamente aterrado. Determine a corrente da falta;
- Falta fase-terra na Barra 2 considerando a carga com o centro-estrela isolado. Determine a corrente da falta e a tensão do centro-estrela da carga para a terra;
- Falta fase-terra na Barra 2 considerando que não há carga no sistema (sistema em vazio). Determine a corrente da falta;

OBS.: Considere que o gerador possui uma resistência interna de $R=0,001 \Omega$. Resolva o circuito para o intervalo de tempo de 0,0 a 0,1s utilizando o método de integração numérica **ODE23t (mod. stiff/Trapezoidal)** com tolerância relativa de $1e-5$.

2 - Anote os resultados obtidos na simulação nas tabelas correspondentes.

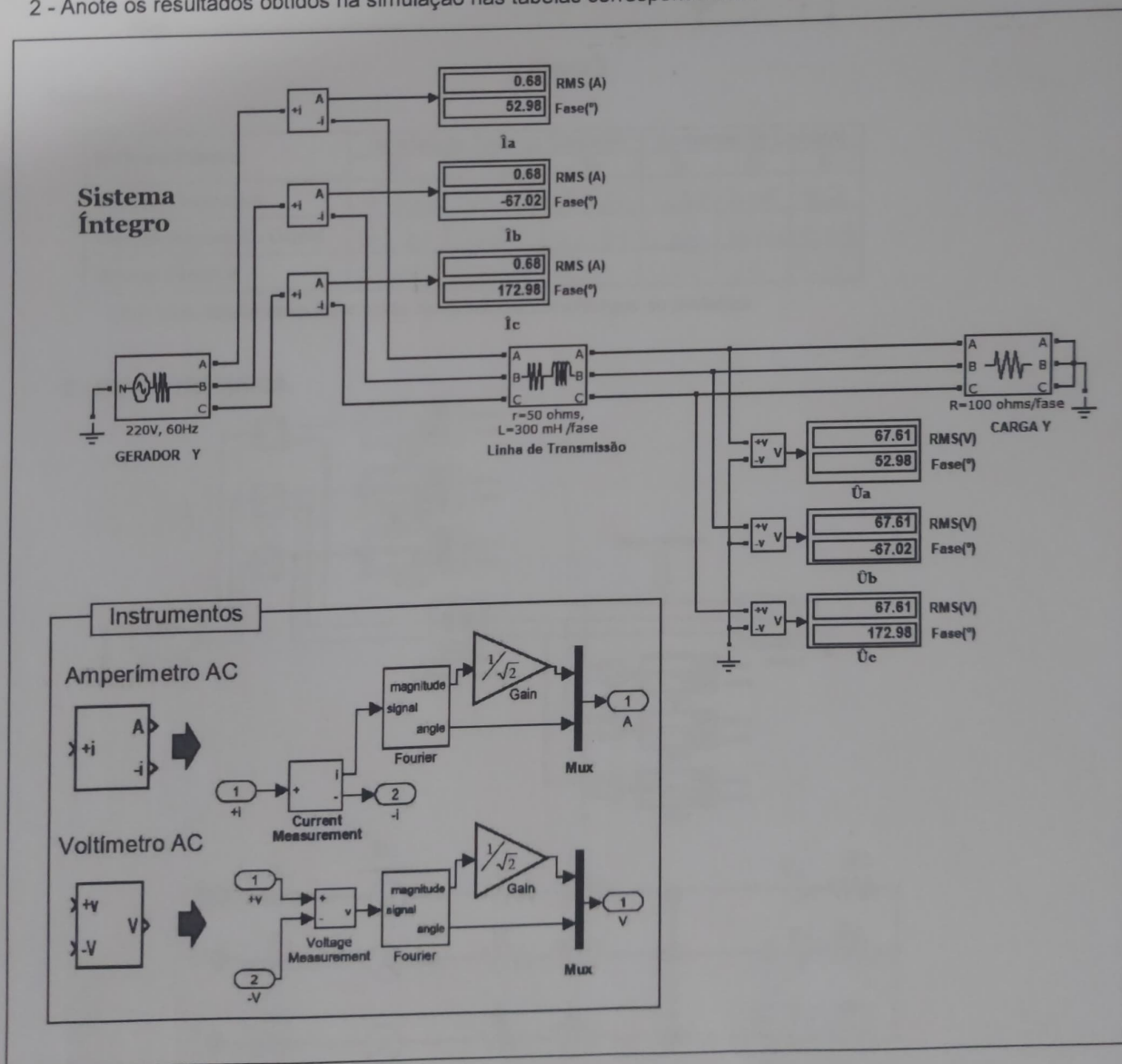


Figura 2

5. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1- SISTEMA ÍNTEGRO

Utilizando o material fornecido monte o circuito da figura 1 conectando os instrumentos e elementos do circuito conforme a figura 3 abaixo.

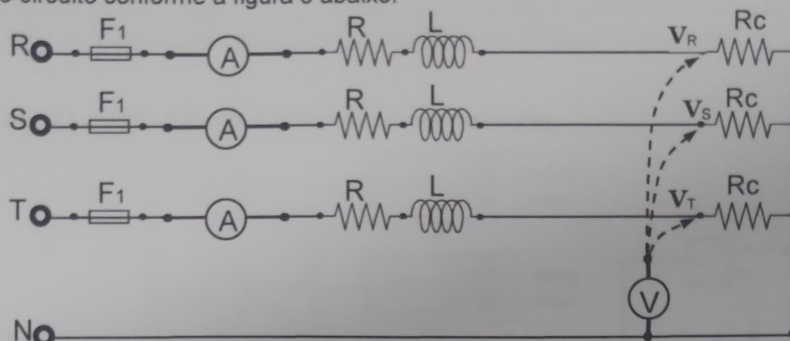


Figura 3

Tabela-1:

Sistema Íntegro	Tensões de Fase na Carga(V)			Correntes de Linha(A)		
	V_R	V_S	V_T	I_R	I_S	I_T
Valores Calculados	67,60	67,60	67,60	0,68	0,68	0,68
Valores Simulação Digital	67,61	67,61	67,61	0,68	0,68	0,68
Valores Medidos	60,	60	60	0,57	0,5	0,57

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

2 - FALTA TRIFÁSICA.

