



**Universidade Federal da Bahia**  
**Escola Politécnica**  
**Colegiado do Curso de Eng. Elétrica**



Equipe: NA1

Augusto Cesar Oliveira Marval

Daniel Novaes Augusto da Silva

Ricardo Augusto de Araújo Machado

# **Trabalho de Curto-Circuito: Curto-Circuito Simétrico**

Outubro, 2023

Equipe: NA1  
Augusto Cesar Oliveira Marval  
Daniel Novaes Augusto da Silva  
Ricardo Augusto de Araújo Machado

## **Trabalho de Curto-Circuito: Curto-Circuito Simétrico**

Trabalho apresentado à disciplina Sistemas de Potência I da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para a obtenção de nota.

Outubro, 2023

# Sumário

1	<b>INTRODUÇÃO</b>	3
2	<b>SCRIPT</b>	4
2.1	Definição das zonas do sistema por unidade.	4
2.2	Diagrama de sequência positiva do circuito.	5
2.3	Matriz Ybarra	7
2.4	Matriz Zbarra	9
2.5	Curto-circuito trifásico	10
2.5.1	Curto-circuito trifásico na barra 4	10
2.5.2	Curto-circuito trifásico na barra 9	11
2.5.3	Curto-circuito trifásico na barra 11	12
3	<b>SIMULAÇÕES</b>	14
3.1	Curto-circuito trifásico	14
3.1.1	Curto-circuito trifásico na barra 4	14
3.1.2	Curto-circuito trifásico na barra 9	14
3.1.3	Curto-circuito trifásico na barra 11	15
3.2	Especificação do disjuntor 52-1.	16
3.3	Impedância do transformador TR 02T1 para obter nível de curto-circuito inferior à 8 kA no sistema de distribuição.	16
3.4	Potência de curto-circuito máxima de um empreendimento de geração a ser instalado na Barra 7.	18
3.5	Mudança no grupo vetorial dos transformadores para Yy0y0 e Yy0.	19
4	<b>CONCLUSÃO</b>	22
5	<b>TABELAS RESUMO</b>	23
	<b>REFERÊNCIAS</b>	25

# 1 Introdução

O objetivo deste relatório é apresentar os resultados obtidos nas atividades de simulação realizadas na segunda unidade da disciplina de Sistemas de Potência. Durante este período, foi fornecido um circuito unifilar e solicitado aos discentes que realizassem cálculos de tensão para faltas simétricas em barramentos específicos, além de outras tarefas relacionadas. Para cumprir essas demandas, utilizamos as ferramentas *MATLAB* para cálculos e o software ANAFAS para simulações.

O relatório está dividido em duas partes distintas, sendo a primeira destinada a descrever e discutir os resultados obtidos por meio do *MATLAB*, enquanto a segunda parte abordará os resultados provenientes do ANAFAS. A divisão facilitará a compreensão dos resultados e permitirá uma análise comparativa quando necessário. A análise do sistema elétrico foi conduzida de forma abrangente, utilizando o *MATLAB* para cálculos essenciais e o ANAFAS para simulações que complementam e validam as conclusões. A seguir, apresentaremos em detalhes os resultados e conclusões de cada parte deste estudo.

Para a análise do sistema elétrico, foi elaborado um *script* no *MATLAB* e realizadas simulações no ANAFAS. No decorrer do estudo, foram simulados curtos-circuitos simétricos nas barras 4, 9 e 11. Além disso, foi projetado um disjuntor de 52-1 e foram investigadas as implicações de ter transformadores no arranjo  $Yy0y0$  ou  $Yy0$ . Adicionalmente, foi determinada a potência de curto-circuito máxima para um empreendimento de geração que seria instalado na Barra 7, assegurando que as capacidades de interrupção dos disjuntores não ultrapassassem 15% dos valores originais.

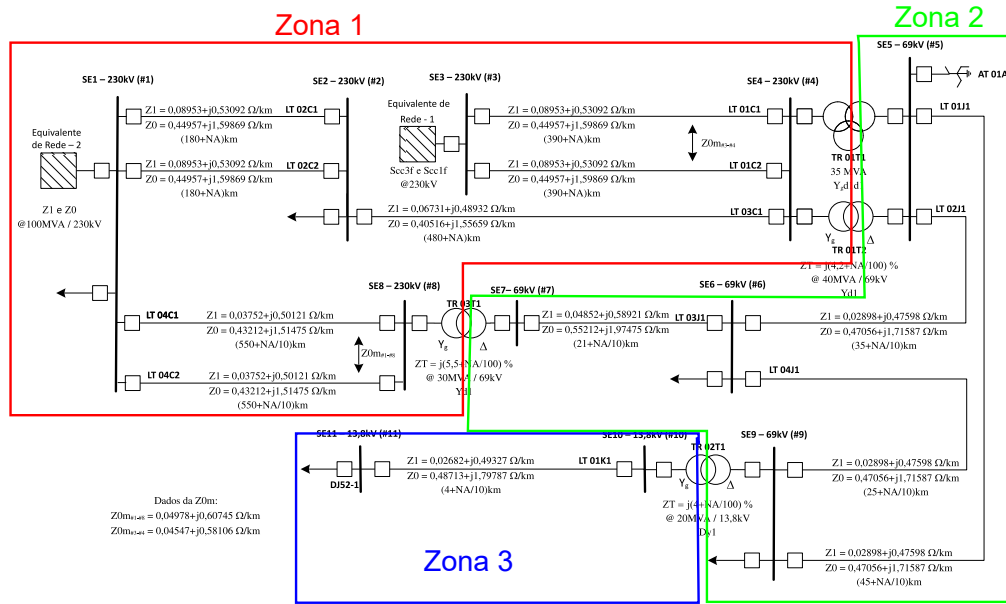
## 2 Script

Foi desenvolvido um programa em MATLAB para atender às exigências do trabalho, que incluem a determinação das impedâncias em PU, obtenção da matriz de impedância de barra e o cálculo das tensões pós-falta e correntes pós-falta no sistema.

### 2.1 Definição das zonas do sistema por unidade.

O diagrama unifilar do sistema elétrico abordado no trabalho é visto na figura separado em três zonas distintas de tensão. Dessa forma, adota-se  $S_B = 100 \text{ MVA}$  como potência de base para o sistema por unidade e calcula-se as correntes e impedâncias de base de acordo com a equação 2.1.

Fig. 1 – Diagrama unifilar do sistema separado em zonas.



$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}V_B I_B} ; Z_B = \frac{V_B^2}{S_B} \quad (2.1)$$

Valores obtidos para a Zona 1:

$$S_B = 100 \text{ MVA} \mid V_{B1} = 230 \text{ kV} \mid I_{B1} = 251.0219 \text{ A} \mid Z_{B1} = 529 \Omega \quad (2.2)$$

Valores obtidos para a Zona 2:

$$S_B = 100 \text{ MVA} \mid V_{B2} = 69 \text{ kV} \mid I_{B2} = 836.7395 \text{ A} \mid Z_{B2} = 47.61 \Omega \quad (2.3)$$

Valores obtidos para a Zona 3:

$$S_B = 100 \text{ MVA} \mid V_{B3} = 13.8 \text{ kV} \mid I_{B3} = 4.1837 \text{ kA} \mid Z_{B2} = 1.9044 \Omega \quad (2.4)$$

## 2.2 Diagrama de sequência positiva do circuito.

A primeira etapa para a elaboração do diagrama de sequência positiva consiste em passar todas as impedâncias do sistema para pu.

É possível calcular todos os valores em PU (Por unidade) para as impedância das linhas de transmissão. Utiliza-se a fórmula:

$$Z_{LT}(pu) = \frac{Z_{LT}(\frac{\Omega}{Km}) \cdot l}{Z_B} \quad (2.5)$$

O comprimento da linha, representado por  $l$ , é uma variável que depende do valor de NA. Dado que as expressões envolvidas no cálculo das impedâncias de linha são claramente definidas, é factível implementá-las no ambiente *MATLAB*. Isso nos permitirá obter as impedâncias de linha desejadas de maneira eficiente e precisa, levando em consideração a variação do comprimento da linha em relação ao valor de NA. Resultado para as impedâncias de linha:

$$Z_{lt01c1} = (0.0662 + 0.3924j) \text{ pu} \quad (2.6)$$

$$Z_{lt01c2} = (0.0662 + 0.3924j) \text{ pu} \quad (2.7)$$

$$Z_{lt02c1} = (0.0306 + 0.1817j) \text{ pu} \quad (2.8)$$

$$Z_{lt02c2} = (0.0306 + 0.1817j) \text{ pu} \quad (2.9)$$

$$Z_{lt03c1} = (0.0612 + 0.4449j) \text{ pu} \quad (2.10)$$

$$Z_{lt04c1} = (0.0390 + 0.5212j) \text{ pu} \quad (2.11)$$

$$Z_{lt04c2} = (0.0390 + 0.5212j) \text{ pu} \quad (2.12)$$

$$Z_{lt01j1} = (0.0275 + 0.4509j) \text{ pu} \quad (2.13)$$

$$Z_{lt02j1} = (0.0214 + 0.3509j) \text{ pu} \quad (2.14)$$

$$Z_{lt03j1} = (0.0215 + 0.2611j) \text{ pu} \quad (2.15)$$

$$Z_{lt04j1} = (0.0153 + 0.2509j) \text{ pu} \quad (2.16)$$

$$Z_{lt01k1} = (0.0577 + 1.0620j) \text{ pu} \quad (2.17)$$

No caso dos transformadores, é essencial realizar a mudança de base das impedâncias fornecidas pelo fabricante para o valor da potência de base adotada no trabalho. Especificamente no transformador de três enrolamentos, a impedância a ser considerada é

apenas o componente  $Z_{ps}$ , uma vez que o terciário se encontra em aberto. Dessa forma, para o transformador TR01T1 - Yd1d1:

$$R_{ps} = 0.0481 + NA \cdot 10^{-4} \mid X_{ps} = 7.5457 + NA \cdot 10^{-2} \quad (2.18)$$

$$Z_{psTR01T1} = R_{ps} + jX_{ps} = 0.0005 + 0.0756j \text{ pu} \quad (2.19)$$

Já para os outros transformadores, a impedância é dada em porcentagem e numa base de potência diferente ( $S_{B0}$ ) da base adotada no trabalho ( $S_B$ ). Dessa forma, o valor das impedâncias em pu é obtido pela equação 2.20.

$$Z_{trafo} = \frac{Z_{trafo}(\%)}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{B0}} \quad (2.20)$$

Para o transformador TR01T2:

$$Z_{TR01T2} = \left( \frac{j \cdot \left( 4.2 + \frac{NA}{100} \right)}{100} \right) \cdot \left( \frac{100 \text{ MVA}}{40 \text{ MVA}} \right) = j0.1052 \quad (2.21)$$

Para o transformador TR02T1:

$$Z_{TR02T1} = \left( \frac{j \cdot \left( 4 + \frac{NA}{100} \right)}{100} \right) \cdot \left( \frac{100 \text{ MVA}}{20 \text{ MVA}} \right) = j0.2005 \quad (2.22)$$

Para o transformador TR03T1:

$$Z_{TR03T1} = \left( \frac{j \cdot \left( 5.5 + \frac{NA}{100} \right)}{100} \right) \cdot \left( \frac{100 \text{ MVA}}{30 \text{ MVA}} \right) = j0.1837 \quad (2.23)$$

A impedância do equivalente de rede da barra 1 é dada em percentual, portanto, o valor em pu é descrito pela equação abaixo.

