

Análise Integrada de Fluxo de Potência e Curto-Circuito Assimétrico no Simulight

Exemplo 12.1 do Grainger/Stevenson (pág. 479).

Este é um exemplo de análise integrada de fluxo de potência e curto-circuito assimétrico que pode ser feita no software Simulight. O sistema teste é retirado do livro “Power System Analysis” de John J. Grainger & Willian D. Stevenson Jr, 1994. Os dados se encontram no Exemplo 12.1 (pág. 479) do capítulo “Unsymmetrical Faults on Power Systems”. A Figura 1 mostra o diagrama unifilar do sistema teste.



Figura 1 – Diagrama unifilar do sistema do Exemplo 12.1 do Stevenson

Os dados para rodar o caso no Simulight se encontram no arquivo Exemplo12_1_GraSte.fdx.

Fluxo de Potência

Barra	Nome	Subestação	Tensão (pu)	Tensão (%)	Geração (MW)	Geração (Mvar)	Carga (MW)	Carga (Mvar)	Outros (MW)	Outros (Mvar)	Empresa
1	Barra 01	UG1	1.0000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
2	Barra 02	UG1	1.0000	30.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
3	Barra 03	UG2	1.0000	30.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
4	Barra 04	UG2	1.0000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

Figura 2 – Resultado do fluxo de potência

Curto-Circuito

As Fig.3-6 apresentam os resultados do curto-circuito trifásico nas Barras 01-04, respectivamente.

