

Questão 01 – Existem condições em que a potência de curto-circuito monofásico (falta à terra) tem níveis maiores que no caso de curto-circuitos trifásicos. Por que isso acontece e em que casos pode acontecer?

Utilizando o conceito de componentes simétricas,

$$\begin{aligned} \dot{E} &= \dot{V}_{a1} + Z_1 \cdot \dot{I}_{a1} && \text{Circuito de sequência positiva} \\ \dot{V}_{a2} &= -Z_2 \cdot \dot{I}_{a2} && \text{Circuito de sequência negativa} \\ \dot{V}_{a0} &= -(Z_0 + 3Z_G) \cdot \dot{I}_{a0} && \text{Circuito de sequência zero} \end{aligned}$$

Basicamente, os valores de sequência positiva estão presentes durante condições trifásicas equilibradas; os valores de sequência negativa medem o desbalanço existente no sistema de potência e os valores de sequência zero estão relacionados com o fato de envolver a terra no desbalanço.

As condições de contorno para um curto-circuito trifásico são:

$$\begin{aligned} \dot{V}_a &= \dot{V}_b = \dot{V}_c = 0 \\ 3\dot{V}_{a1} &= \dot{V}_a + a\dot{V}_b + a^2\dot{V}_c = 0 \\ 3\dot{V}_{a2} &= \dot{V}_a + a\dot{V}_c + a^2\dot{V}_b = 0 \\ 3\dot{V}_{a0} &= \dot{V}_a + \dot{V}_b + \dot{V}_c = 0 \\ \dot{V}_{a1} &= \dot{V}_{a2} + \dot{V}_{a0} \quad (\text{Curto-circuito}) \end{aligned}$$

$$\dot{E} = \dot{V}_{a1} + Z_1 \cdot \dot{I}_{a1} = 0 + Z_1 \cdot \dot{I}_{a1}$$

Como:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{a2} &= -Z_2 \cdot \dot{I}_{a2} \Rightarrow \dot{I}_{a2} = 0 \\ \dot{V}_{a0} &= -Z_0 \cdot \dot{I}_{a0} \Rightarrow \dot{I}_{a0} = 0 \end{aligned}$$

Então,

$$\dot{I}_a = \dot{I}_{a1}$$

$$\dot{I}_b = a^2 \dot{I}_{a1}$$

$$\dot{I}_c = a \dot{I}_{a1}$$

$$I_{cc3\phi} = \frac{\dot{E}}{Z_1}$$

As condições de contorno para um curto-circuito monofásico (fase-terra), desprezando as correntes pré-falta são:

$$\dot{V}_a = 0$$

$$\dot{I}_b = \dot{I}_c = 0$$

$$3\dot{I}_{a1} = \dot{I}_a + a\dot{I}_b + a^2\dot{I}_c = \dot{I}_a + a \cdot 0 + a^2 \cdot 0 = \dot{I}_a$$

$$3\dot{I}_{a2} = \dot{I}_a + a^2\dot{I}_b + a\dot{I}_c = \dot{I}_a + a^2 \cdot 0 + a \cdot 0 = \dot{I}_a$$

$$3\dot{I}_{a0} = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = \dot{I}_a + 0 + 0 = \dot{I}_a$$

E as tensões:

$$\dot{V}_a = \dot{V}_{a1} + \dot{V}_{a2} + \dot{V}_{a0} = 0$$

$$0 = \dot{E} - Z_1 \cdot \dot{I}_{a1} - Z_2 \cdot \dot{I}_{a2} - (Z_0 + 3Z_G) \cdot \dot{I}_{a0}$$

$$\dot{E} = Z_1 \cdot \dot{I}_{a1} + Z_2 \cdot \dot{I}_{a2} + (Z_0 + 3Z_G) \cdot \dot{I}_{a0}$$

$$\dot{I}_a = \dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2} + \dot{I}_{a0} =_{a0} = 3\dot{I}_{a1}$$

$$\dot{I}_{a1} = \frac{\dot{E}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_G}$$

$$\dot{I}_{cc1\phi} = \frac{3\dot{E}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_G}$$

Aproximando o valor das impedâncias de sequência positiva e negativa:

$$Z_1 \approx Z_2$$

E considerando um curto franco, através de impedância nula (pior caso, maior amplitude de corrente de curto-circuito):

$$Z_G \approx 0$$

Tem-se:

$$I_{cc1\phi} = \frac{3\dot{E}}{2Z_1 + Z_0}$$

Se $I_{cc1\phi} > I_{cc3\phi}$, então:

$$\frac{3\dot{E}}{2Z_1 + Z_0} > \frac{\dot{E}}{Z_1} \Rightarrow 3Z_1 > 2Z_1 + Z_0 \Rightarrow Z_1 > Z_0$$

Em geral, a impedância de sequência positiva é maior que a impedância de sequência zero no início de alimentadores de uma subestação abaixadora com transformador triângulo-estrela solidamente aterrado.

Neste caso, no início do alimentador, o sistema elétrico pode ser aproximado para um circuito equilibrado (o desequilíbrio das cargas ainda não tem forte influência das cargas, devido ao princípio que “uma fonte forte arrasta uma fonte fraca”), e, portanto, a impedância de sequência positiva que está presente em condições trifásicas equilibradas tem maior valor absoluto que a impedância de sequência zero, justificando que nestes casos o curto monofásico é maior que o trifásico.