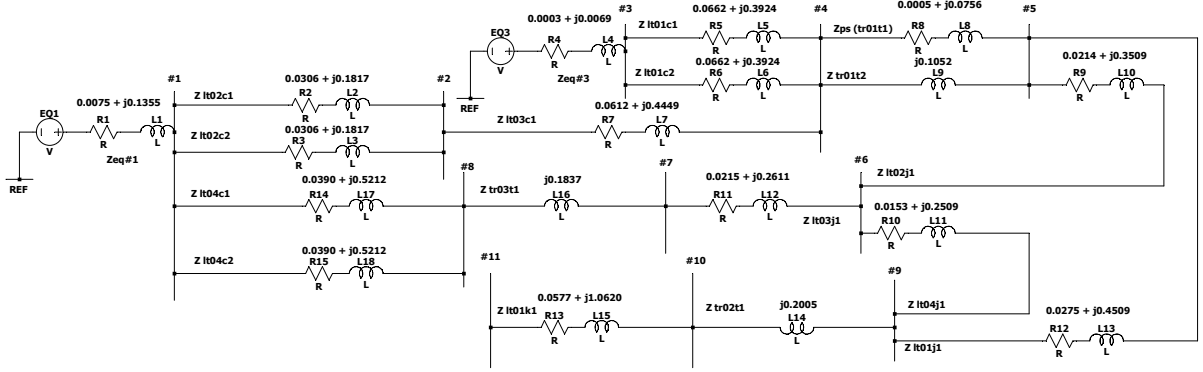
$$Z_{eq\#1} = \frac{Z_{eq\#1}(\%)}{100} = 0.0075 + j0.1355 \quad (2.24)$$

A impedância do equivalente de rede da barra 3 pode ser calculada com base na potência complexa do equivalente de rede.

$$Z_{eq\#3} = \frac{1}{S_{cc3\phi}} = 0.0003 + j0.0069 \quad (2.25)$$

Após colocar todas as impedâncias do circuito em pu, chega-se no seguinte Diagrama de Sequência Positiva visto na figura 2:

Fig. 2 – Diagrama de sequência positiva do sistema.



## 2.3 Matriz Ybarra

Como a  $Y_{barra}$  é esparsa, ela pode ser obtida no *script* através da criação de uma matriz 11x11 nula e pela posterior substituição dos termos diferentes de zero. As expressões dos termos não nulos da  $Y_{barra}$  são listados na equação abaixo.

$$Y_{1,1} = \frac{1}{Z_{eq\#1}} + \frac{1}{Z_{lt02c1}} + \frac{1}{Z_{lt02c2}} + \frac{1}{Z_{lt04c1}} + \frac{1}{Z_{lt04c2}} \quad (2.26)$$

$$Y_{2,2} = \frac{1}{Z_{lt02c1}} + \frac{1}{Z_{lt02c2}} + \frac{1}{Z_{lt03c1}} \quad (2.27)$$

$$Y_{3,3} = \frac{1}{Z_{lt01c2}} + \frac{1}{Z_{lt01c1}} + \frac{1}{Z_{eq\#3}} \quad (2.28)$$

$$Y_{4,4} = \frac{1}{Z_{lt01c2}} + \frac{1}{Z_{lt01c1}} + \frac{1}{Z_{ps}} + \frac{1}{Z_{tr01t2}} + \frac{1}{Z_{lt03c1}} \quad (2.29)$$

$$Y_{5,5} = \frac{1}{Z_{ps}} + \frac{1}{Z_{tr01t2}} + \frac{1}{Z_{lt01j1}} + \frac{1}{Z_{lt02j1}} \quad (2.30)$$

$$Y_{6,6} = \frac{1}{Z_{lt02j1}} + \frac{1}{Z_{lt04j1}} + \frac{1}{Z_{lt03j1}} \quad (2.31)$$

$$Y_{7,7} = \frac{1}{Z_{lt03j1}} + \frac{1}{Z_{tr03t1}} \quad (2.32)$$

$$Y_{8,8} = \frac{1}{Z_{tr03t1}} + \frac{1}{Z_{lt04c1}} + \frac{1}{Z_{lt04c2}} \quad (2.33)$$

$$Y_{9,9} = \frac{1}{Z_{lt04j1}} + \frac{1}{Z_{lt01j1}} + \frac{1}{Z_{tr02t1}} \quad (2.34)$$



$$Y_{10,10} = \frac{1}{Z_{tr02t1}} + \frac{1}{Z_{lt01k1}} \quad (2.35)$$

$$Y_{11,11} = \frac{1}{Z_{lt01k1}} \quad (2.36)$$

$$Y_{2,1} = Y_{1,2} = -\left(\frac{1}{Z_{lt02c1}} + \frac{1}{Z_{lt02c2}}\right) \quad (2.37)$$

$$Y_{8,1} = Y_{1,8} = -\left(\frac{1}{Z_{lt04c1}} + \frac{1}{Z_{lt04c2}}\right) \quad (2.38)$$

$$Y_{4,2} = Y_{2,4} = -\frac{1}{Z_{1lt03c1}} \quad (2.39)$$

$$Y_{4,3} = Y_{3,4} = -\left(\frac{1}{Z_{lt01c2}} + \frac{1}{Z_{lt01c1}}\right) \quad (2.40)$$

$$Y_{5,4} = Y_{4,5} = -\left(\frac{1}{Z_{ps}} + \frac{1}{Z_{tr01t2}}\right) \quad (2.41)$$

$$Y_{6,5} = Y_{5,6} = -\frac{1}{Z_{lt02j1}} \quad (2.42)$$

$$Y_{9,5} = Y_{5,9} = -\frac{1}{Z_{lt01j1}} \quad (2.43)$$

$$Y_{9,6} = Y_{6,9} = -\frac{1}{Z_{lt04j1}} \quad (2.44)$$

$$Y_{7,6} = Y_{6,7} = -\frac{1}{Z_{lt03j1}} \quad (2.45)$$

$$Y_{8,7} = Y_{7,8} = -\frac{1}{Z_{tr03t1}} \quad (2.46)$$

$$Y_{10,9} = Y_{9,10} = -\frac{1}{Z_{tr02t1}} \quad (2.47)$$

$$Y_{11,10} = Y_{10,11} = -\frac{1}{Z_{lt01k1}} \quad (2.48)$$

A matriz  $Y_{barra}$  é calculada através do *MATLAB* a partir das expressões desenvolvidas acima. Os valores obtidos são apresentados nas tabelas 1 e 2.

Tab. 1 – Colunas 1 a 5 da matriz  $Y_{barra}$ 

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5
2.49897-21.88071i	-1.80526+10.70534i	0	0	0
-1.80526+10.70534i	2.10869-12.91119i	0	-0.30343+2.20585i	0
0	0	7.98745-150.11458i	-0.83568+4.95567i	0
0	-0.30343+2.20585i	-0.83568+4.95567i	1.22354-29.89721i	-0.08443+22.73569i
0	0	0	-0.08443+22.73569i	0.39183-27.78455i
0	0	0	0	-0.17286+2.83920i
0	0	0	0	0
-0.28565+3.81590i	0	0	0	0
0	0	0	0	-0.13454+2.20966i
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Tab. 2 – Colunas 6 a 11 da matriz  $Y_{barra}$ 

Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10	Coluna 11
0	0	-0.28565+3.81590i	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
-0.17286+2.83920i	0	0	-0.13454+2.20966i	0	0
0.72783-10.61328i	-0.31323+3.80374i	0	-0.24173+3.97035i	0	0
-0.31323+3.80374i	0.31323-9.24838i	0.00000+5.44465i	0	0	0
0	0.00000+5.44465i	0.28565-9.26055i	0	0	0
-0.24173+3.97035i	0	0	0.37627-11.16754i	0.00000+4.98753i	0
0	0	0	0.00000+4.98753i	0.05105-5.92641i	-0.05105+0.93887i
0	0	0	0	-0.05105+0.93887i	0.05105-0.93887i

## 2.4 Matriz $Z_{barra}$

A  $Z_{barra}$  é obtida pela inversão da matriz  $Y_{barra}$ . As colunas da matriz impedância de barra são mostradas nas tabelas 3 e 4.