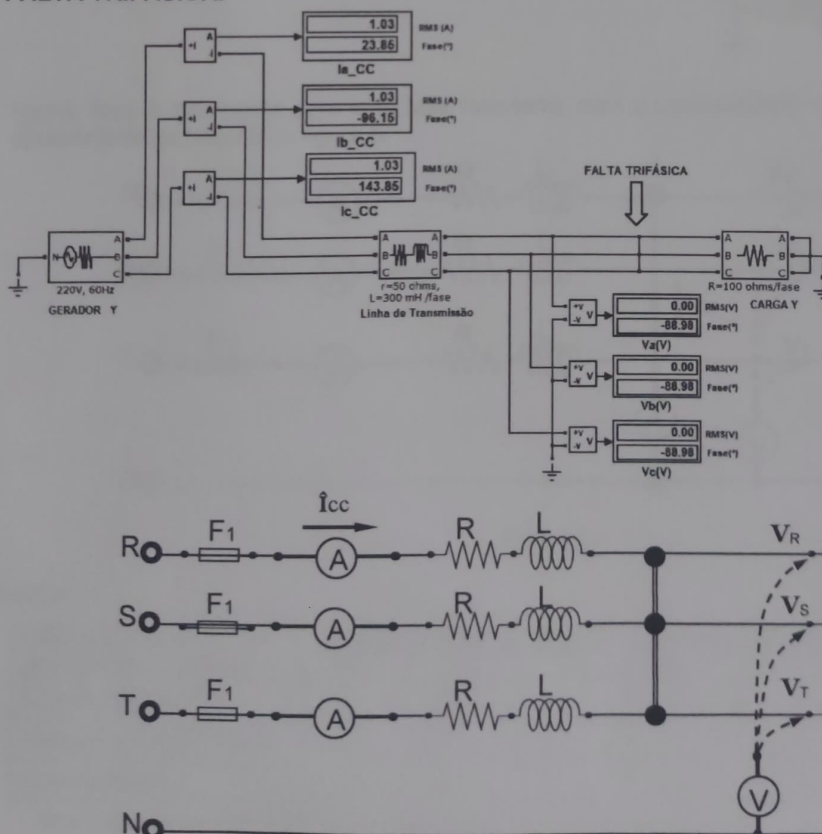


Figura 4

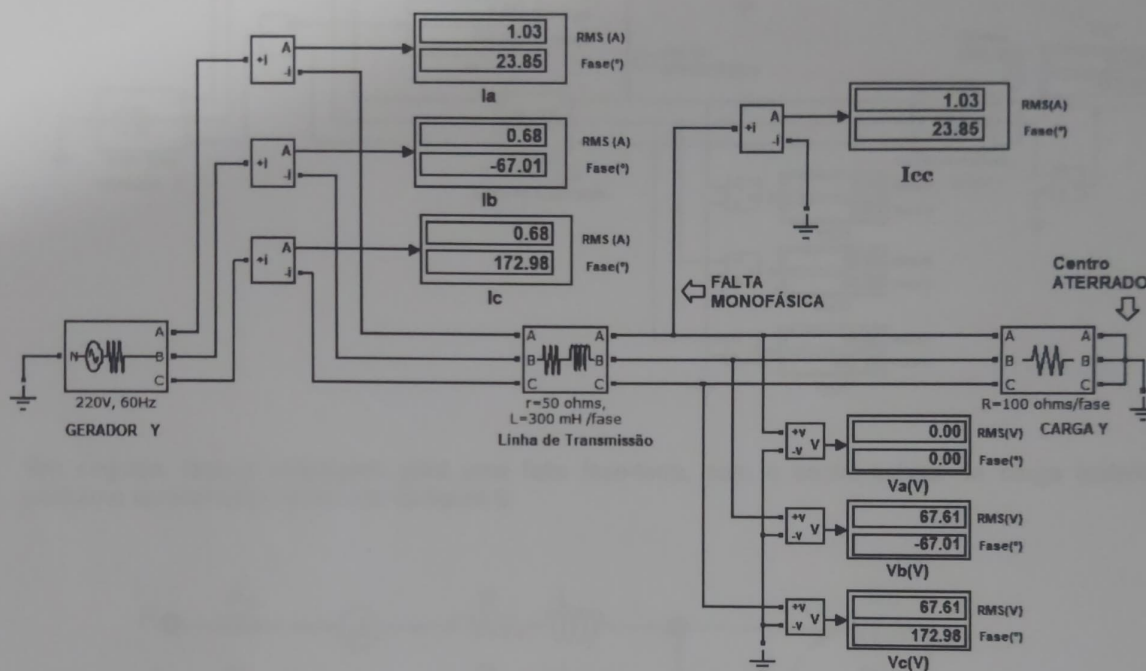
Tabela-2:

Falta Trifásica	Tensões de Fase na Carga(V)			Correntes de Linha(A)			I _{cc} (A)
	V _R	V _S	V _T	I _R	I _S	I _T	
Valores Calculados	0	0	0	1,03	1,03	1,03	1,03
Valores Simulação Digital	0	0	0	1,03	1,03	1,03	1,03
Valores Medidos	0	0	0	0,85	0,8	0,85	0,83

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

valores corrigidos

3 - FALTA FASE-TERRA (centro da carga aterrado).



Agora, faça a montagem para uma falta fase-terra, com o centro-estrela da carga aterrado, conforme apresentado no circuito da figura 5.

