Distribuição de Energia Elétrica

Faltas assimétricas

Lucas S Melo

Universidade Federal do Ceará

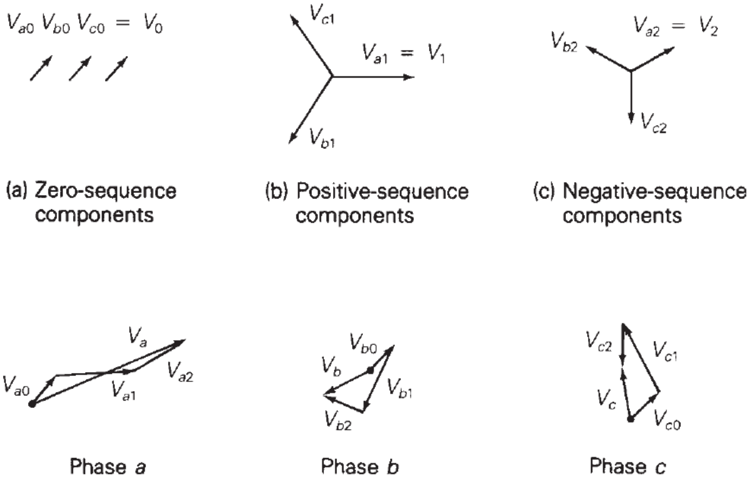
Maio de 2017

Componentes Simétricas

Assumindo as tensões de fase V_a, V_b e V_c, de acordo com o Teorema de Fortescue:

- Componentes de sequência zero: Consiste de três fasores de mesma magnitude e defasados de 0^o;
- Componentes de sequência positiva: Consiste de três fasores de mesma magnitude e defasados de $\pm 120^o$ e mesma sequencia do sistema original;
- Componentes de sequência negativa: Consiste de três fasores de mesma magnitude e defasados de $\pm 120^o$ e sequência oposta à do sistema original.

Componentes Simétricas



Componentes Simétricas

$$V_a = V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)}$$
$$V_b = V_b^{(0)} + V_b^{(1)} + V_b^{(2)}$$
$$V_c = V_c^{(0)} + V_c^{(1)} + V_c^{(2)}$$

Considerando $a = 1\angle 120^o$, então $a^2 = 1\angle 240^o$

$$\begin{aligned} V_a &= V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)} \\ V_b &= V_a^{(0)} + a^2 V_a^{(1)} + a V_a^{(2)} \\ V_c &= V_a^{(0)} + a V_a^{(1)} + a^2 V_a^{(2)} \end{aligned}$$

Componentes Simétricas

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} \tag{1}$$

Em que,

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \tag{2}$$

Componentes Simétricas

Calculando A^{-1}:

$$A^{-1} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \tag{3}$$

É possível obter:

$$\begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \tag{4}$$

Componentes Simétricas

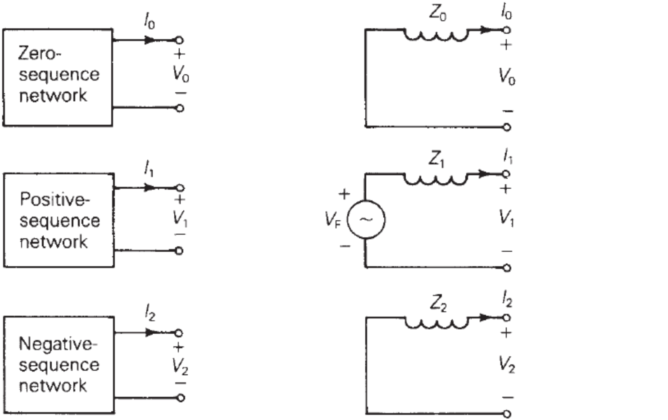
As mesmas relações obtidas para tensões, nos slides anteriores, também são válidas para obter as correntes em função de suas componentes de sequência:

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^{(0)} \\ I_a^{(1)} \\ I_a^{(2)} \end{bmatrix} \tag{5}$$

E as componentes de sequência em função das correntes:

$$\begin{bmatrix} I_a^{(0)} \\ I_a^{(1)} \\ I_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \tag{6}$$

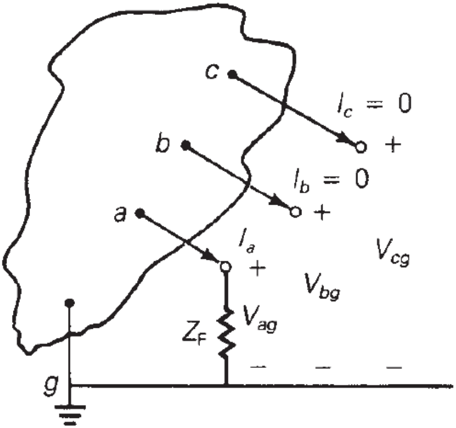
Componentes de Sequência



(a) General sequence networks

(b) Thévenin equivalents as viewed from fault terminals

Curto-Circuito Monofásico



(a) General three-phase bus

Fault conditions in phase domain:

$$V_{ag} = Z_F I_a$$

$$I_b = I_c = 0$$

Curto-Circuito Monofásico

Aplicando as condições $I_b = I_c = 0$ nas equações de componentes simétricas, obtém-se:

$$\begin{bmatrix} I_a^{(0)} \\ I_a^{(1)} \\ I_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{7}$$