$$Z_{barra} = (Y_{barra})^{-1} \quad (2.49)$$

Tab. 3 – Colunas 1 a 5 da matriz  $Z_{barra}$ 

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5
0.00765+0.10881i	0.00676+0.09715i	-0.00002+0.00135i	0.00414+0.04022i	0.00414+0.04329i
0.00676+0.09715i	0.01902+0.16587i	0.00003+0.00194i	0.00739+0.05766i	0.00727+0.05942i
-0.00002+0.00135i	0.00003+0.00194i	0.00034+0.00680i	0.00014+0.00483i	0.00014+0.00468i
0.00414+0.04022i	0.00739+0.05766i	0.00014+0.00483i	0.02062+0.14309i	0.02012+0.13847i
0.00414+0.04329i	0.00727+0.05942i	0.00014+0.00468i	0.02012+0.13847i	0.01989+0.17621i
0.00505+0.05961i	0.00716+0.06882i	0.00010+0.00385i	0.01609+0.11400i	0.01590+0.14311i
0.00645+0.07782i	0.00726+0.07932i	0.00004+0.00292i	0.01100+0.08676i	0.01065+0.10621i
0.00638+0.09063i	0.00673+0.08667i	0.00004+0.00227i	0.00902+0.06743i	0.00910+0.08013i
0.00472+0.05377i	0.00720+0.06545i	0.00012+0.00414i	0.01753+0.12275i	0.01733+0.15494i
0.00472+0.05377i	0.00720+0.06545i	0.00012+0.00414i	0.01753+0.12275i	0.01733+0.15494i
0.00472+0.05377i	0.00720+0.06545i	0.00012+0.00414i	0.01753+0.12275i	0.01733+0.15494i

Tab. 4 – Colunas 6 a 11 da matriz  $Z_{barra}$ 

Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10	Coluna 11
0.00505+0.05961i	0.00645+0.07782i	0.00638+0.09063i	0.00472+0.05377i	0.00472+0.05377i	0.00472+0.05377i
0.00716+0.06882i	0.00726+0.07932i	0.00673+0.08667i	0.00720+0.06545i	0.00720+0.06545i	0.00720+0.06545i
0.00010+0.00385i	0.00004+0.00292i	0.00004+0.00227i	0.00012+0.00414i	0.00012+0.00414i	0.00012+0.00414i
0.01609+0.11400i	0.01100+0.08676i	0.00902+0.06743i	0.01753+0.12275i	0.01753+0.12275i	0.01753+0.12275i
0.01590+0.14311i	0.01065+0.10621i	0.00910+0.08013i	0.01733+0.15494i	0.01733+0.15494i	0.01733+0.15494i
0.02373+0.29799i	0.01467+0.20979i	0.01342+0.14765i	0.02093+0.24261i	0.02093+0.24261i	0.02093+0.24261i
0.01467+0.20979i	0.02165+0.32546i	0.01986+0.22301i	0.01324+0.17275i	0.01324+0.17275i	0.01324+0.17275i
0.01342+0.14765i	0.01986+0.22301i	0.02003+0.27602i	0.01188+0.12351i	0.01188+0.12351i	0.01188+0.12351i
0.02093+0.24261i	0.01324+0.17275i	0.01188+0.12351i	0.02946+0.37248i	0.02946+0.37248i	0.02946+0.37248i
0.02093+0.24261i	0.01324+0.17275i	0.01188+0.12351i	0.02946+0.37248i	0.02946+0.57298i	0.02946+0.57298i
0.02093+0.24261i	0.01324+0.17275i	0.01188+0.12351i	0.02946+0.37248i	0.02946+0.57298i	0.08720+1.63495i

## 2.5 Curto-circuito trifásico

Na área de sistemas de potência, uma falta em circuitos elétricos refere-se a qualquer anomalia que perturba o fluxo regular de corrente. O curto-circuito simétrico caracteriza-se por envolver todas as fases de um sistema trifásico e corresponde a cerca de 5% das faltas que ocorrem. (GRAINGER; STEVENSON, 1994)

Os valores da tensões pré-falta referenciadas à barra 1 são carregados no vetor  $[V_{préB1}^{\rightarrow}]$  dentro do *MATLAB*. Devido ao grupo vetorial dos transformadores, é preciso criar também os vetores  $[V_{préB9}^{\rightarrow}]$  e  $[V_{préB11}^{\rightarrow}]$ , que representam as tensões pré-falta referenciadas à barra 9 e 11, respectivamente.

$$[V_{préB9}^{\rightarrow}] = [V_{préB1}^{\rightarrow}] \cdot 1 \angle -30^{\circ} \quad (2.50)$$

$$[V_{préB11}^{\rightarrow}] = [V_{préB1}^{\rightarrow}] \cdot 1 \angle -60^{\circ} \quad (2.51)$$

### 2.5.1 Curto-circuito trifásico na barra 4

A corrente de falta obtida para um curto-circuito simétrico com  $R_f = 0.264 \Omega$  é descrita na equação 2.52. O vetor  $[V_{préB1}^{\rightarrow}]$  é utilizado nos cálculos a seguir, pois as barras 1 e 4 têm a mesma referência de fase.

$$\vec{I}_f = \frac{\vec{V}_{\#4pré}}{Z_{4,4} + R_f} = 6.7843 \angle -60.3275^{\circ} \text{ pu} = 1703.00 \angle -60.3275^{\circ} \text{ A} \quad (2.52)$$

As tensões de pós-falta do sistema são calculadas pela forma matricial no *script*. Conforme visto na equação 2.53, o vetor das tensões pós-falta referenciadas a barra 4 ( $[V_{pósB4}^{\rightarrow}]$ ) é dado pela subtração do vetor das tensões pré-falta com a coluna 4 da matriz  $Z_{barra}$  multiplicada por  $\vec{I}_f$ .

$$[V_{pósB4}^{\rightarrow}] = [V_{préB1}^{\rightarrow}] - \vec{I}_f \cdot col_4(Z_{barra}) \quad (2.53)$$

Para colocar cada barra do circuito em sua referência de fase relativa cria-se um vetor auxiliar no *MATLAB* ( $D_{B1}$ ) para defasas corretamente as tensões.

$$D_{B1} = [1; 1; 1; 1; 1\angle -30^\circ; 1\angle -30^\circ; 1\angle -30^\circ; 1; 1\angle -30^\circ; 1\angle -60^\circ; 1\angle -60^\circ] \quad (2.54)$$

O vetor das tensões pós-falta com a referência de fase corrigida é obtido pela multiplicação por elemento do vetor  $[V_{pósB4}^{\rightarrow}]$  com o vetor de defasagem  $D_{B1}$ .

$$[V_{ipósA}^{\rightarrow}] = [V_{pósB4}^{\rightarrow}] \cdot * D_{B1} \quad (2.55)$$

As fases B e C das tensões pós-falta são obtidas defasando o vetor  $[V_{pósA}^{\rightarrow}]$  em  $-120^\circ$  e  $120^\circ$ , respectivamente.

$$[V_{ipósB}^{\rightarrow}] = [V_{ipósA}^{\rightarrow}] \angle -120^\circ \quad (2.56)$$

$$[V_{ipósC}^{\rightarrow}] = [V_{ipósA}^{\rightarrow}] \angle 120^\circ \quad (2.57)$$

Os valores de tensões pós-falta obtidos para a simulação de curto-circuito simétrico estão na parte 1 a) i da tabelas 5 e 6.

As correntes pós-falta dos transformadores e das linhas de transmissão circunvizinhas à barra 4 são calculadas com base nas equações abaixo. Os valores obtidos são vistos na tabela 7.

$$\vec{I}_{lt03c1} = \frac{\vec{V}_{\#2pós} - \vec{V}_{\#4pós}}{Z_{lt03c1}} \quad (2.58)$$

$$\vec{I}_{lt01c1} = \frac{\vec{V}_{\#3pós} - \vec{V}_{\#4pós}}{Z_{lt01c1}} \quad (2.59)$$

$$\vec{I}_{lt01c2} = \frac{\vec{V}_{\#3pós} - \vec{V}_{\#4pós}}{Z_{lt01c2}} \quad (2.60)$$

$$\vec{I}_{tr01t1} = \frac{\vec{V}_{\#5pós} - \vec{V}_{\#4pós}}{Z_{ps}} \quad (2.61)$$

$$\vec{I}_{tr01t2} = \frac{\vec{V}_{\#5pós} - \vec{V}_{\#4pós}}{Z_{tr01t2}} \quad (2.62)$$

## 2.5.2 Curto-circuito trifásico na barra 9

De forma análoga ao procedimento realizado anteriormente, a corrente de falta para um curto-circuito trifásico na barra 9 com resistência de falta  $R_f = 0.388 \Omega$  é dada pela equação 2.63. A tensão de pré-falta  $\vec{V}_{\#9pré}$  é referenciada em relação à barra 9.

$$\vec{I}_f = \frac{\vec{V}_{\#9pré}}{Z_{9,9} + R_f} = 2.5653 \angle -100.5188^\circ \text{ pu} = 2146.52 \angle -100.5188^\circ \text{ A} \quad (2.63)$$

O vetor das tensões de pós-falta do circuito é descrito pela equação 2.64.

$$\left[ V_{pósB9}^{\rightarrow} \right] = \left[ V_{préB9}^{\rightarrow} \right] - \vec{I}_f \cdot \text{col}_9(Z_{barra}) \quad (2.64)$$

Para colocar cada barra do circuito em sua referência de fase relativa cria-se um vetor auxiliar no *MATLAB* ( $D_{B9}$ ) para defasar corretamente as tensões.

$$D_{B9} = [1 \angle 30; 1 \angle 30; 1 \angle 30; 1 \angle 30; 1; 1; 1; 1 \angle 30; 1; 1 \angle -30; 1 \angle -30] \quad (2.65)$$

O vetor das tensões pós-falta com a referência de fase corrigida é obtido pela multiplicação por elemento do vetor  $\left[ V_{pósB9}^{\rightarrow} \right]$  com o vetor de defasagem  $D_{B9}$ .

$$\left[ V_{iipósA}^{\rightarrow} \right] = \left[ V_{pósB9}^{\rightarrow} \right] \cdot * D_{B9} \quad (2.66)$$

As fases B e C das tensões pós-falta são obtidas defasando o vetor  $\left[ V_{iipósA}^{\rightarrow} \right]$  em  $-120^\circ$  e  $120^\circ$ , respectivamente.

$$\left[ V_{iipósB}^{\rightarrow} \right] = \left[ V_{iipósA}^{\rightarrow} \right] \angle -120^\circ \quad (2.67)$$

$$\left[ V_{iipósC}^{\rightarrow} \right] = \left[ V_{iipósA}^{\rightarrow} \right] \angle 120^\circ \quad (2.68)$$

Os valores de tensões pós-falta obtidos para a simulação de curto-circuito simétrico estão na parte 1 a) ii da tabelas 5 e 6.