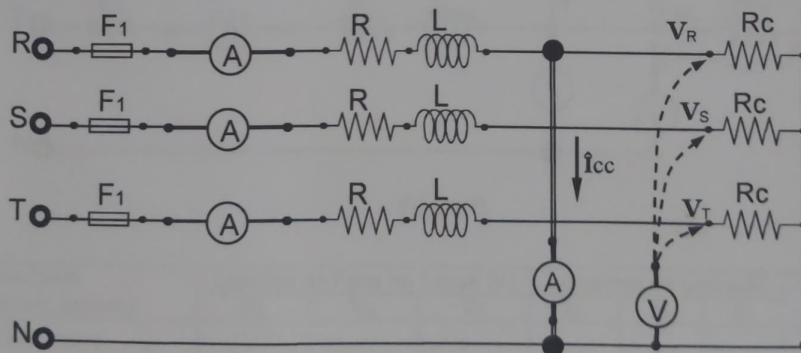


Figura 5

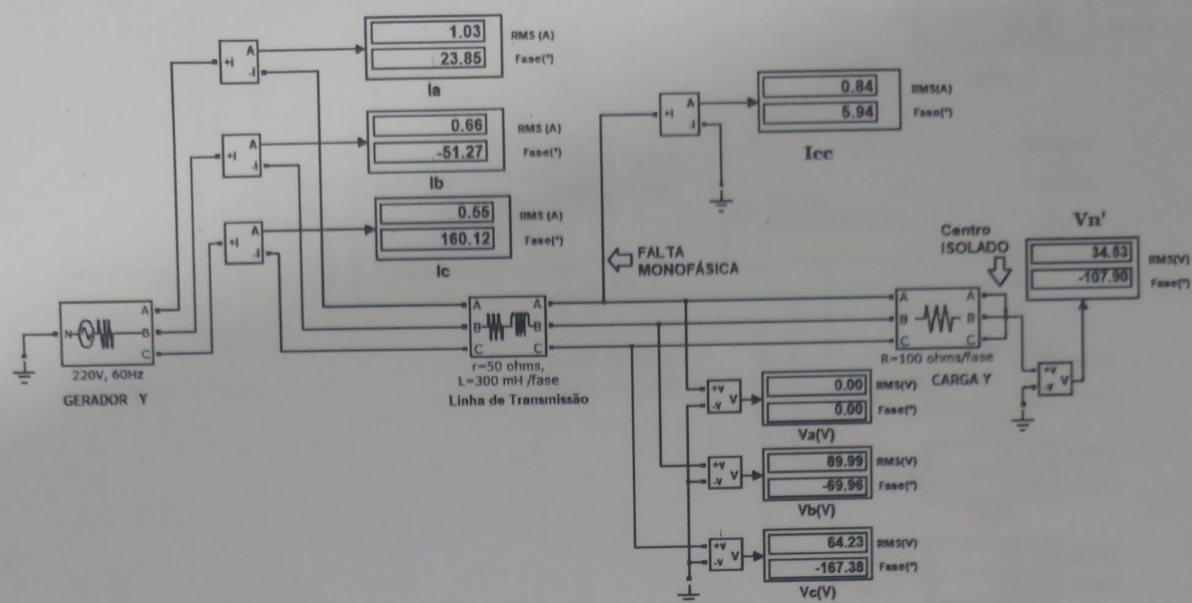
Tabela-3:

Falta Fase-Terra (centro estrela aterrado)	Tensões de Fase na Carga(V)			Correntes de Linha(A)			I _{cc}
	V _R	V _S	V _T	I _R	I _S	I _T	
Valores Calculados	0	67,60	67,60	1,03	0,68	0,68	1,03
Valores Simulação Digital	0	67,61	67,61	1,03	0,68	0,68	1,03
Valores Medidos	0	61	61	0,85	0,6	0,60	0,83

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

110

4 - FALTA FASE-TERRA (centro da carga isolado).



Em seguida, faça a montagem para uma falta fase-terra, com o centro-estrela da carga isolado, conforme apresentado no circuito da figura 6.

