



## Capítulo IV

# Curto-circuitos em instalações elétricas industriais

Logo após a definição do diagrama unifilar básico do projeto de uma instalação elétrica industrial, o projetista deve iniciar o processo de conexão com o sistema da concessionária responsável pelo suprimento da região onde será construído o empreendimento. Primeiramente deve ser solicitado à concessionária um documento denominado de AVT – Avaliação de Viabilidade Técnica, no qual a concessionária informará ao empreendedor que seu sistema está tecnicamente capaz de realizar a conexão ou que, para isso, será necessária a realização de obras, tais como o recondutoramento do alimentador ou outras melhorias.

Considerando o caso de a rede da concessionária estar tecnicamente capacitada a fornecer energia ao empreendimento, deve-se solicitar à concessionária as impedâncias de sequência positiva e zero do seu sistema supridor. Na maioria das vezes, a concessionária já informa esses valores de impedância ao solicitante na AVT.

É interessante que o projetista inicie o projeto da subestação e da rede de baixa tensão (para pequenas indústrias) ou da rede interna de média tensão e baixa tensão (para médias e grandes indústrias), com o dimensionamento preliminar dos circuitos (cabos ou *bus-way*) definindo os respectivos comprimentos desses circuitos, utilizando somente o processo da corrente de carga. No passo seguinte, o projetista confere se a seção do condutor, previamente calculada, satisfaz à queda tensão em cada circuito e que aconselhamos não superar o valor de 5%, ou outro valor menor ou maior, lembrando que a ABNT NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão estabelece como limite o valor de 7%. Caso algum circuito não atenda ao limite de queda de tensão estabelecido inicialmente, a seção do condutor deve ser alterada e

repetir o processo para todos os circuitos até que sejam atendidos os critérios de capacidade de corrente de carga (corrente de projeto) e da queda de tensão. Como último passo para definir a seção do condutor deve-se calcular a corrente de curto-circuito que por ele irá circular e verificar se a seção desse condutor está compatível. Para isso, desenvolveremos o processo de cálculo das correntes de curto-circuito, não somente para atender o dimensionamento da seção condutor, mas para definir a especificação de disjuntores, chaves, barramentos, transformadores de corrente, etc.

Vale salientar que as impedâncias utilizadas para o cálculo das correntes de curto-circuito serão utilizadas também no cálculo da queda de tensão de partida dos motores elétricos, assunto este que será abordado no próximo artigo desta série.

Após definida a potência nominal do(s) transformador(es), o projetista já possui elementos necessários para implementar o cálculo das correntes de curto-circuito em todos os pontos considerados de interesse. Para subestações industriais atendidas em média tensão, entre 13,8 a 34,5 kV, os pontos de interesse são: [I] ponto de conexão do empreendimento com a rede da concessionária (PC) ou Ponto de Entrega (PE); [II] barramento do Quadro Geral de Força (QGF), normalmente instalado muito próximo ao(s) transformador(es) da subestação; [III] barramento dos Centros de Controle dos motores (CCM); [IV] terminais dos motores; e [V] terminais dos Quadros de Luz (QLs). Na Figura 1 indicamos esses pontos relevantes.

Percebe-se que nesses pontos são obrigatoriamente instalados dispositivos de proteção (fusíveis, disjuntores e relés) e de dispositivos de manobra (chaves e contactores). O primeiro elemento de proteção deve ser instalado logo após a medição de



faturamento que é o disjuntor de entrada do alimentador. No QGF, baixa tensão, normalmente são dimensionados disjuntores tripolares, tanto para a proteção secundária do(s) transformado(es) como para a proteção dos circuitos dos CCMs e QDLs. No barramento desses quadros elétricos normalmente são instalados disjuntores termomagnéticos ou eletrônicos, tanto nos terminais de entrada dos circuitos como nos terminais de saída dos circuitos que alimentam as cargas (motores, cargas resistivas, etc.) nos quais são utilizados contactores associados aos respectivos relés térmicos e os fusíveis de proteção, ou então utilizar disjuntores. Já nos terminais dos motores que vêm agregados às máquinas operatrizes, muitas vezes, existem painéis de comando e proteção.

A corrente de curto-circuito em qualquer instalação elétrica para qualquer nível de tensão é fundamental, não somente para uso nos estudos de ajuste da proteção, mas também para o dimensionamento e especificação dos equipamentos instalados em qualquer tipo de subestação e nos cubículos.