As correntes pós-falta dos transformadores e das linhas de transmissão circunvizinhas à barra 9 são calculadas com base nas equações abaixo. Os valores obtidos para as correntes são exibidos na tabela 8.

$$\vec{I}_{TR02T1} = \frac{\vec{V}_{\#10pós} - \vec{V}_{\#9pós}}{Z_{TR02T1}} \quad (2.69)$$

$$\vec{I}_{LT01J1} = \frac{\vec{V}_{\#5pós} - \vec{V}_{\#9pós}}{Z_{LT01J1}} \quad (2.70)$$

$$\vec{I}_{LT04J1} = \frac{\vec{V}_{\#6pós} - \vec{V}_{\#9pós}}{Z_{LT04J1}} \quad (2.71)$$

### 2.5.3 Curto-circuito trifásico na barra 11

A equação 2.72 descreve a expressão da corrente de falta para o curto-circuito trifásico na barra 11 com resistência de falta  $R_f = 0.172 \Omega$ .

$$\vec{I}_f = \frac{\vec{V}_{\#11pré}}{Z_{11,11} + R_f} = 0.5824 \angle -131.4062^\circ \text{ pu} = 2436.61 \angle -131.4062^\circ \text{ A} \quad (2.72)$$

O vetor das tensões de pós-falta é obtido de forma análoga ao procedimento realizado nos casos anteriores de curto-circuito.

$$\left[ V_{pósB11}^{\vec{}} \right] = \left[ V_{préB11}^{\vec{}} \right] - \vec{I}_f \cdot col_{11}(Z_{barra}) \quad (2.73)$$

Para colocar cada barra do circuito em sua referência de fase relativa cria-se um vetor auxiliar no *MATLAB* ( $D_{B11}$ ) para defasar corretamente as tensões.

$$D_{B11} = [1 \angle 60; 1 \angle 60; 1 \angle 60; 1 \angle 60; 1 \angle 30; 1 \angle 30; 1 \angle 30; 1 \angle 60; 1 \angle 30; 1; 1] \quad (2.74)$$

O vetor das tensões pós-falta com a referência de fase corrigida é obtido pela multiplicação por elemento do vetor  $\left[ V_{pósB11}^{\vec{}} \right]$  com o vetor de defasagem  $D_{B11}$ .

$$\left[ V_{iiipósA}^{\vec{}} \right] = \left[ V_{pósB11}^{\vec{}} \right] \cdot * D_{B11} \quad (2.75)$$

As fases B e C das tensões pós-falta são obtidas defasando o vetor  $\left[ V_{iiipósA}^{\vec{}} \right]$  em  $-120^\circ$  e  $120^\circ$ , respectivamente.

$$\left[ V_{iiipósB}^{\vec{}} \right] = \left[ V_{iiipósA}^{\vec{}} \right] \angle -120^\circ \quad (2.76)$$

$$\left[ V_{iiipósC}^{\vec{}} \right] = \left[ V_{iiipósA}^{\vec{}} \right] \angle 120^\circ \quad (2.77)$$

Os valores de tensões pós-falta obtidos para a simulação de curto-circuito simétrico estão na parte 1 a) iii da tabelas 5 e 6.

A corrente de pós-falta na linha de transmissão LT01K1, circunvizinha à barra 11 é calculada pela equação 2.78. O valor obtido está na tabela 9.

$$\vec{I}_{LT01K1} = \frac{\vec{V}_{\#10pós} - \vec{V}_{\#11pós}}{Z_{LT01K1}} \quad (2.78)$$

## 3 Simulações

Após a finalização do script no MATLAB, procedeu-se à montagem do diagrama unifilar no software ANAFAS. Nesse ambiente, realizou-se a simulação dos curtos-circuitos nas barras SE4, SE9 e SE11. Essa etapa de simulação foi fundamental para complementar os cálculos teóricos realizados anteriormente e validar as previsões feitas no script.

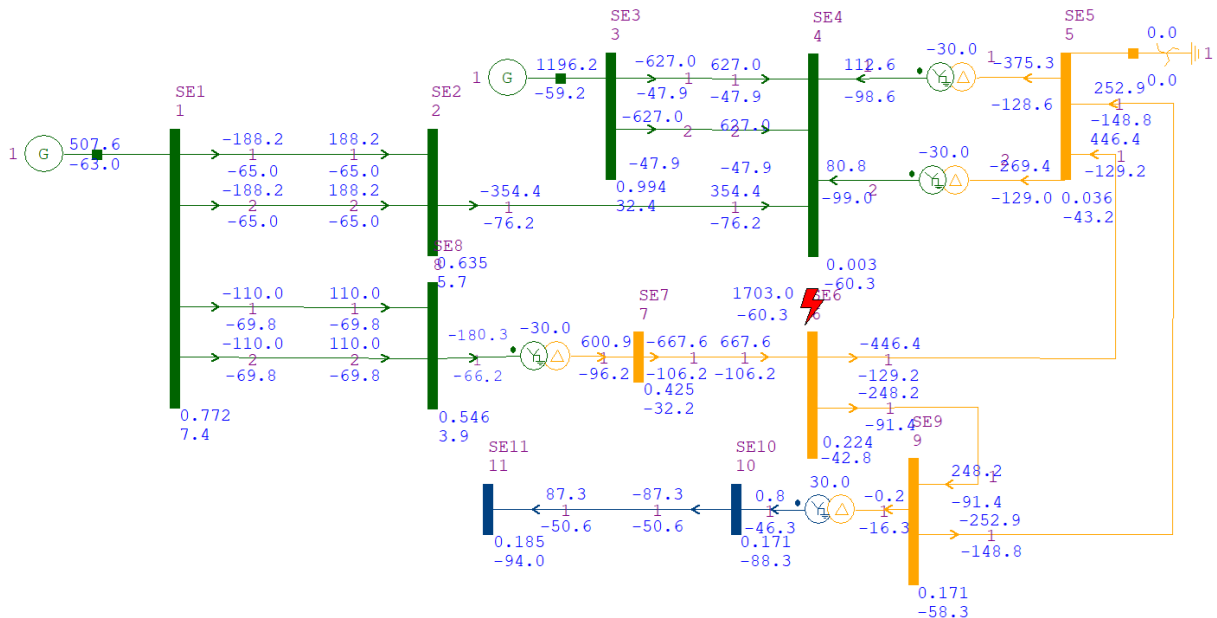
### 3.1 Curto-circuito trifásico

A simulação do curto-circuito trifásico no sistema é executada em três arquivos separados no ANAFAS, a fim de abranger as tensões pré-falta associadas às zonas 1, 2 e 3 do circuito devido à desfasagem dos transformadores.

#### 3.1.1 Curto-circuito trifásico na barra 4

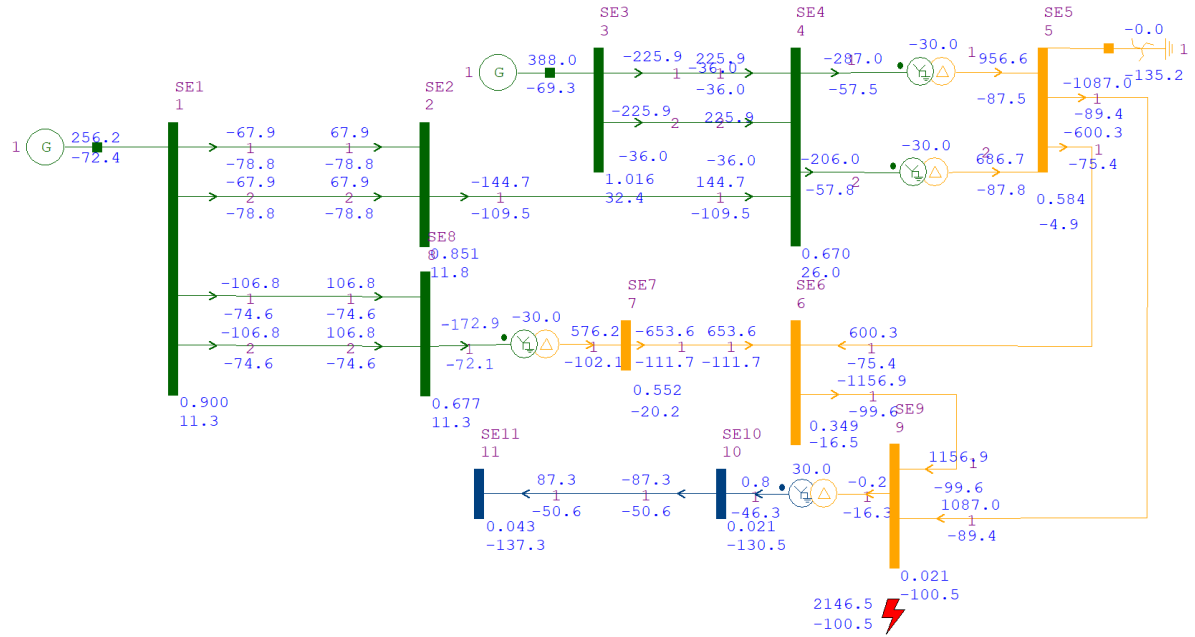
A simulação da curto-circuito trifásico na barra 4 com resistência de falta  $R_f = 0.264 \Omega$  é exibida na figura 3

Fig. 3 – Simulação de curto-circuito trifásico com  $R_f = 0.264 \Omega$  na barra 4.