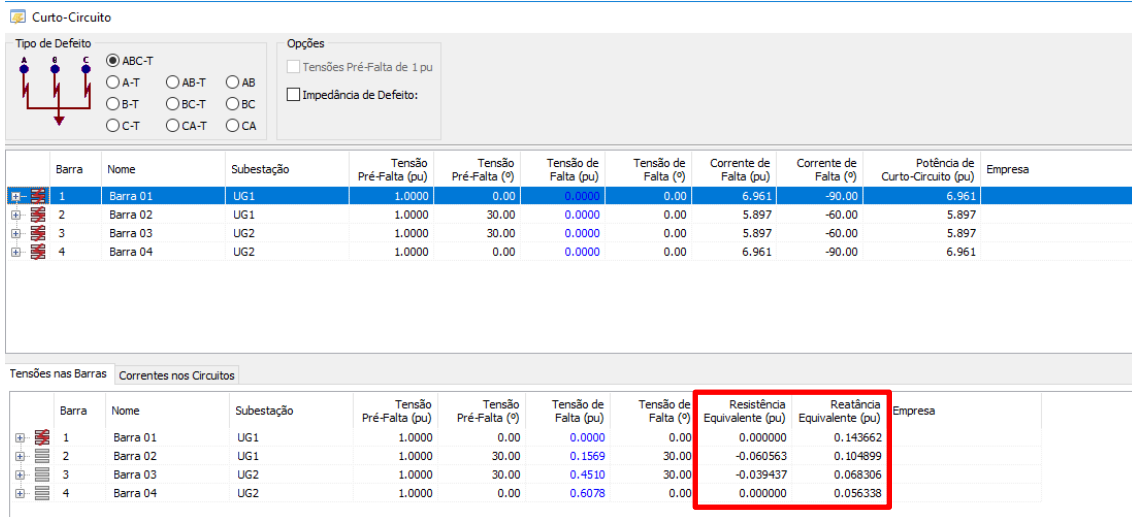


Figura 3 – Resultado do curto-circuito trifásico na Barra 01

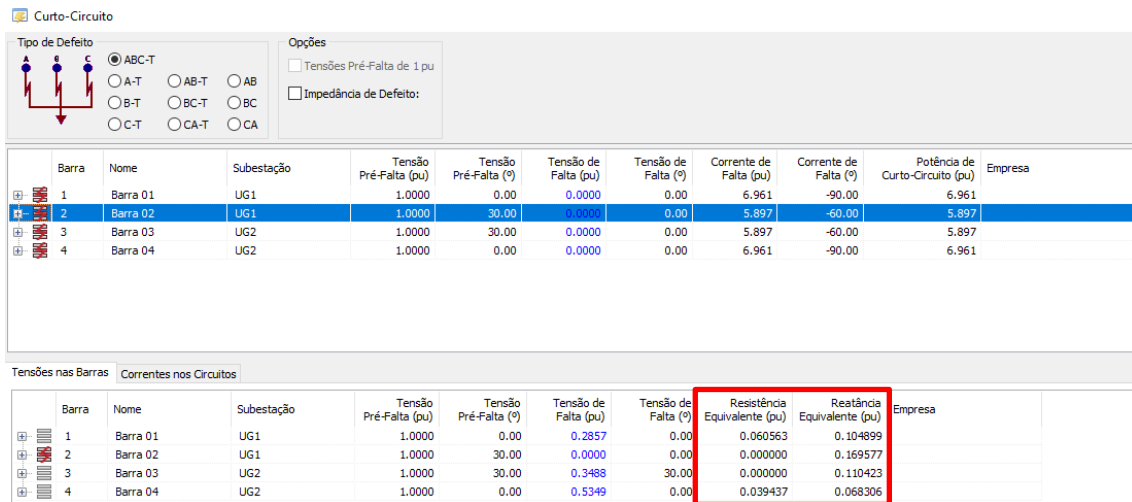


Figura 4 – Resultado do curto-circuito trifásico na Barra 02

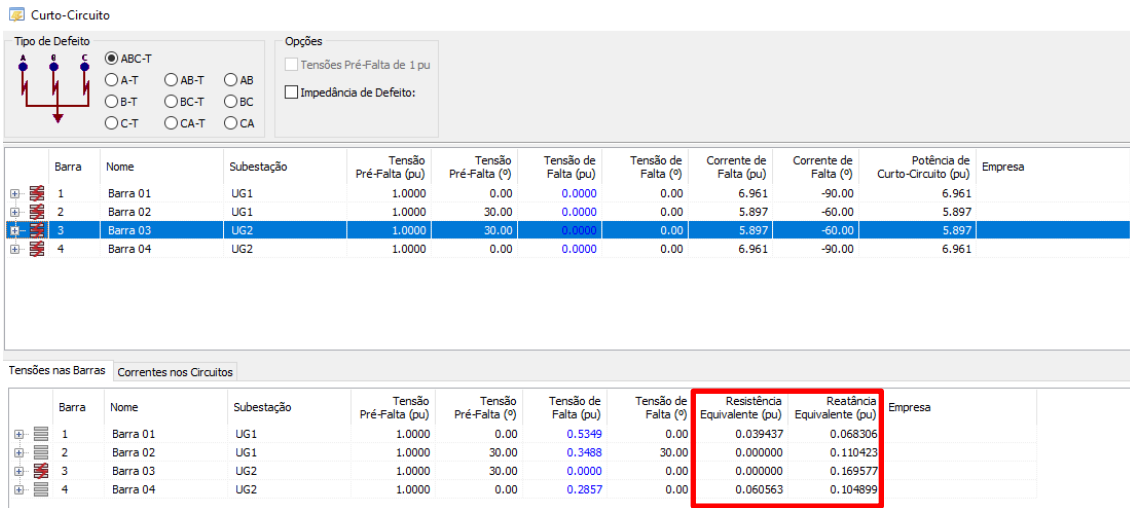


Figura 5 – Resultado do curto-circuito trifásico na Barra 03

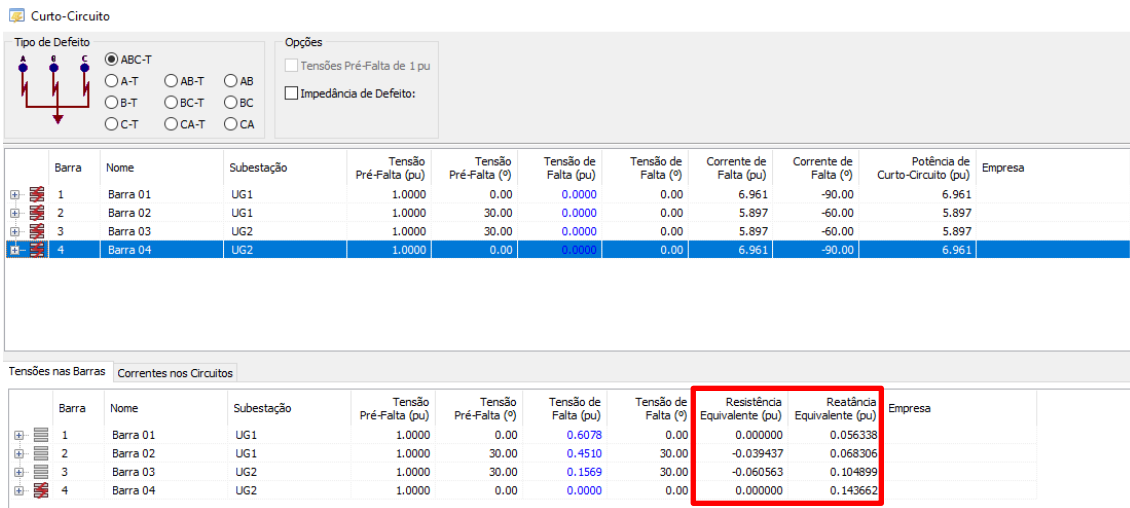


Figura 6 – Resultado do curto-circuito trifásico na Barra 04

As matrizes Z_{barra} de sequência positiva e negativa são reproduzidas de [1] (pág. 482) e são mostradas em (1). A matriz Z_{barra} de sequência zero é mostrada em (2).

$$Z_{barra}^{(+)} = Z_{barra}^{(-)} = \begin{bmatrix} j0,1437 & j0,1211 & j0,0789 & j0,0563 \\ j0,1211 & j0,1696 & j0,1104 & j0,0789 \\ j0,0789 & j0,1104 & j0,1696 & j0,1211 \\ j0,0563 & j0,0789 & j0,1211 & j0,1437 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$Z_{barra}^{(0)} = \begin{bmatrix} j0,19 & 0,0 & 0,0 & 0,0 \\ 0,0 & j0,08 & j0,08 & 0,0 \\ 0,0 & j0,08 & j0,58 & 0,0 \\ 0,0 & 0,0 & 0,0 & j0,19 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Já as matrizes Z_{barra} de sequência positiva e negativa calculada pelo Simulight são mostradas em (3). A matriz Z_{barra} de sequência zero calculada pelo Simulight é a mesma mostrada em (2).