Assim, todos os ajustes dos relés ou quaisquer outros dispositivos de proteção são obtidos fundamentalmente para atender à proteção dos cabos, barramentos, chaves seccionadoras, disjuntores, transformadores, banco de capacitores, etc. Existem vários programas de aplicação para o cálculo das correntes de curto-circuito que agilizam o processo. Em uma instalação elétrica

industrial de médio e grande portes o número de pontos nos quais devam ser conhecidas as correntes de curto-circuito é extremamente elevado e o cálculo manual nem sempre é a melhor solução.

A corrente de curto-circuito pode ocorrer entre as três fases, entre duas fases, entre duas fases e terra e entre uma fase e a terra; neste último caso, pode ser calculada sem considerar a contribuição da malha de terra e da resistência de contato (curto-circuito fase e terra máximo); pode ser calculada com a contribuição da malha de terra (curto-circuito fase e terra mínimo), e também com a contribuição da malha de terra e da resistência de contato cujo valor médio normalmente adotado é de  $40 \Omega$ , valor este que foi resultado de pesquisas realizadas por organizações nacionais e internacionais, mas que pode variar consideravelmente a depender da superfície de contato do cabo defeituoso. Se o contato do cabo ocorrer no interior da bandeja metálica empregada para a sua instalação, a resistência de contato tende à nulidade. No entanto, se o contato do cabo ocorrer no interior de uma canaleta de concreto, a resistência é bem elevada, mas cujo valor também depende se a superfície da canaleta está ou não umedecida. Portanto, observa-se que a resistência de contato tem um valor imprevisível.

Além dos softwares existentes também se pode elaborar uma planilha de cálculo utilizando o Excel, a partir do arranjo da instalação. Em qualquer situação, o projetista deve conhecer



Soluções inovadoras para atender as constantes evoluções do setor elétrico.



# Proteção Elétrica com Qualidade Premiada



**PEXTRON**<sup>®</sup>

Av. Miruna, 502 - Moema - São Paulo - SP  
vendas@pextron.com.br - [www.pextron.com](http://www.pextron.com)



VENDAS: +55 (11)  
5094-3200



o processo que é o nosso assunto principal. Para isso, iremos fornecer um diagrama unifilar visto na Figura 2 que é o documento de projeto mais importante de uma instalação elétrica. Para o entendimento do exemplo de aplicação a ser desenvolvido para uma instalação elétrica industrial de média tensão, que constitui a grande maioria das instalações industriais existentes, o leitor já deve ter conhecimento teórico básico sobre o assunto.

Adotaremos para o cálculo das correntes de curto-circuito o método por unidade, o mais utilizado, devido à sua simplicidade, em que se adota uma base única de potência para todos os valores de impedância. As equações a serem utilizadas são:

- Corrente base:  $I_{cb} = \frac{P_b}{\sqrt{3} \times V_b}$  sendo  $V_b$  a tensão nominal do sistema para o qual se está calculando as correntes de defeito. Em média tensão  $V_b = 13,80kV$  e na baixa tensão  $V_b = 0,38kV$ , ou seja, sempre que houver mudança do nível de tensão, o valor de  $V_b$  deve ser alterado.  $P_b$  é potência base admitida e deve ser utilizada ao longo de todo o cálculo.

- Corrente de curto-circuito simétrica trifásica:  $I_{cs} = \frac{1}{Z_{sp}} \times I_b$ , sendo  $Z_{sp}$  a impedância de sequência positiva dos cabos e transformador:  $Z_{sp} = R_{sp} + jX_{sp}$ , sendo  $R_{sp}$  e  $X_{sp}$  a resistência e a reatância dos condutores e transformadores e reatores.

- Corrente de curto-circuito assimétrica trifásica:  $I_{cas} = I_{cs} \times F_a$ , sendo  $F_a$  o fator de assimetria que pode ser calculado por:

$F_a = \sqrt{1 + 2 \times e^{-\frac{2\pi t}{C_t}}}$  em que o valor de  $t = 0,00416$  s, que corresponde ao tempo para a corrente de defeito atingir o primeiro  $\frac{1}{4}$  de ciclo. Já o valor de  $C_t = \frac{X_{sp}}{377 \times R_{sp}}$ , sendo  $X_{sp}$  e  $R_{sp}$  os valores de resistência e reatância de sequência positiva acumulados desde a fonte de geração até o ponto de defeito.