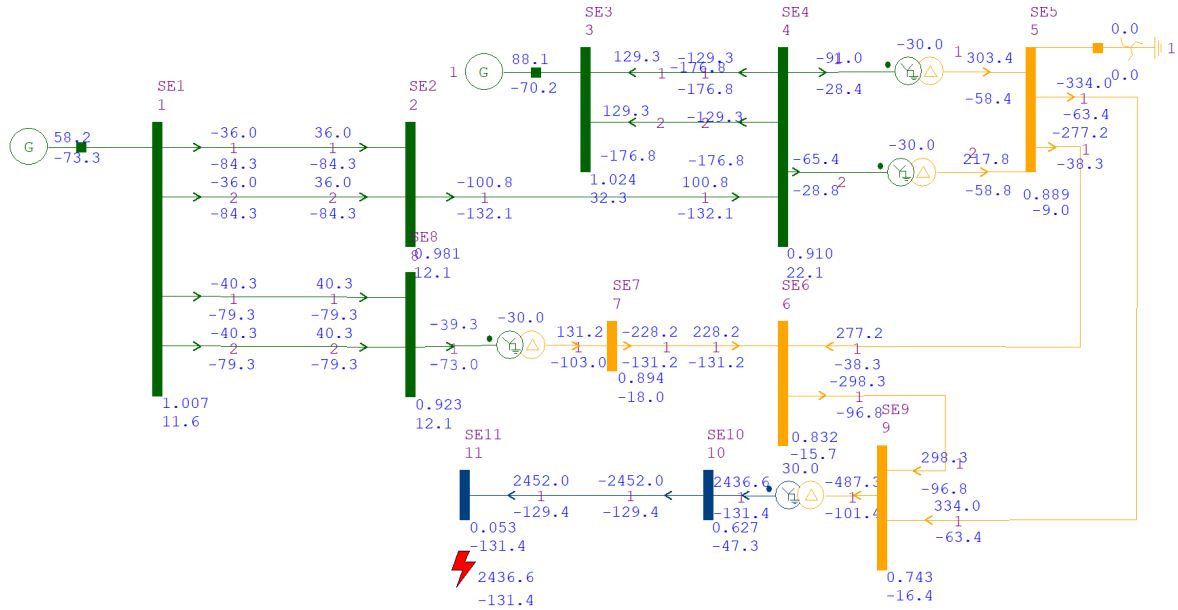
#### 3.1.2 Curto-circuito trifásico na barra 9

A simulação da curto-circuito trifásico na barra 9 com resistência de falta  $R_f = 0.388 \Omega$  é exibida na figura 4

Fig. 4 – Simulação de curto-circuito trifásico com  $R_f = 0.388 \Omega$  na barra 9.

### 3.1.3 Curto-circuito trifásico na barra 11

A simulação da curto-circuito trifásico na barra 11 com resistência de falta  $R_f = 0.172 \Omega$  é exibida na figura 5

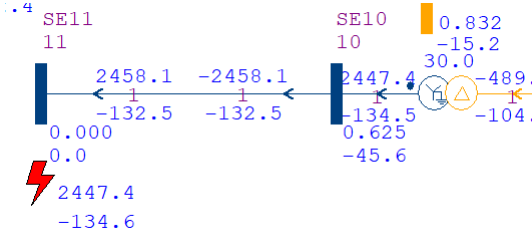
Fig. 5 – Simulação de curto-circuito trifásico com  $R_f = 0.172 \Omega$  na barra 11.



### 3.2 Especificação do disjuntor 52-1.

O disjuntor 52-1 precisa ter uma classe de tensão nominal mínima de  $13.8 \text{ kV}$  e uma capacidade de interrupção superior a corrente de curto-circuito sólido na barra 11, que é medida como  $2447.4 \text{ A}$  na simulação da figura 6.

Fig. 6 – Simulação de curto-circuito sólido na barra 11



Com base no catálogo da fabricante ([ABB, 2015](#)), o disjuntor à vácuo VD4/R 17.12.20 atende às especificações necessárias, pois opera até a tensão de  $17.5 \text{ kV}$ , tem corrente nominal de  $1250 \text{ A}$  e tem uma capacidade de interrupção de curto-circuito até  $20 \text{ kA}$ . Em relação ao nível básico de isolamento (NBI), a tensão suportável a  $50 \text{ Hz}$  do equipamento é  $38 \text{ kV}$  e a tensão de impulso suportável é  $95 \text{ kV}$ .

A capacidade de interrupção necessária para o circuito é dada pela equação 3.1, no cálculo, a tensão de pré-falta na barra 11 é aproximada para  $1 \text{ pu} = 13.8 \text{ kV}$ . Já a equação 3.2 é relativa à capacidade de interrupção do disjuntor escolhido.

$$S_{cc3\phi} = \sqrt{3} V_{\#11}|_{t0-} \cdot I_f = \sqrt{3} \cdot 13.8 \text{ kV} \cdot 2447.4 \text{ A} \therefore S_{cc} = 58.498 \text{ MVA} \quad (3.1)$$

$$S_{cc} = \sqrt{3} V_{Lnominal} \cdot I_{Lnominal} = \sqrt{3} \cdot 17.5 \text{ kV} \cdot 20 \text{ kA} \therefore S_{cc} = 606.22 \text{ MVA} \quad (3.2)$$

### 3.3 Impedância do transformador TR 02T1 para obter nível de curto-circuito inferior à $8 \text{ kA}$ no sistema de distribuição.

Inicialmente, procede-se à simulação de um curto-circuito trifásico sólido nas barras do circuito relacionadas ao sistema de distribuição. Conforme ilustrado nas figuras 7 e 8, pode-se concluir que a corrente de falta na barra 10 é maior do que a corrente de falta na barra 11. Portanto, o objetivo dessa etapa é determinar a impedância mínima do transformador TR02T1 para que a corrente de curto-circuito na barra 10 seja inferior à  $8 \text{ kA}$ .

Para determinar a impedância mínima do transformador TR02T1 para atingir as especificações é necessário calcular primeiro a impedância de Thévenin vista na barra 10 do sistema de potência.

$$I_{fmax} = 8 \text{ kA} = 1.912 \text{ pu} \quad (3.3)$$

Fig. 7 – Curto-circuito sólido - barra 10

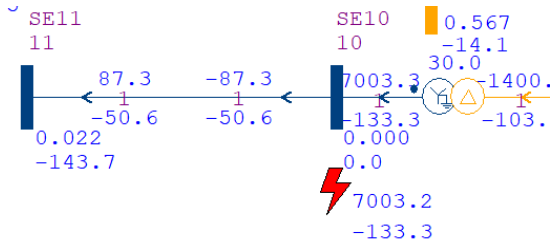
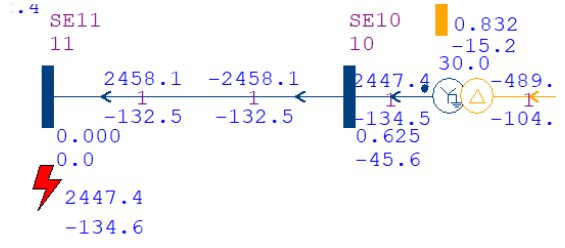


Fig. 8 – Curto-circuito sólido - barra 11



$$|Z_{th\#10}| = \frac{V_{\#10}|_{t0-}}{I_{fmax}} = \frac{0.9604}{1.912} \therefore |Z_{th\#10}| = 0.5023 \text{ pu} \quad (3.4)$$

A impedância equivalente vista na barra 10 será a soma da impedância do transformador TR02T1 com a impedância de Thévenin vista na barra 9 do sistema, que é representada pelo elemento  $Z_{9,9}$  da matriz  $Z_{barra}$ .

$$Z_{th\#10} = Z_{9,9} + Z_{TR02T1} \quad (3.5)$$

Como a impedância  $Z_{TR02T1}$  é puramente imaginária:

$$R = \Re(Z_{th\#10}) = \Re(Z_{9,9}) = 0.02946 \text{ pu} \quad (3.6)$$

Dessa forma, determina-se a fase de  $Z_{TR02T1}$  e o valor complexo da impedância. Além do mais, chega-se no valor mínimo para a impedância do transformador TR02T1.

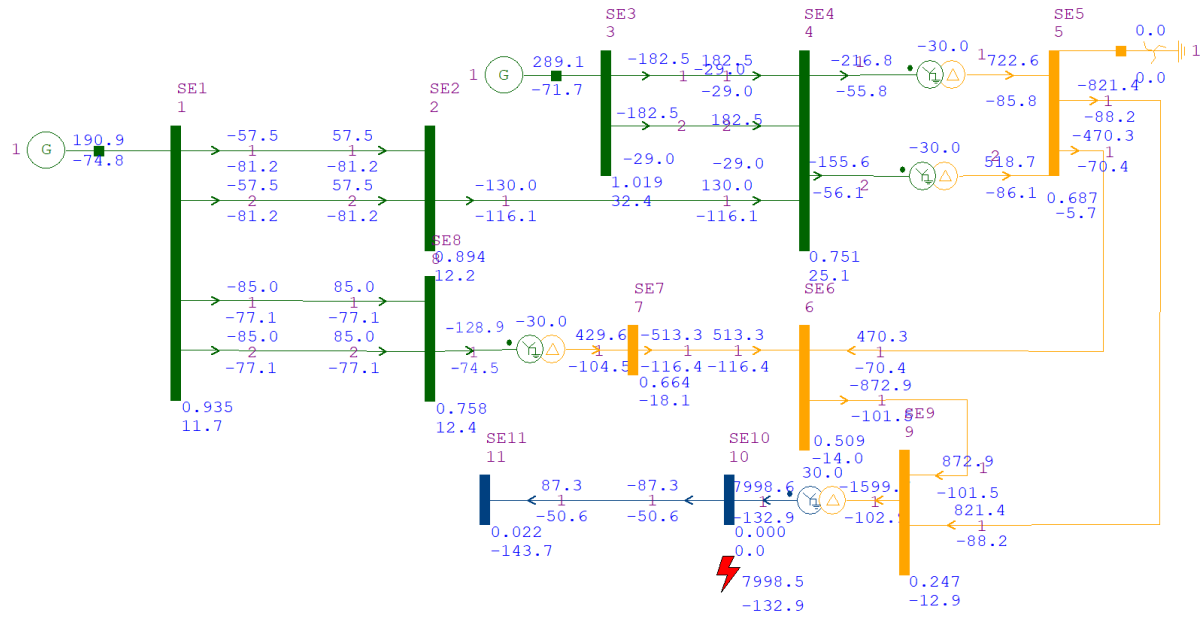
$$\theta = \arccos\left(\frac{R}{|Z_{th\#10}|}\right) = 86.6376^\circ \quad (3.7)$$

$$Z_{TR02T1} = 0.02946 \angle 86.6376^\circ \text{ pu} \quad (3.8)$$

$$Z_{TR02T1min} = Z_{th\#10} - Z_{9,9} = j0.12891 \text{ pu} \quad (3.9)$$

A reatância do transformador TR02T1 precisa ser superior a  $0.12891 \text{ pu}$  para garantir que a corrente de curto-circuito sólido na barra 10 seja menor que  $8 \text{ kA}$ . Na simulação da figura 9, adota-se como valor de reatância  $12.90\% = 0.1290 \text{ pu}$  e o módulo da corrente de falta obtida é  $I_f = 7.9985 \text{ kA}$ .