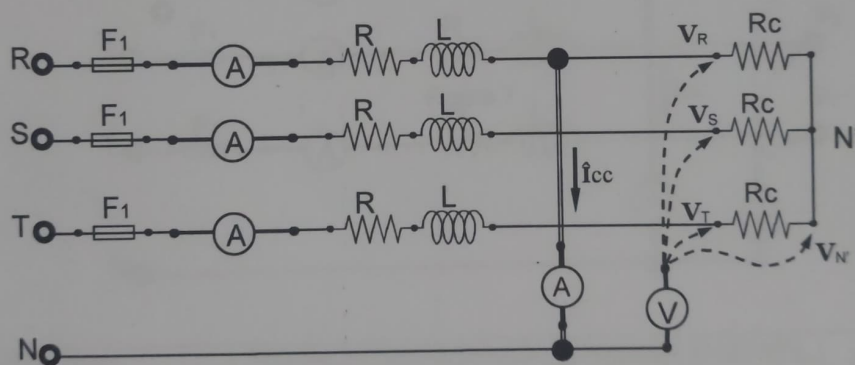


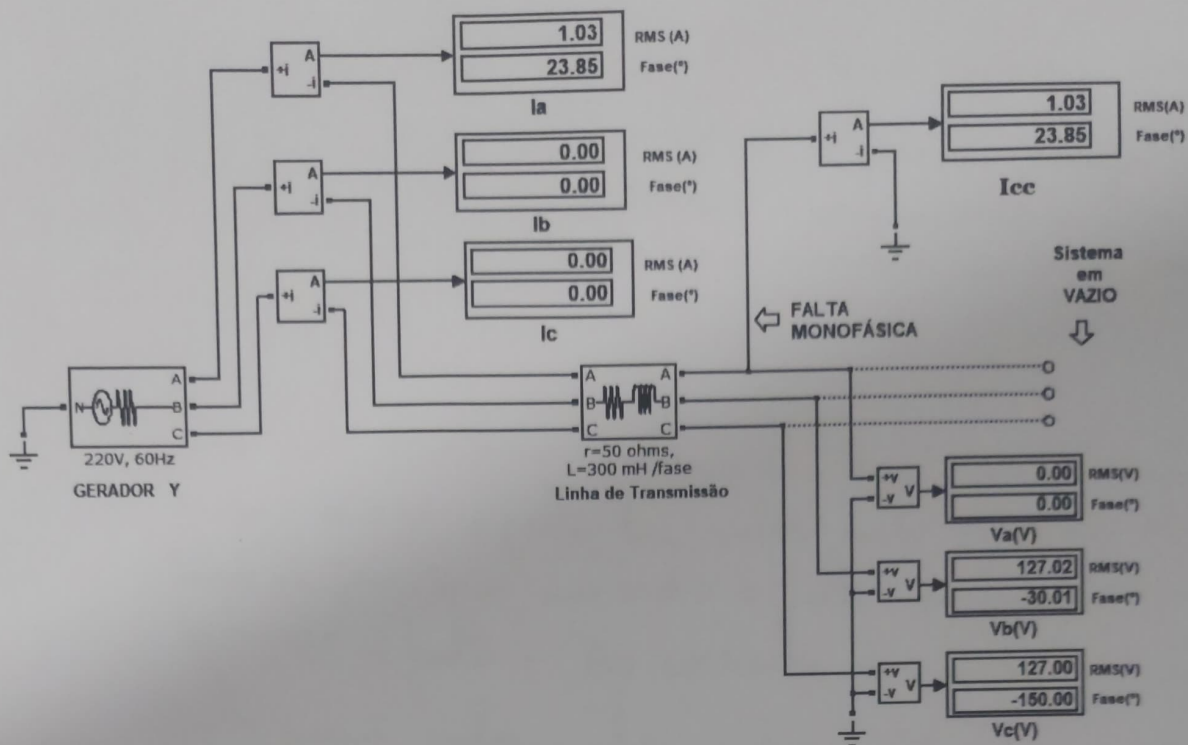
Figura 6

Tabela-4:

Falta Fase-Terra (centro estrela isolado)	Tensões de Fase na Carga (V)			Correntes de Linha(A)			I _{cc} (A)	V _{N'} (V)
	V _R	V _S	V _T	I _R	I _S	I _T		
Valores Calculados	0	90,02	64,23	1,03	0,66	0,56	0,84	34,73
Valores Simulação Digital	0	89,99	64,23	1,03	0,66	0,56	0,84	34,73
Valores Medidos	0	88	60	0,85	0,5	0,50	0,65	30

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

4 - FALTA FASE-TERRA (Sistema em vazio)



Por fim, realize a mesma montagem anterior, porém sem a presença da carga.