- Corrente de curto-circuito simétrica bifásica:  $I_{cbs} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{cs} (pu)$ .

- Corrente de curto-circuito simétrica fase e terra, valor máximo:  $I_{fma} = \frac{1}{Z_{sp} + Z_{sn} + Z_{sz}} (pu)$ , em que o denominador é constituído pelas impedâncias de sequência positiva, negativa e zero dos cabos, transformadores, reatores e resistores inseridos no sistema.

- Corrente de curto-circuito simétrica fase e terra, valor mínimo:  $I_{fmi} = \frac{3}{Z_{sp} + Z_{sn} + Z_{sz} + 3 \times R_{mt}} (pu)$ , em que o denominador é constituído pelas impedâncias vetoriais de sequência positiva, negativa e zero dos cabos e transformadores e é a resistência da malha de terra.

- Corrente de curto-circuito simétrica fase e terra, valor mínimo *minimorum*:  $I_{fmm} = \frac{3}{Z_{sp} + Z_{sn} + Z_{sz} + 3 \times (R_{mt} + R_c)} (pu)$ , sendo a resistência de contrato entre a parte condutora e a terra. Como já comentamos é muito difícil precisar o valor da corrente de curto-circuito fase-terra mínima *minimorum* em virtude da longa faixa de variação que a resistência de contato pode assumir nos casos práticos. Logo, em geral, pode-se considerar somente a parcela da resistência da malha de terra, cujo valor pode ser obtido, com a necessária precisão, através dos processos de medição ou cálculo.

- Para obter o valor da corrente em A ou kA basta multiplicar o

valor da corrente em *pu* pelo valor da corrente base.

Para melhor entendimento do desenvolvimento de cálculo das correntes de curto-circuito, consideramos o arranjo da indústria representada na Figura 1 e o diagrama unifilar correspondente mostrado na Figura 2. Os dados necessários para o cálculo da corrente de curto-circuito são: [I] tensão nominal primária:  $V_{np} = 13,8kV$ ; [II] tensão nominal secundária:  $V_{ns} = 380$  V; [III] impedância de sequência positiva do sistema de suprimento:  $Z_{sp} = 0,0136 + j0,3478$  pu informada pela concessionária; [IV] impedância de sequência zero do sistema de suprimento informada pela concessionária:  $Z_{sz} = 0,1235 + j1,8184$  pu; [V] potência base dos valores de impedância fornecidos pela concessionária: 100 MVA. O projetista poderá utilizar outro valor de sua conveniência desde que faça as devidas conversões de base; [VI] impedância percentual do transformador:  $Z_{pt} = 6\%$ ; [VII] potência nominal do transformador: 1.500 kVA; [VIII] resistência da malha de terra: 5  $\Omega$ ; [IX] impedância de contato do cabo com uma superfície: 40  $\Omega$ ; [X] comprimento do circuito entre o QGF e o CCM4: 120 m.

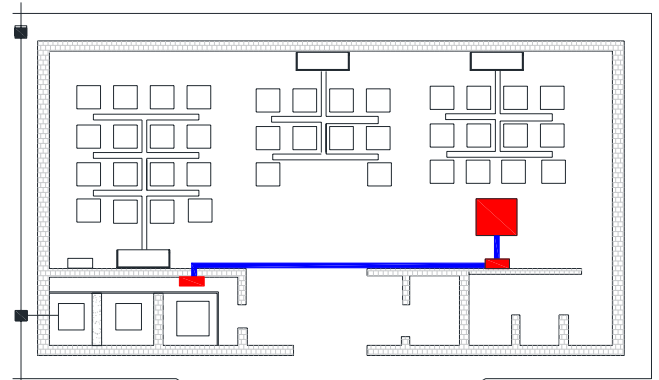


Figura 1 – Planta baixa de uma indústria atendida em média tensão.

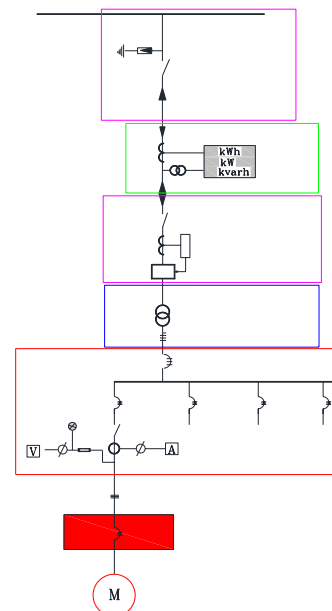


Figura 2 – Diagrama unifilar.