O que leva a primeira relação para montagem do circuito de sequência:

$$I_a^{(0)} = I_a^{(1)} = I_a^{(2)} = \frac{I_a}{3} \tag{8}$$

Curto-Circuito Monofásico

Com $V_a = Z_f I_a$, tal que:

$$(V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)}) = Z_f (I_a^{(0)} + I_b^{(1)} + I_a^{(2)}) \tag{9}$$

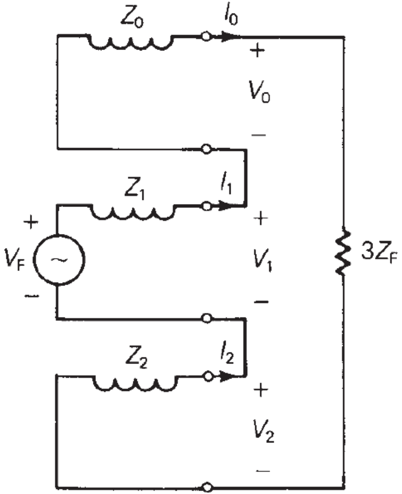
Como

$$I_a^{(0)} = I_a^{(1)} = I_a^{(2)} \tag{10}$$

Então, obtém-se a segunda relação para montagem do circuito de sequência:

$$(V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)}) = 3Z_f (I_a^{(0)}) \tag{11}$$

Curto-Circuito Monofásico



Fault conditions
in sequence domain:

$$I_0 = I_1 = I_2$$

$$(V_0 + V_1 + V_2) = 3Z_F I_1$$

Curto-Circuito Monofásico

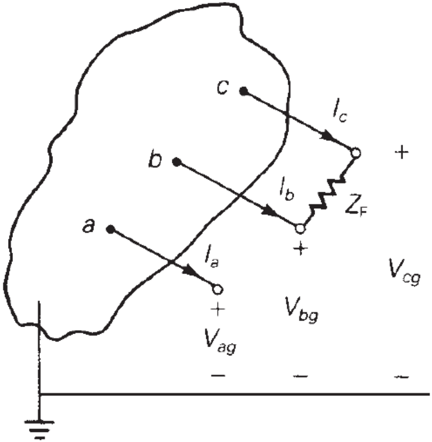
Em que a corrente de falta é dada por:

$$I_a^{(0)} = I_b^{(1)} = I_c^{(2)} = \frac{V_f}{Z^{(0)} + Z^{(1)} + Z^{(2)} + 3Z_f} \tag{12}$$

Com

$$I_f = 3I_a^{(1)} \tag{13}$$

Curto-Circuito Bifásico



(a) General three-phase bus

Fault conditions
in phase domain:

$I_a = 0$

$I_c = -I_b$

$(V_{bg} - V_{cg}) = Z_F I_b$

Curto-Circuito Bifásico

Aplicando as condições $I_a = 0$, $I_b = -I_c$ nas equações de componentes simétricas, obtém-se:

$$\begin{bmatrix} I_a^{(0)} \\ I_a^{(1)} \\ I_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_b \\ -I_b \end{bmatrix} \tag{14}$$

O que leva as seguintes condições para a montagem do circuito de sequência:

$$I_a^{(0)} = 0 \tag{15}$$

$$I_a^{(1)} = -I_a^{(2)} \tag{16}$$

Curto-Circuito Bifásico

E com $V_b - V_c = Z_f I_b$, tal que:

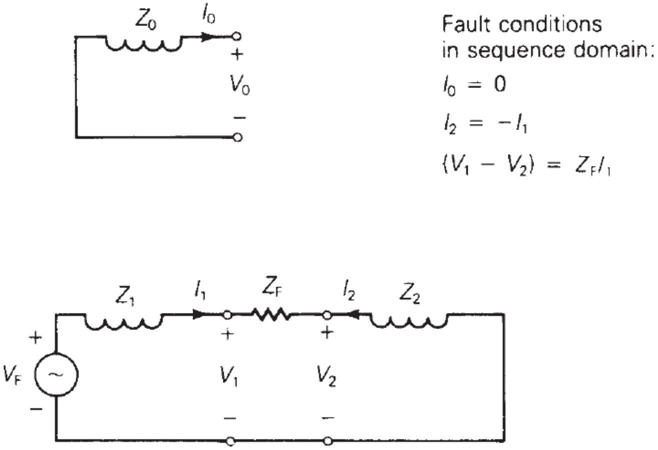
$$(V_b^{(0)} + V_b^{(1)} + V_b^{(2)}) - (V_c^{(0)} + V_c^{(1)} + V_c^{(2)}) = Z_f (I_a^{(0)} + a^2 I_a^{(1)} + a I_a^{(2)})$$