$$Z_{barra}^{(+)} = Z_{barra}^{(-)} = \begin{bmatrix} j0,1437 & 0,0606 + j0,1049 & 0,0394 + j0,0683 & j0,0563 \\ -0,0606 + j0,1049 & j0,1696 & j0,1104 & -0,0394 + j0,0683 \\ -0,0394 + j0,0683 & j0,1104 & j0,1696 & -0,0606 + j0,1049 \\ j0,0563 & 0,0394 + j0,0683 & 0,0606 + j0,1049 & j0,1437 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Na forma polar (3) é dada por (4):

$$Z_{barra}^{(+)} = Z_{barra}^{(-)} = \begin{bmatrix} j0,1437 & 0,1211e^{60j} & 0,0788e^{60j} & j0,0563 \\ 0,1211e^{120j} & j0,1696 & j0,1104 & 0,0788e^{120j} \\ 0,0788e^{120j} & j0,1104 & j0,1696 & 0,1211e^{120j} \\ j0,0563 & 0,0788e^{60j} & 0,1211e^{60j} & j0,1437 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Nota-se que em termos de magnitude (1) é igual a (4), porém em (4) fica explícito o defasamento angular dado pelos transformadores, deixando a matriz assimétrica. Como a análise no Simulight é feita em componentes de fase e de forma integrada, a referência angular na solução do curto-circuito é definida nos dados do fluxo de potência, ou seja, o ângulo da barra $V\theta$.