As correntes de curto no ponto PC são praticamente iguais às correntes de curto-circuito no primário do transformador. Considerando que o motor M de 300 cv/380 V (veja Figura 1) é muito próximo ao CCM4, podemos desprezar o efeito da impedância do circuito que conecta o CCM4 ao motor M. As impedâncias  $Z_{sp}$  e  $Z_{sz}$  fornecidas pela concessionária correspondem à impedância do sistema elétrico desde a fonte de geração de energia até o ponto da rede de distribuição à qual será conectado o empreendimento.

Realizaremos o cálculo somente para o CCM4/motor M.

1 - Correntes de curto-circuito nos pontos de interesse da rede de média tensão (13,80 kV)

$$1.1 - \text{Corrente de base } I_b = \frac{P_b}{\sqrt{3} \times V_b} = \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 13,8} = 4.183 \text{ A}$$

1.2 - Corrente de curto-circuito trifásica simétrica, no ponto PC (veja Figura 2)

$$I_{csp} = \frac{1}{Z_{sp}} \times I_b = \frac{1}{0,0136 + j0,3478} \times 4.183 = 12.017 \angle -87,76^\circ \text{ A} = 12,0 \text{ kA}$$

1.3 - Corrente de curto-circuito fase e terra simétrica, valor máximo, no ponto PC (veja Figura 2)

$$I_{fctas} = \frac{I_b}{Z_{utot}} = \frac{3 \times 4.183}{2 \times (0,0136 + j0,3478) + 0,1235 + j1,8184} = \frac{12.549}{2,5185 \angle 86,56^\circ} = 4.946 \angle -86,56^\circ$$

(observar que as impedâncias de sequência positiva e negativa da concessionária são iguais)

1.4 - Potência de curto-circuito trifásica no ponto PC

$$P_{ics} = \sqrt{3} \times V_{np} \times I_{fctas} = \sqrt{3} \times 13,80 \times 4.946 = 118.220 \text{ MVA}$$

2 - Correntes de curto-circuito nos pontos da rede de baixa tensão (380 V)

Como a distância entre o transformador e o QGF é muito pequena e os cabos normalmente têm seções muito elevadas, desprezaremos a impedância desse circuito.

$$2.1 - \text{Corrente de base } I_b = \frac{P_b}{\sqrt{3} \times V_b} = \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,380} = 151.934 \text{ A}$$

2.2 - Impedância do transformador

$$\bullet \text{ Resistência: } R_{tr} = \frac{P_{cu}}{10 \times P_{nt}} (\%) = \frac{15.500}{10 \times 1.500} (\%) = 1,0333\% = 0,0103 \text{ pu (na base } P_{nt} \text{)}$$

$$P_{cu} = 15.500 \text{ W (valor obtido do catálogo do fabricante)}$$

$$R_{ut} = R_{tr} \times \frac{P_b}{P} = 0,0103 \times \frac{100.000}{1.500} = 0,6866 \text{ pu (na base } P_b \text{)}$$

$$\bullet \text{ Impedância na base: } P_b: Z_{ut} = Z_{tr} \times \frac{P_b}{P_{nt}} = 0,06 \times \frac{100.000}{1.500} = 4,00 \text{ pu (na base } P_b \text{)}$$

$$Z_{tr} = 6\% \rightarrow Z_{ut} = 0,06 \text{ pu (valor fornecido no catálogo do fabricante nas bases } P_{nt} \text{ e } V_{nt} \text{)}$$

$$\bullet \text{ Reatância: } X_{ut} = \sqrt{Z_{ut}^2 - R_{ut}^2} = \sqrt{4,00^2 - 0,6866^2} \approx 3,94 = \text{pu (na base } P_b \text{)}$$

$$\bullet \text{ Impedância: } Z_{spt} = 0,6866 + j3,94 \text{ pu}$$

Na prática, a impedância de sequência negativa e zero dos

transformadores podem ser consideradas iguais à impedância de sequência positiva. Já a impedância de sequência positiva e negativa dos cabos são iguais, porém, muito diferentes da impedância de sequência zero.