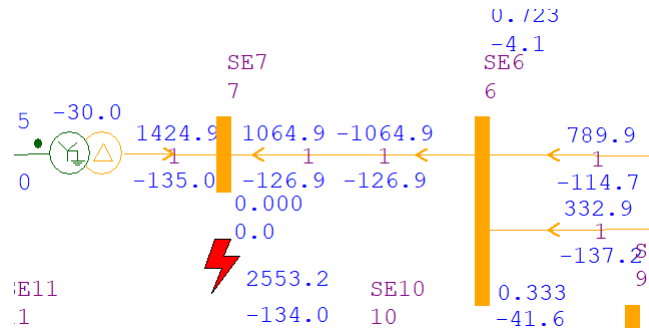
Fig. 9 – Simulação de curto-circuito sólido na barra 10 para reatância de 12.90%.



### 3.4 Potência de curto-circuito máxima de um empreendimento de geração a ser instalado na Barra 7.

O primeiro processo para dimensionar o empreendimento de geração a ser instalado é obter a atual corrente de curto-circuito trifásico sólido na barra 7 através de simulação, como é visto na figura 10. A corrente obtida é  $I_f = 2553.2 \text{ A}$ .

Fig. 10 – Simulação de curto-circuito sólido na barra 7



Para que as capacidades dos disjuntores não excedam o valor desejado, a corrente de falta obtida na barra 7 após adição do gerador no sistema não deve ultrapassar em 15% a corrente  $I_f = 2553.2 \text{ A}$ . Dessa forma, a corrente de falta máxima tolerável é  $2936.18 \text{ A}$  e a contribuição de corrente máxima do gerador para a falta é  $I_g = 382.98 \text{ A} = 0.4577 \text{ pu}$ .

Aproximando a força eletromotriz de pré-falta do gerador para  $1 \text{ pu}$ , o módulo da impedância da máquina é dado pela equação 3.10.

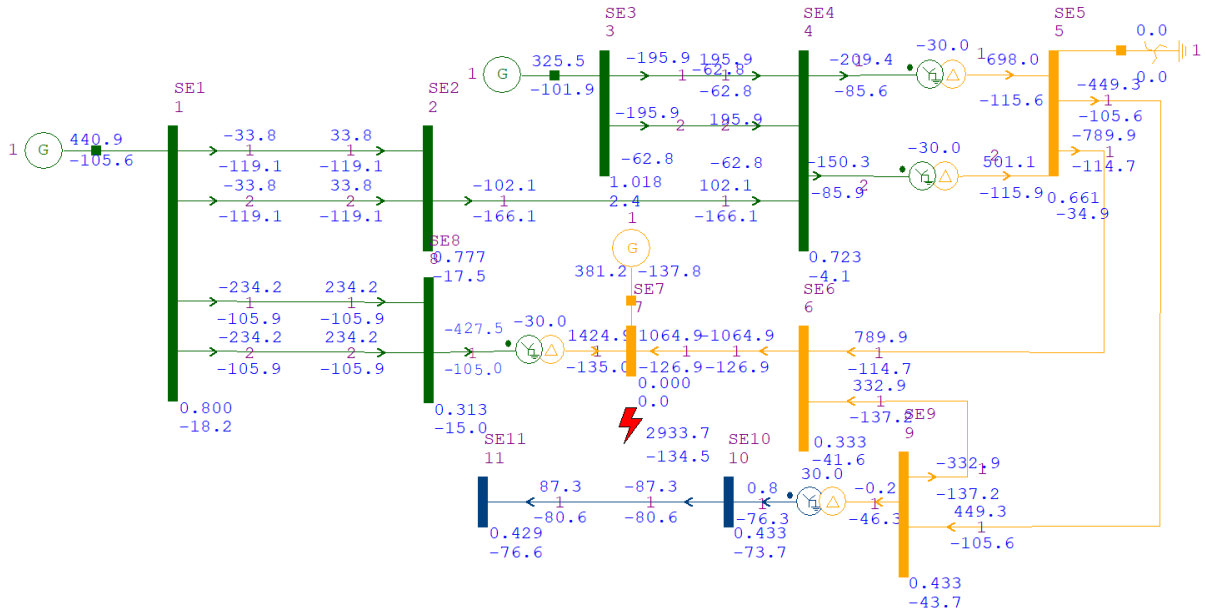
$$|Z_g| = \frac{E_g}{I_g} = \frac{1}{0.4577} \therefore |Z_g| = 2.1848 \text{ pu} \quad (3.10)$$

A potência de curto-circuito máxima é obtida pela equação 3.11.

$$S_{ccmax} = \frac{1}{|Z_g|} = 0.4577 \text{ pu} \therefore S_{ccmax} = 45.77 \text{ MVA} \quad (3.11)$$

A figura 11 mostra a simulação do sistema elétrico com o empreendimento de geração conectado à barra 7. Para fins de aproximação, considera-se no exemplo que a impedância do gerador é puramente indutiva. A corrente de falta obtida foi  $I_g = 2933.7 \text{ A}$

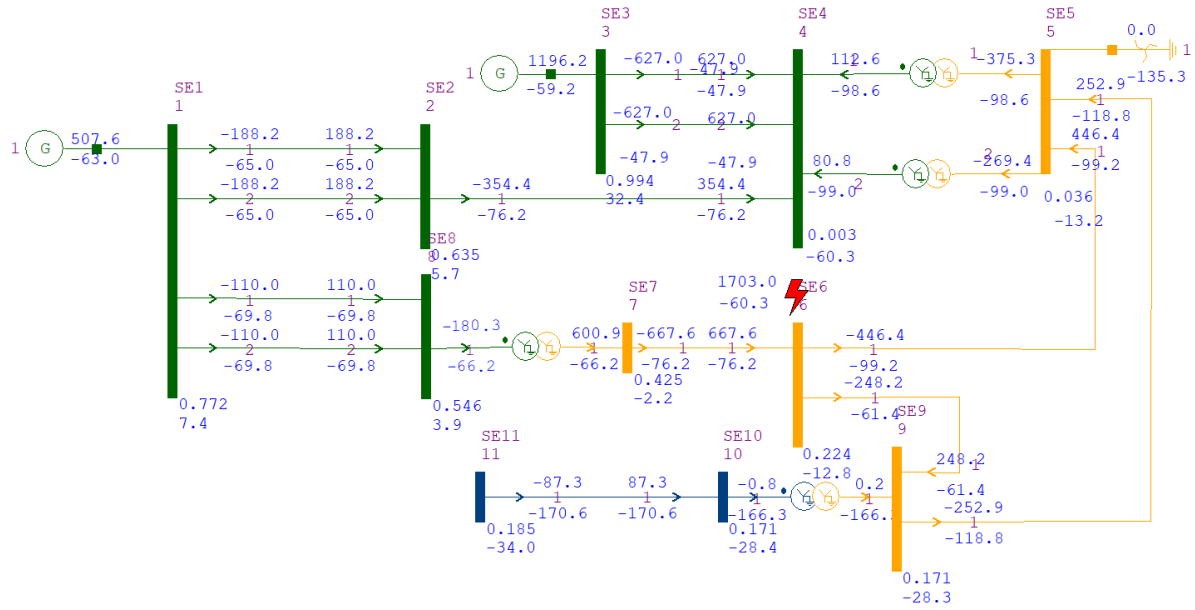
Fig. 11 – Simulação de curto-circuito trifásico sólido na barra 7 com empreendimento de geração conectado.



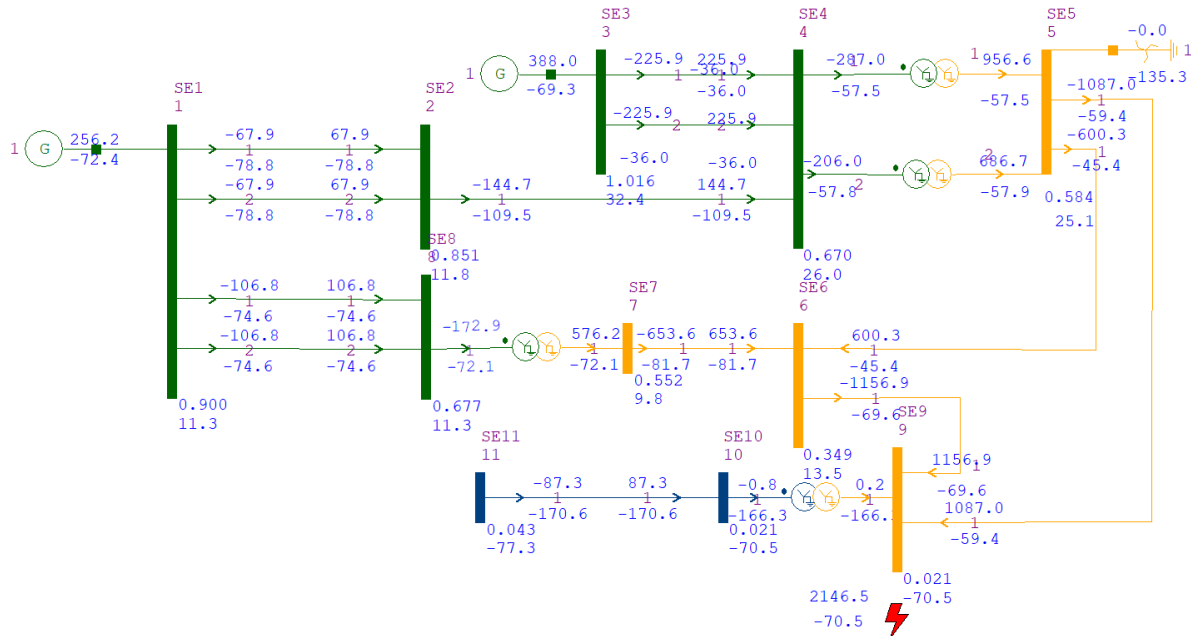
### 3.5 Mudança no grupo vetorial dos transformadores para Yy0y0 e Yy0.