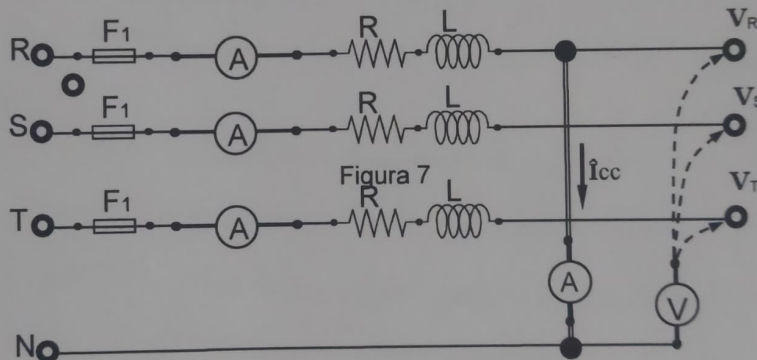


Tabela-5:

Falta Fase-Terra (Sistema sem carga)	Tensões de Fase na Carga(V)			Correntes de Linha(A)			$I_{cc}(A)$
	V_R	V_S	V_T	I_R	I_S	I_T	
Valores Calculados	0	127.02	127.02	1.03	0	0	1.03
Valores Simulação Digital	0	127.02	127.02	1.03	0	0	1.03
Valores Medidos	0	130	130	0.85	0	0	0.83

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*

Aluno(a): _____ Turma: _____ Matrícula: _____

Exp_03 – QUESTIONÁRIO / Análise dos Resultados

Faltas em Sistemas de Potência

- 1) Tomando como referência os resultados da simulação digital para o sistema íntegro. Descreva o comportamento das grandezas: Tensões de fase na carga , Correntes de fase e Corrente de curto-circuito para as faltas:
 - a) Trifásica;
 - b) Fase-Terra para o Sistema em Vazio.
- 2) Comente sobre considerar ou não a corrente de carga antes do defeito no estudo de faltas em sistemas de potência.
- 3) 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.

Questionário

1º

a) Para uma falta trifásica no sistema Integrado, observamos que a ocorrência de uma queda de tensão de fase da carga para valor nulo, as correntes de linha aumentaram e permaneceram em equilíbrio, a corrente de curto circuito foi o médio de três correntes de linha 1,03.

b)

Para falta fase-terra (sistema em V_{3φ}), observamos que a tensão de fase onde ocorre a falta tem valor nulo, a o sumo de tensão dos demais tensões de fase, onde não ocorre a falta, ambas se mantêm em equilíbrio suprimindo a falta. As correntes de linha, onde não ocorre falta possui valor nulo, porém na linha onde ocorre a falta são aumentada, sendo a corrente de curto circuito igual a corrente de linha onde ocorre a falta.

2º

Ao estudar faltas em sistema trifásico, considero a corrente de carga antes do defeito pode ser crucial, para uma análise precisa. Pois podemos avaliar o impacto do falta, também uma análise pode nos auxiliar no dimensionamento dos equipamentos de proteção. Podemos observar também condições anormais do sistema antes da falta.

Esse estudo nos garante maior confiabilidade do sistema.

(30)

No experimento foram necessário a utilização de oimetro para medição das coberturas, porém um dos instrumentos, possuía precisão inferior aos demais, de tal forma que sua leitura se foi possível com menor número de algas significativas.

O valores obtidos nos experimentos foram conforme o esperado e a natureza das grandezas semelhantes com as obtidas no preparo e na simulação, porém devido, a menor precisão do mundo real as grandezas não foram idênticas.