2.3 - Corrente de curto-circuito simétrica trifásica, valor eficaz, nos terminais secundários do transformador

• Corrente de curto-circuito trifásico:

$$I_{cs} = \frac{I_b}{Z_{tsp}} = \frac{151.934}{(0,0136 + j0,3478 + 0,6866 + j3,94)} \text{ , em que } \angle \text{ é a impedância total de sequência positiva desde a fonte até o ponto de defeito.}$$

$$I_{cs} = \frac{151.934}{0,7002 + j4,2878} = 34.970 \text{ A } \angle -80,72^\circ = 34,9 \text{ kA}$$

• Corrente de curto-circuito fase e terra, valor máximo

$$I_{cft} = \frac{3 \times I_b}{Z_{sp} + Z_{sn} + Z_{sz}} = \frac{3 \times 151.934}{2 \times [(0,0136 + j0,3478) + (0,6866 + j3,94)] + (0,1235 + j1,8184)} \text{ em que } Z_{sp} + Z_{sn} + Z_{sz} \text{ são as impedâncias de sequência positiva, negativa e zero do sistema até o ponto de defeito.}$$

$$I_{cft} = \frac{455.802}{2,2105 + j14,3340} = 31.427 \angle -81,23^\circ \text{ A} = 31,4 \text{ kA}$$

Como as impedâncias de sequência positiva e negativa do sistema são iguais, temos:  $Z_{sp} + Z_{sn} = 2 \times Z_{sp}$ , conforme indicado na equação anterior.

2.4 - Impedância de sequência positiva do circuito que liga o QGF ao CCM4/motor M

Admitimos que a distância entre o CCM4 e o motor M é muito pequena e, portanto, desprezaremos a impedância desse circuito.

• Resistência de sequência positiva

$$R_{u\Omega} = 0,0781 \text{ } \Omega/\text{km (valor de catálogo do fabricante de cabos de } 300 \text{ mm}^2 \text{)}$$

$$R_{c1\Omega} = \frac{R_{u\Omega} \times L_{c1}}{1.000 \times N_{c1}} \rightarrow R_{c1\Omega} = \frac{0,0781 \times 120}{1.000 \times 1} = 0,00937 \text{ } \Omega$$

$$R_{uc1} = R_{c1\Omega} \times \frac{P_b}{1000 \times V_b^2} = 0,00937 \times \frac{100.000}{1.000 \times 0,38^2} = 6,4889 \text{ pu}$$

• Reatância sequência positiva

$X_{u\Omega} = 0,1068 \text{ } \Omega/\text{km (valor de catálogo para cabos de } 300 \text{ mm}^2 \text{ de acordo com método de instalação)}$

$$X_{c1\Omega} = \frac{X_{u\Omega} \times L_{c1}}{1.000 \times N_{c1}} \rightarrow X_{c1\Omega} = \frac{0,1068 \times 120}{1.000 \times 1} = 0,0128 \text{ } \Omega$$

$$X_{uc1} = X_{c1\Omega} \times \frac{P_b}{1.000 \times V_b^2} = 0,0128 \times \frac{100.000}{1.000 \times 0,38^2} = 8,8642 \text{ pu}$$

$$Z_{uc1} = R_{uc1} + jX_{uc1} = 6,4889 + j8,8642 \text{ pu}$$

2.6 - Corrente de curto-circuito simétrica trifásica, valor eficaz

$$I_{cs} = \frac{I_b}{Z_{usp}} = \frac{151.934}{(0,0136 + j0,3478) + (0,6866 + j3,94) + (6,4889 + j8,8642)} = \frac{151.934}{7,1891 + j13,0520}$$



$$I = 10.196,27 \angle -61,15^\circ \text{ A} = 10,2 \text{ kA}$$

2.7 - Corrente de curto-circuito assimétrica trifásica, barra do CCM4/motor:  $C_t = \frac{X_{sp}}{377 \times R_{sp}} = \frac{13,0520}{377 \times 7,1891} = 0,00482$ , em que é a constante de tempo e  $R_{sp}$  e  $X_{sp}$  são as resistências desde a fonte de geração até o ponto de defeito.