A etapa atual consiste em mudar o grupo vetorial dos transformadores de dois e três enrolamentos para Yy0 e Yy0y0, respectivamente, e simular o sistema elétrico resultante. Visto que não há mais defasamento angular entre as zonas 1 e 2 e as zonas 2 e 3 do circuito, toda simulação no *ANAFAS* é realizada num único arquivo com todas as tensões referenciadas a barra 1.

A figura 12 mostra a simulação do curto-circuito trifásico com  $R_f = 0.264 \Omega$  na barra 4 após alterar o grupo vetorial dos transformadores.

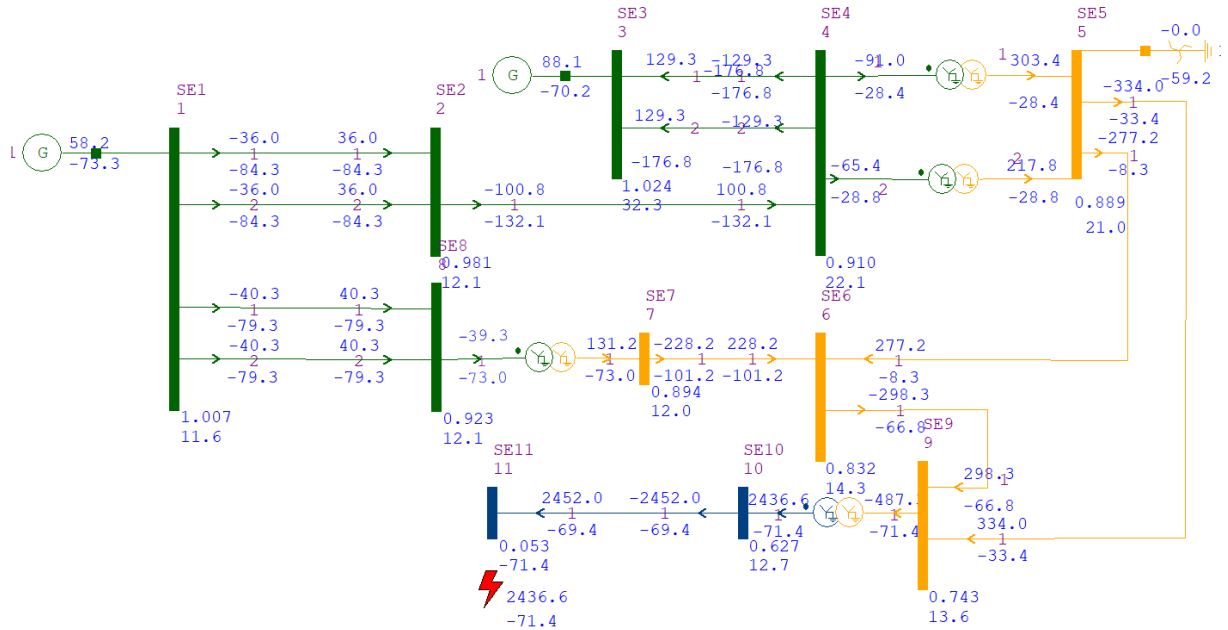
Fig. 12 – Simulação de curto-circuito trifásico com  $R_f = 0.264 \Omega$  na barra 4.

A figura 13 mostra a simulação do curto-circuito trifásico com  $R_f = 0.388 \Omega$  na barra 9 após alterar o grupo vetorial dos transformadores.

Fig. 13 – Simulação de curto-circuito trifásico com  $R_f = 0.388 \Omega$  na barra 9.

A figura 14 mostra a simulação do curto-circuito trifásico com  $R_f = 0.172 \Omega$  na barra 11 após alterar o grupo vetorial dos transformadores.

Fig. 14 – Simulação de curto-circuito trifásico com  $R_f = 0.172 \Omega$  na barra 11.



Na simulação de curto-circuito com os grupos vetoriais dos transformadores em Yy0y0 ou Yy0, percebe-se que o módulo das tensões e correntes do circuito permanece inalterado e há diferença na fase das grandezas elétricas relativas às zonas 2 e 3 do sistema elétrico em comparação aos valores obtidos na etapa do *script*.

## 4 Conclusão

A conclusão deste relatório enfatiza o sucesso da atividade de curto simétrico realizada. A abordagem que envolveu o estudo matemático das equações permitiu um entendimento valioso sobre o funcionamento desse tipo de curto-circuito. Além disso, a introdução do software ANAFAS destacou a praticidade e utilidade de sua utilização não apenas para simular curtos-circuitos simétricos, mas também para uma ampla gama de outros cenários que serão explorados ao longo do curso.

As atividades de simulação, em particular o dimensionamento de um empreendimento de geração e de um disjuntor despertaram um interesse especial. Elas demonstraram a aplicação prática e a utilidade direta dos conhecimentos adquiridos até o momento. Esse enfoque prático é fundamental para a consolidação do aprendizado, à medida que os alunos experimentam a aplicação real dos conceitos teóricos.

Em resumo, a combinação de abordagens teóricas e práticas neste curso está contribuindo significativamente para a compreensão dos sistemas elétricos de potência e sua operação. As simulações realizadas proporcionaram uma visão mais profunda e aplicada do assunto, preparando os alunos para enfrentar desafios no campo da engenharia elétrica com confiança e competência.

## 5 Tabelas Resumo

As tabelas 5 e 6 mostram as tensões de pós-falta obtidas nos três casos distintos de curto-circuito simétrico abordado no *script*.

Tab. 5 – Tabela Resumo para as tensões pós-falta das barras 1 a 5.

		Fases	#1 $ V_1  \angle V_1$	#2 $ V_2  \angle V_2$	#3 $ V_3  \angle V_3$	#4 $ V_4  \angle V_4$	#5 $ V_5  \angle V_5$
1 a) i	PU	A	0.7719 $\angle$ 7.4318°	0.6354 $\angle$ 5.6913°	0.9938 $\angle$ 32.3663°	0.0034 $\angle$ -60.3275°	0.0361 $\angle$ -43.1915°
		B	0.7719 $\angle$ -112.5682°	0.6354 $\angle$ -114.3087°	0.9938 $\angle$ -87.6337°	0.0034 $\angle$ 179.6725°	0.0361 $\angle$ -163.1915°
		C	0.7719 $\angle$ 127.4318°	0.6354 $\angle$ 125.6913°	0.9938 $\angle$ 152.3663°	0.0034 $\angle$ 59.6725°	0.0361 $\angle$ 76.8085°
	SI(V)	A	177537.8 $\angle$ 7.4318°	146152.3 $\angle$ 5.6913°	228574.5 $\angle$ 32.3663°	778.7 $\angle$ -60.3275°	2490.9 $\angle$ -43.1915°
		B	177537.8 $\angle$ -112.5682°	146152.3 $\angle$ -114.3087°	228574.5 $\angle$ -87.6337°	778.7 $\angle$ 179.6725°	2490.9 $\angle$ -163.1915°
		C	177537.8 $\angle$ 127.4318°	146152.3 $\angle$ 125.6913°	228574.5 $\angle$ 152.3663°	778.7 $\angle$ 59.6725°	2490.9 $\angle$ 76.8085°
1 a) ii	PU	A	0.8997 $\angle$ 11.2758°	0.8506 $\angle$ 11.8390°	1.0162 $\angle$ 32.3756°	0.6702 $\angle$ 25.9714°	0.5844 $\angle$ -4.9401°
		B	0.8997 $\angle$ -108.7242°	0.8506 $\angle$ -108.1610°	1.0162 $\angle$ -87.6244°	0.6702 $\angle$ -94.0286°	0.5844 $\angle$ -124.9401°
		C	0.8997 $\angle$ 131.2758°	0.8506 $\angle$ 131.8390°	1.0162 $\angle$ 152.3756°	0.6702 $\angle$ 145.9714°	0.5844 $\angle$ 115.0599°
	SI(V)	A	206933.2 $\angle$ 11.2758°	195641.6 $\angle$ 11.8390°	233726.2 $\angle$ 32.3756°	154149.0 $\angle$ 25.9714°	40324.3 $\angle$ -4.9401°
		B	206933.2 $\angle$ -108.7242°	195641.6 $\angle$ -108.1610°	233726.2 $\angle$ -87.6244°	154149.0 $\angle$ -94.0286°	40324.3 $\angle$ -124.9401°
		C	206933.2 $\angle$ 131.2758°	195641.6 $\angle$ 131.8390°	233726.2 $\angle$ 152.3756°	154149.0 $\angle$ 145.9714°	40324.3 $\angle$ 115.0599°
1 a) iii	PU	A	1.0066 $\angle$ 11.6422°	0.9811 $\angle$ 12.0557°	1.0242 $\angle$ 32.2625°	0.9105 $\angle$ 22.1312°	0.8894 $\angle$ -8.9822°
		B	1.0066 $\angle$ -108.3578°	0.9811 $\angle$ -107.9443°	1.0242 $\angle$ -87.7375°	0.9105 $\angle$ -97.8688°	0.8894 $\angle$ -128.9822°
		C	1.0066 $\angle$ 131.6422°	0.9811 $\angle$ 132.0557°	1.0242 $\angle$ 152.2625°	0.9105 $\angle$ 142.1312°	0.8894 $\angle$ 111.0178°
	SI(V)	A	231513.2 $\angle$ 11.6422°	225664.4 $\angle$ 12.0557°	235559.3 $\angle$ 32.2625°	209407.3 $\angle$ 22.1312°	61366.5 $\angle$ -8.9822°
		B	231513.2 $\angle$ -108.3578°	225664.4 $\angle$ -107.9443°	235559.3 $\angle$ -87.7375°	209407.3 $\angle$ -97.8688°	61366.5 $\angle$ -128.9822°
		C	231513.2 $\angle$ 131.6422°	225664.4 $\angle$ 132.0557°	235559.3 $\angle$ 152.2625°	209407.3 $\angle$ 142.1312°	61366.5 $\angle$ 111.0178°

Tab. 6 – Tabela Resumo para as tensões pós-falta das barras 6 a 11.