$$(a^2 - a)(V_a^{(1)} - V_a^{(2)}) = (a^2 - a) Z_f I_a^{(1)} \tag{17}$$

Obtém-se outra condição para montagem do circuito de sequência:

$$V_a^{(1)} - V_a^{(2)} = Z_f I_a^{(1)} \tag{18}$$

Curto-Circuito Bifásico



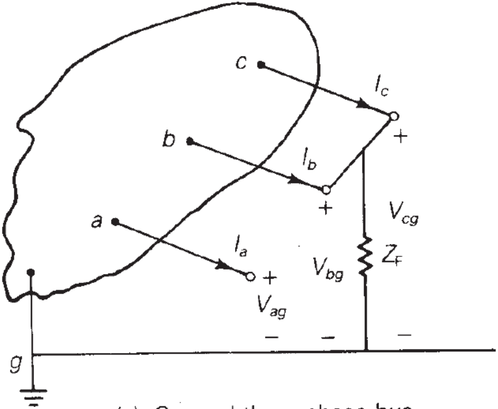
(b) Interconnected sequence networks

Curto-Circuito Bifásico

Em que a corrente de falta é dada por:

$$I_f = I_a^{(1)} = -I_a^{(2)} = \frac{V_f}{Z^{(1)} + Z^{(2)} + Z_f} \tag{19}$$

Curto-Circuito Bifásico à Terra



(a) General three-phase bus

Fault conditions
in phase domain:

$I_a = 0$

$V_{bg} = V_{cg} = Z_F(I_b + I_c)$

Curto-Circuito Bifásico à Terra

Aplicando a condição $I_a = 0$ nas equações de componentes simétricas:

$$\begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^1 \\ I_a^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \tag{20}$$

$$I_a^{(0)} + I_a^{(1)} + I_a^{(2)} = \frac{1}{3} \left[I_b + I_c + (a + a^2) I_b + (a + a^2) I_c \right] \tag{21}$$

Obtém-se a primeira relação para montagem do circuito de sequência:

$$I_a^{(0)} + I_a^{(1)} + I_a^{(2)} = 0 \tag{22}$$

Curto-Circuito Bifásico à Terra

Aplicando a representação de componentes simétricas na condição $V_b = V_c$:

$$V_a^{(1)} = \frac{1}{3}\left(V_a + aV_b + a^2 V_b\right)$$
$$V_a^{(2)} = \frac{1}{3}\left(V_a + a^2 V_b + aV_b\right)$$

Obtém-se a segunda relação para montagem do circuito de sequência:

$$V_a^{(1)} = V_a^{(2)} \tag{23}$$

Curto-Circuito Bifásico à Terra

Novamente aplicando as componentes de sequência na condição $V_b = Z_f(I_b + I_c)$ e levando em consideração as condições anteriores:

$$V_a^{(1)} = V_a^{(2)} \tag{24}$$

$$I_a^{(0)} + I_a^{(1)} + I_a^{(2)} = 0 \tag{25}$$

$$V_b = V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)} \tag{26}$$

$$I_b = I_a^{(0)} + a^2 I_a^{(1)} + a I_a^{(2)} \tag{27}$$

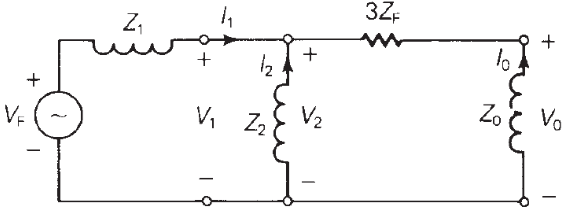
$$I_c = I_a^{(0)} + a I_a^{(1)} + a^2 I_a^{(2)} \tag{28}$$

Curto-Circuito Bifásico à Terra

Obtém-se a terceira condição para montagem do circuito de sequência:

$$V_a^{(1)} - V_a^{(0)} = 3Z_f I_a^{(0)} \tag{29}$$

Curto-Circuito Bifásico à Terra



(b) Interconnected sequence networks

Fault conditions in sequence domain:

$I_0 + I_1 + I_2 = 0$

$V_0 - V_1 = (3Z_F)I_0$

$V_1 = V_2$

Curto-Circuito Bifásico à Terra

As expressões para cada uma das correntes de sequência são:

$$I_a^{(1)} = \frac{V_f}{Z^{(1)} + [Z^{(2)} // (Z^{(0)} + 3Z_f)]} \tag{30}$$

$$I_a^{(2)} = (-I_a^{(1)}) \cdot \left(\frac{Z^{(0)} + 3Z_f}{Z^{(0)} + 3Z_f + Z^{(2)}} \right) \tag{31}$$

$$I_a^{(0)} = (-I_a^{(1)}) \cdot \left(\frac{Z^{(2)}}{Z^{(0)} + 3Z_f + Z^{(2)}} \right) \tag{32}$$