Nó método de solução por componentes simétricas e sem integração com a solução do fluxo de potência, normalmente a barra do curto-circuito é a referência angular do estudo. Neste caso, quando houver transformadores Y- Δ , deve-se tomar o cuidado de se aplicar a defasagem angular nas tensões e correntes, na passagem das grandezas do primário para o secundário e vice-versa.

Exemplo 12.2 do Grainger/Stevenson (pág. 485).

Chama-se a atenção para o tipo de ligação dos dois transformadores da Fig.7.



Figura 7 – Diagrama unifilar do sistema do Exemplo 12.2 do Stevenson

Os dados para rodar o caso no Simulight se encontram no arquivo Exemplo12_2_GraSte.fdx.

Fluxo de Potência

Barra	Nome	Subestação	Tensão (pu)	Tensão (%)	Geração (MW)	Geração (Mvar)	Carga (MW)	Carga (Mvar)	Outros (MW)	Outros (Mvar)	Empresa
1	Barra 01	UG1	1.0000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
2	Barra 02	UG1	1.0000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
3	Barra 03	UG2	1.0000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
4	Barra 04	UG2	1.0000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

Figura 8 – Resultado do fluxo de potência para o Exemplo 12.2

Curto-Circuito

Com as ligações Yg-Yg nos dois transformadores, as matrizes Z_{barra} de sequência positiva e negativa são as mesmas dadas em (1). A matriz Z_{barra} dada pelo Simulight em (2) neste caso é igual a do Stevenson, uma vez que não há defasagem angular nos transformadores.

$$Z_{barra}^{(+)} = Z_{barra}^{(-)} = \begin{bmatrix} j0,1437 & j0,1211 & j0,0789 & j0,0563 \\ j0,1211 & j0,1696 & j0,1104 & j0,0789 \\ j0,0789 & j0,1104 & j0,1696 & j0,1211 \\ j0,0563 & j0,0789 & j0,1211 & j0,1437 \end{bmatrix} \quad (5)$$

A Fig.9 apresenta o resultado de um curto-circuito monofásico na fase *a* na Barra 03. Destaca-se a corrente de curto-circuito e as tensões de fase na Barra 04.