		Fases	#6 $ V_6  \angle V_6$	#7 $ V_7  \angle V_7$	#8 $ V_8  \angle V_8$	#9 $ V_9  \angle V_9$	#10 $ V_{10}  \angle V_{10}$	#11 $ V_{11}  \angle V_{11}$
1 a) i	PU	A	0.2236 $\angle$ -42.7968°	0.4248 $\angle$ -32.2119°	0.5464 $\angle$ 3.8619°	0.1710 $\angle$ -58.3372°	0.1711 $\angle$ -88.3472°	0.1846 $\angle$ -94.0201°
		B	0.2236 $\angle$ -162.7968°	0.4248 $\angle$ -152.2119°	0.5464 $\angle$ -116.1381°	0.1710 $\angle$ -178.3372°	0.1711 $\angle$ 151.6528°	0.1846 $\angle$ 145.9799°
		C	0.2236 $\angle$ 77.2032°	0.4248 $\angle$ 87.7881°	0.5464 $\angle$ 123.8619°	0.1710 $\angle$ 61.6628°	0.1711 $\angle$ 31.6528°	0.1846 $\angle$ 25.9799°
	SI(V)	A	15430.8 $\angle$ -42.7968°	29311.8 $\angle$ -32.2119°	125679.4 $\angle$ 3.8619°	11802.3 $\angle$ -58.3372°	2360.8 $\angle$ -88.3472°	2547.5 $\angle$ -94.0201°
		B	15430.8 $\angle$ -162.7968°	29311.8 $\angle$ -152.2119°	125679.4 $\angle$ -116.1381°	11802.3 $\angle$ -178.3372°	2360.8 $\angle$ 151.6528°	2547.5 $\angle$ 145.9799°
		C	15430.8 $\angle$ 77.2032°	29311.8 $\angle$ 87.7881°	125679.4 $\angle$ 123.8619°	11802.3 $\angle$ 61.6628°	2360.8 $\angle$ 31.6528°	2547.5 $\angle$ 25.9799°
1 a) ii	PU	A	0.3491 $\angle$ -16.4926°	0.5519 $\angle$ -20.1575°	0.6773 $\angle$ 11.3409°	0.0209 $\angle$ -100.5188°	0.0209 $\angle$ -130.5298°	0.0429 $\angle$ -137.2917°
		B	0.3491 $\angle$ -136.4926°	0.5519 $\angle$ -140.1575°	0.6773 $\angle$ -108.6591°	0.0209 $\angle$ 139.4812°	0.0209 $\angle$ 109.4702°	0.0429 $\angle$ 102.7083°
		C	0.3491 $\angle$ 103.5074°	0.5519 $\angle$ 99.8425°	0.6773 $\angle$ 131.3409°	0.0209 $\angle$ 19.4812°	0.0209 $\angle$ -10.5298°	0.0429 $\angle$ -17.2917°
	SI(V)	A	24090.5 $\angle$ -16.4926°	38078.6 $\angle$ -20.1575°	155786.9 $\angle$ 11.3409°	1442.5 $\angle$ -100.5188°	289.1 $\angle$ -130.5298°	591.3 $\angle$ -137.2917°
		B	24090.5 $\angle$ -136.4926°	38078.6 $\angle$ -140.1575°	155786.9 $\angle$ -108.6591°	1442.5 $\angle$ 139.4812°	289.1 $\angle$ 109.4702°	591.3 $\angle$ 102.7083°
		C	24090.5 $\angle$ 103.5074°	38078.6 $\angle$ 99.8425°	155786.9 $\angle$ 131.3409°	1442.5 $\angle$ 19.4812°	289.1 $\angle$ -10.5298°	591.3 $\angle$ -17.2917°
1 a) iii	PU	A	0.8320 $\angle$ -15.7360°	0.8945 $\angle$ -18.0406°	0.9231 $\angle$ 12.1155°	0.7428 $\angle$ -16.3884°	0.6265 $\angle$ -47.3195°	0.0526 $\angle$ -131.4062°
		B	0.8320 $\angle$ -135.7360°	0.8945 $\angle$ -138.0406°	0.9231 $\angle$ -107.8845°	0.7428 $\angle$ -136.3884°	0.6265 $\angle$ -167.3195°	0.0526 $\angle$ 108.5938°
		C	0.8320 $\angle$ 104.2640°	0.8945 $\angle$ 101.9594°	0.9231 $\angle$ 132.1155°	0.7428 $\angle$ 103.6116°	0.6265 $\angle$ 72.6805°	0.0526 $\angle$ -11.4062°
	SI(V)	A	57406.7 $\angle$ -15.7360°	61717.9 $\angle$ -18.0406°	212323.9 $\angle$ 12.1155°	51252.7 $\angle$ -16.3884°	8646.3 $\angle$ -47.3195°	725.9 $\angle$ -131.4062°
		B	57406.7 $\angle$ -135.7360°	61717.9 $\angle$ -138.0406°	212323.9 $\angle$ -107.8845°	51252.7 $\angle$ -136.3884°	8646.3 $\angle$ -167.3195°	725.9 $\angle$ 108.5938°
		C	57406.7 $\angle$ 104.2640°	61717.9 $\angle$ 101.9594°	212323.9 $\angle$ 132.1155°	51252.7 $\angle$ 103.6116°	8646.3 $\angle$ 72.6805°	725.9 $\angle$ -11.4062°



A tabela 7 mostra as correntes pós-falta dos transformadores e das linhas de transmissão circunvizinhas à barra 4.

Tab. 7 – Tabela Resumo para as correntes circunvizinhas à barra 4.

		Fases	$\vec{I}_{LT03C1}$ $ \vec{I}  \angle \vec{I}$	$\vec{I}_{LT01C1}$ $ \vec{I}  \angle \vec{I}$	$\vec{I}_{LT01C2}$ $ \vec{I}  \angle \vec{I}$	$\vec{I}_{TR01T1}$ $ \vec{I}  \angle \vec{I}$	$\vec{I}_{TR01T2}$ $ \vec{I}  \angle \vec{I}$
1 a) i	PU	A	1.4119 $\angle$ -76.1968°	2.4977 $\angle$ -47.8669°	2.4977 $\angle$ -47.8669°	0.4485 $\angle$ -98.6263°	0.3220 $\angle$ -98.9918°
		B	1.4119 $\angle$ 163.8032°	2.4977 $\angle$ -167.8669°	2.4977 $\angle$ -167.8669°	0.4485 $\angle$ 141.3737°	0.3220 $\angle$ 141.0082°
		C	1.4119 $\angle$ 43.8032°	2.4977 $\angle$ 72.1331°	2.4977 $\angle$ 72.1331°	0.4485 $\angle$ 21.3737°	0.3220 $\angle$ 21.0082°
	SI(A)	A	354.41 $\angle$ -76.1968°	626.97 $\angle$ -47.8669°	626.97 $\angle$ -47.8669°	112.58 $\angle$ -98.6263°	80.82 $\angle$ -98.9918°
		B	354.41 $\angle$ 163.8032°	626.97 $\angle$ -167.8669°	626.97 $\angle$ -167.8669°	112.58 $\angle$ 141.3737°	80.82 $\angle$ 141.0082°
		C	354.41 $\angle$ 43.8032°	626.97 $\angle$ 72.1331°	626.97 $\angle$ 72.1331°	112.58 $\angle$ 21.3737°	80.82 $\angle$ 21.0082°

A tabela 8 mostra as correntes pós-falta dos transformadores e das linhas de transmissão circunvizinhas à barra 9.

Tab. 8 – Tabela Resumo para as correntes circunvizinhas à barra 9.

		Fases	$\vec{I}_{TR02T1}$ $ \vec{I}  \angle \vec{I}$	$\vec{I}_{LT01J1}$ $ \vec{I}  \angle \vec{I}$	$\vec{I}_{LT04J1}$ $ \vec{I}  \angle \vec{I}$
1 a) ii	PU	A	0.0002 $\angle$ 163.7147°	1.2991 $\angle$ -89.4239°	1.3826 $\angle$ -99.5789°
		B	0.0002 $\angle$ 43.7147°	1.2991 $\angle$ 150.5761°	1.3826 $\angle$ 140.4211°
		C	0.0002 $\angle$ -76.2853°	1.2991 $\angle$ 30.5761°	1.3826 $\angle$ 20.4211°
	SI(A)	A	0.17 $\angle$ 163.7147°	1086.97 $\angle$ -89.4239°	1156.86 $\angle$ -99.5789°
		B	0.17 $\angle$ 43.7147°	1086.97 $\angle$ 150.5761°	1156.86 $\angle$ 140.4211°
		C	0.17 $\angle$ -76.2853°	1086.97 $\angle$ 30.5761°	1156.86 $\angle$ 20.4211°

A tabela 9 mostra a corrente pós-falta da linha de transmissão circunvizinha à barra 11.

Tab. 9 – Tabela Resumo para as correntes circunvizinhas à barra 11.

		Fases	$\vec{I}_{LT01K1}$ $ \vec{I}  \angle \vec{I}$
1 a) iii	PU	A	0.5861 $\angle$ -129.3923°
		B	0.5861 $\angle$ 110.6077°
		C	0.5861 $\angle$ -9.3923°
	SI(A)	A	2452.02 $\angle$ -129.3923°
		B	2452.02 $\angle$ 110.6077°
		C	2452.02 $\angle$ -9.3923°

## Referências

- ABB. *VD4/R - Disjuntores de média tensão em vácuo para distribuição secundária*. [S.l.], 2015. Disponível em: <[https://library.e.abb.com/public/9b64667cc7e6420abb906851d15416db/CA\\_VD4-R\(PT\)H\\_1VCP000263-1506.pdf?x-sign=X9KJfOBeRI8dF+FIN0vwBsZ4WwMHuahG/1ea7UDaLd2FdqB0tnp7yLH13Kh9n/DI](https://library.e.abb.com/public/9b64667cc7e6420abb906851d15416db/CA_VD4-R(PT)H_1VCP000263-1506.pdf?x-sign=X9KJfOBeRI8dF+FIN0vwBsZ4WwMHuahG/1ea7UDaLd2FdqB0tnp7yLH13Kh9n/DI)>. Acesso em: 25.10.2023. Citado na página 16.
- GRAINGER, J. J.; STEVENSON, W. D. *Power system analysis*. [S.l.]: Tata McGraw-Hill Education, 1994. Citado na página 10.