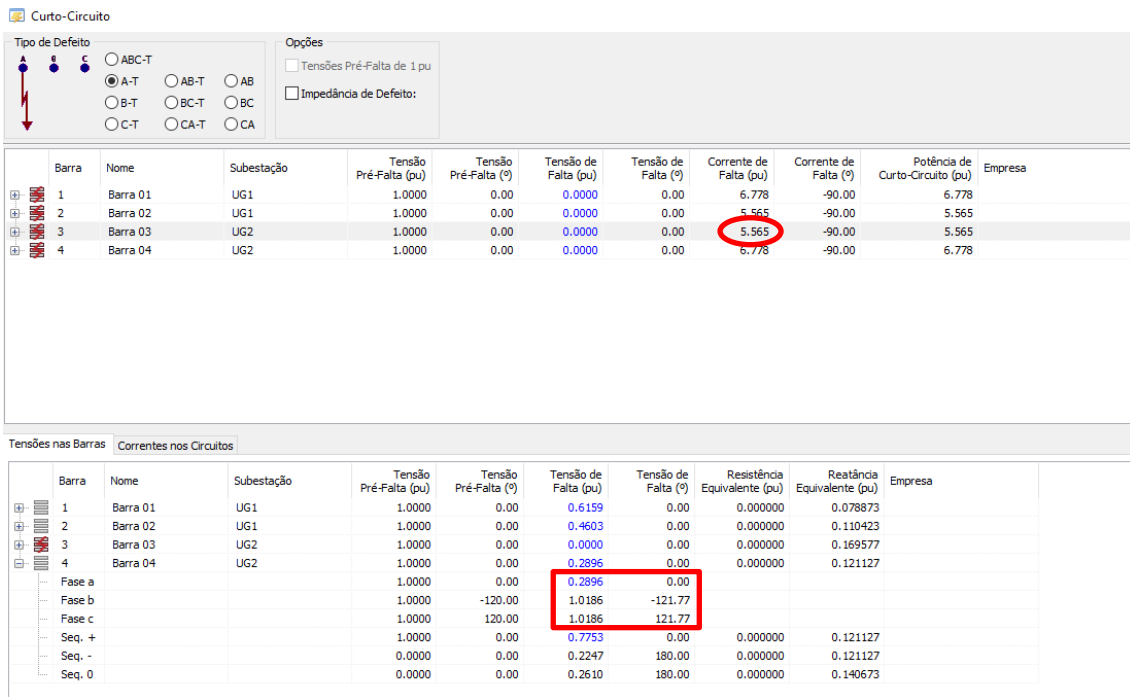


Figura 9 – Resultado do curto-circuito monofásico (fase A) na Barra 03

Exemplo 12.3 do Grainger/Stevenson (pág. 490).

Utiliza o mesmo sistema do Exemplo 12.1 (reproduzido na Fig.10 por facilidade). Os dados para rodar este exemplo no Simulight também se encontram no arquivo Exemplo12_1_GraSte.fdx. A única diferença é na hora de aplicar o curto-circuito que deve ser um curto fase-fase (b-c) na Barra 3.



Figura 10 – Diagrama unifilar do sistema do Exemplo 12.3 do Stevenson

A Fig.11 destaca a corrente de curto na Barra 03 e as tensões nas Barras 03 e 04 durante o curto-circuito bifásico sem terra.

Curto-Circuito

Tipo de Defeito: ABC-T A-T AB-T AB B-T BC-T BC C-T CA-T CA

Opções: Tensões Pré-Falta de 1 pu Impedância de Defeito:

Barra	Nome	Subestação	Tensão Pré-Falta (pu)	Tensão Pré-Falta (°)	Tensão de Falta (pu)	Tensão de Falta (°)	Corrente de Falta (pu)	Corrente de Falta (°)	Potência de Curto-Circuito (pu)	Empresa
1	Barra 01	UG1	1.0000	-120.00	0.5000	-180.00	6.028	-180.00		
2	Barra 02	UG1	1.0000	-90.00	0.5000	-150.00	5.107	-150.00		
3	Barra 03	UG2	1.0000	-90.00	0.5000	-150.00	5.107	-150.00		
	Fase a		1.0000	30.00	1.0000	30.00	0.000	0.00		
	Fase b		1.0000	-90.00	0.5000	-150.00	5.107	-150.00		
	Fase c		1.0000	150.00	0.5000	-150.00	5.107	30.00		
	Seq. +		1.0000	30.00	0.5000	30.00	2.949	-60.00		
	Seq. -		0.0000	0.00	0.5000	30.00	2.949	120.00		
	Seq. 0		0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.000	0.00		
4	Barra 04	UG2	1.0000	-120.00	0.5000	180.00	6.028	180.00		

Barra	Nome	Subestação	Tensão Pré-Falta (pu)	Tensão Pré-Falta (°)	Tensão de Falta (pu)	Tensão de Falta (°)	Resistência Equivalente (pu)	Reatância Equivalente (pu)	Empresa
1	Barra 01	UG1	1.0000	-120.00	0.9064	-132.84	0.039437	0.068306	
2	Barra 02	UG1	1.0000	-90.00	0.5842	-118.86	0.000000	0.110423	
3	Barra 03	UG2	1.0000	-90.00	0.5000	-150.00	0.000000	0.169577	
	Fase a		1.0000	30.00	1.0000	30.00			
	Fase b		1.0000	-90.00	0.5000	-150.00			
	Fase c		1.0000	150.00	0.5000	-150.00			
	Seq. +		1.0000	30.00	0.5000	30.00	0.000000	0.169577	
	Seq. -		0.0000	0.00	0.5000	30.00	0.000000	0.169577	
	Seq. 0		0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.000000	0.580000	
4	Barra 04	UG2	1.0000	-120.00	0.8777	-140.63	0.060563	0.104899	
	Fase a		1.0000	0.00	0.8777	20.63			
	Fase b		1.0000	-120.00	0.8777	-140.63			
	Fase c		1.0000	120.00	0.2857	120.00			
	Seq. +		1.0000	0.00	0.6429	0.00	0.060563	0.104899	
	Seq. -		0.0000	0.00	0.3571	60.00	-0.060563	0.104899	
	Seq. 0		0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.000000	0.000000	

Figura 11 – Resultado do curto-circuito fase-fase (b-c) na Barra 03

Exemplo 12.4 do Grainger/Stevenson (pág. 496).

Utiliza o mesmo sistema do Exemplo 12.1 (reproduzido na Fig.12 por facilidade). Os dados para rodar este exemplo no Simulight também se encontram no arquivo Exemplo12_1_GraSte.fdx. A única diferença é na hora de aplicar o curto-circuito que deve ser um curto fase-fase-terra (b-c) na Barra 4, com impedância de curto nula.



Figura 12 – Diagrama unifilar do sistema do Exemplo 12.4 do Stevenson

A Fig.13 destaca a corrente de curto e a tensão na Barra 04 durante o curto-circuito bifásico com terra.

Curto-Circuito

Tipo de Defeito: ABC-T A-T B-T C-T AB-T AB BC-T BC CA-T CA

Opções: Tensões Pré-Falta de 1 pu Impedância de Defeito:

Barra	Nome	Subestação	Tensão Pré-Falta (pu)	Tensão Pré-Falta (°)	Tensão de Falta (pu)	Tensão de Falta (°)	Corrente de Falta (pu)	Corrente de Falta (°)	Potência de Curto-Circuito (pu)	Empresa
1	Barra 01	UG1	1.0000	-120.00	0.0000	0.00	6.674	154.58		
2	Barra 02	UG1	1.0000	-90.00	0.0000	0.00	6.841	168.29		
3	Barra 03	UG2	1.0000	-90.00	0.0000	0.00	5.230	-162.46		
4	Barra 04	UG2	1.0000	-120.00	0.0000	0.00	6.674	154.58		
	Fase a		1.0000	0.00	1.0885	0.00	0.000	0.00		
	Fase b		1.0000	-120.00	0.0000	0.00	6.674	154.58		
	Fase c		1.0000	120.00	0.0000	0.00	6.674	25.42		
	Seq. +		1.0000	0.00	0.3628	0.00	4.435	-90.00		
	Seq. -		0.0000	0.00	0.3628	0.00	2.526	90.00		
	Seq. 0		0.0000	0.00	0.3628	0.00	1.910	90.00		

Tensões nas Barras

Barra	Nome	Subestação	Tensão Pré-Falta (pu)	Tensão Pré-Falta (°)	Tensão de Falta (pu)	Tensão de Falta (°)	Resistência Equivalente (pu)	Reatância Equivalente (pu)	Empresa
1	Barra 01	UG1	1.0000	-120.00	0.6901	-130.29	0.000000	0.056338	
2	Barra 02	UG1	1.0000	-90.00	0.4510	-90.00	-0.039437	0.068306	
3	Barra 03	UG2	1.0000	-90.00	0.1569	-90.00	-0.060563	0.104899	
4	Barra 04	UG2	1.0000	-120.00	0.0000	0.00	0.000000	0.143662	
	Fase a		1.0000	0.00	1.0885	0.00			
	Fase b		1.0000	-120.00	0.0000	0.00			
	Fase c		1.0000	120.00	0.0000	0.00			
	Seq. +		1.0000	0.00	0.3628	0.00	0.000000	0.143662	
	Seq. -		0.0000	0.00	0.3628	0.00	0.000000	0.143662	
	Seq. 0		0.0000	0.00	0.3628	0.00	0.000000	0.190000	

Figura 13 – Resultado do curto-circuito fase-fase-terra (b-c) na Barra 04

Exemplo 12.5 do Grainger/Stevenson (pág. 499).

Utiliza o mesmo sistema do Exemplo 12.1 (reproduzido na Fig.14 por facilidade) com o mesmo curto-circuito do Exemplo 12.4. Os dados para rodar este exemplo no Simulight também se encontram no arquivo Exemplo12_1_GraSte.fdx. Pede-se as tensões na Barra 2.

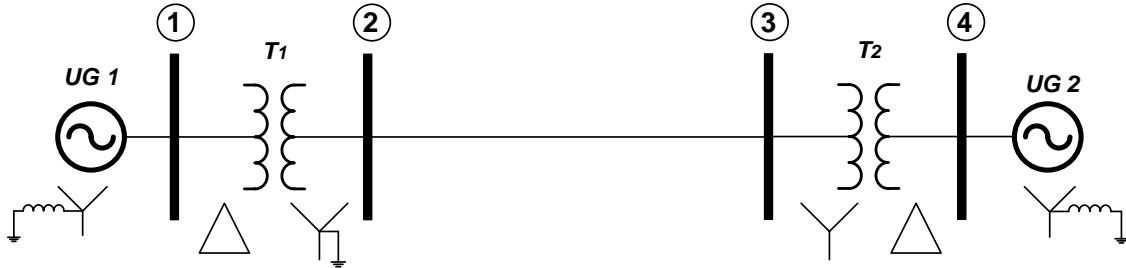


Figura 14 – Diagrama unifilar do sistema do Exemplo 12.5 do Stevenson

A Fig.15 destaca a corrente de curto e a tensão na Barra 04 durante o curto-circuito bifásico com terra.

Curto-Circuito

Tipo de Defeito: ABC-T A-T B-T C-T AB-T BC-T CA-T AB BC CA

Opções: Tensões Pré-Falta de 1 pu Impedância de Defeito:

Barra	Nome	Subestação	Tensão Pré-Falta (pu)	Tensão Pré-Falta (°)	Tensão de Falta (pu)	Tensão de Falta (°)	Corrente de Falta (pu)	Corrente de Falta (°)	Potência de Curto-Circuito (pu)	Empresa
1	Barra 01	UG1	1.0000	-120.00	0.0000	0.00	6.674	154.58		
2	Barra 02	UG1	1.0000	-90.00	0.0000	0.00	6.841	168.29		
3	Barra 03	UG2	1.0000	-90.00	0.0000	0.00	5.230	-162.46		
4	Barra 04	UG2	1.0000	-120.00	0.0000	0.00	6.674	154.58		
	Fase a		1.0000	0.00	1.0885	0.00	0.000	0.00		
	Fase b		1.0000	-120.00	0.0000	0.00	6.674	154.58		
	Fase c		1.0000	120.00	0.0000	0.00	6.674	25.42		
	Seq. +		1.0000	0.00	0.3628	0.00	4.435	-90.00		
	Seq. -		0.0000	0.00	0.3628	0.00	2.526	90.00		
	Seq. 0		0.0000	0.00	0.3628	0.00	1.910	90.00		

Tensões nas Barras | Correntes nos Circuitos

Barra	Nome	Subestação	Tensão Pré-Falta (pu)	Tensão Pré-Falta (°)	Tensão de Falta (pu)	Tensão de Falta (°)	Resistência Equivalente (pu)	Reatância Equivalente (pu)	Empresa
1	Barra 01	UG1	1.0000	-120.00	0.6901	-130.29	0.000000	0.056338	
2	Barra 02	UG1	1.0000	-90.00	0.4510	-90.00	-0.039437	0.068306	
	Fase a		1.0000	30.00	0.7694	17.04			
	Fase b		1.0000	-90.00	0.4510	-90.00			
	Fase c		1.0000	150.00	0.7694	162.96			
	Seq. +		1.0000	30.00	0.6502	30.00	-0.039437	0.068306	
	Seq. -		0.0000	0.00	0.1992	-30.00	0.039437	0.068306	
	Seq. 0		0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.000000	0.000000	
3	Barra 03	UG2	1.0000	-90.00	0.1569	-90.00	-0.060563	0.104899	
4	Barra 04	UG2	1.0000	-120.00	0.0000	0.00	0.000000	0.143662	

Figura 15 – Resultado do curto-circuito fase-fase-terra (b-c) na Barra 04

Referência

[1] J. J. Grainger & W. D. Stevenson Jr., "Power System Analysis", McGraw-Hill International Editions, 1994.