• Fator de assimetria:

$$F_a = \sqrt{1 + 2 \times e^{-\left(\frac{2 \times t}{C_t}\right)}} = \sqrt{1 + 2 \times e^{-\left(\frac{-2 \times 0,00416}{0,00482}\right)}} = 1,16$$

$$I_{ca} = I_{cs} \times F_a = 10.196,27 \times 1,16 = 11.827,67 \text{ A} = 11,8 \text{ kA}$$

(corrente assimétrica de curto-circuito, valor eficaz)

2.8 - Impulso da corrente de curto-circuito

$$I_{cim} = \sqrt{2} \times I_{ca} = \sqrt{2} \times 11.827,67 = 16.726,85 \text{ A} = 16,7 \text{ kA}$$

(corrente de pico)

2.9 - Corrente de curto-circuito bifásico, valor eficaz

$$I_{cb} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{cs} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 10.196,27 = 8.830,31 \text{ A} = 8,8 \text{ kA}$$

2.10 - Impedância de sequência zero do circuito que liga o QGF ao CCM4/motor M.

$$R_{c\Omega} = 1,8781 \text{ m}\Omega/\text{m} \text{ (valor de catálogo para cabos de } 300 \text{ mm}^2\text{)}$$

$$R_{c\Omega 0} = \frac{1,8781 \times 120}{1.000} = 0,2253 \Omega$$

$$R_{u0c1} = R_{c\Omega 0} \times \frac{P_b}{1.000 \times V_b^2} = 0,2253 \times \frac{100.000}{1.000 \times 0,38^2} = 156,0 \text{ pu}$$

$X_{c\Omega} = 2,4067 \text{ m}\Omega/\text{m}$  (valor de catálogo para cabos de  $300 \text{ mm}^2$  de acordo com método de instalação)

$$X_{c\Omega 0} = \frac{2,4067 \times 120}{1.000} = 0,2888 \Omega$$

$$X_{u0c} = X_{c\Omega 0} \times \frac{P_b}{1.000 \times V_b^2} = 0,2888 \times \frac{100.000}{1.000 \times 0,38^2} = 200,0 \text{ pu}$$

$$Z_{u0c} = R_{u0c1} + jX_{u0c1} = 156,0 + j200,0 \text{ pu}$$

2.11 - Corrente de curto-circuito simétrica fase e terra, valor máximo

$$I_{cfma} = \frac{3 \times 151.934}{(0,1810 + j14,5140) + (156,02 + j200,0)} = \frac{455.802}{156,2010 + j214,5140} = 1.717 \angle -53,94^\circ \text{ A} = 1,71 \text{ kA}$$

(a impedância  $0,1810 + j14,5140 \text{ pu}$  foi calculada no item 2.3).

2.12 - Corrente de curto-circuito fase-terra mínima, valor eficaz (resistência da malha de terra:  $R_{\Omega c} = 5 \Omega$ )

$$R_{uct} = 5 \times \frac{100.000}{1.000 \times 0,38^2} = 3.462 \text{ pu} \text{ (na base } P_b\text{)}$$

$$I_{cfmi} = \frac{3 \times 151.934}{(156,2010 + j214,5400) + 3 \times 3.462} = \frac{455.802}{10.542,20 + j214,54} = 43,22 \angle -1,16^\circ \text{ A}$$

2.13 - Corrente de curto-circuito fase-terra mínima minimorum, valor eficaz - resistência contato:  $R_{\Omega ct} = 40 \Omega$

$$R_{uct} = 40 \times \frac{100.000}{1.000 \times 0,38^2} = 27.700,8 \text{ pu} \text{ (na base } P_b\text{)}$$

$$I_{cfmi} = \frac{3 \times 151.934}{(10.542,20 + j214,54) + 3 \times (3.462 + 27.700)} = \frac{455.802}{104.028,2 + j214,54} = 4,3 \angle -0,11^\circ \text{ A}$$

. O cálculo deve continuar considerando os barramentos de cada CCM e QDL.

Seguem algumas aplicações práticas das correntes de curto-circuito: [I] a corrente de defeito fase e terra mínima minimorum (no presente caso, de valor igual a 4,8 A) é muito pequena e foge à proteção dos disjuntores normais de baixa tensão cuja corrente nominal e de disparo normalmente é igual ou superior a 10 A. Popularmente, essa corrente é chamada de corrente de fuga. A proteção contra essas correntes é feita pelos DPS (dispositivo de proteção diferencial-residual); [II] a corrente de curto-circuito trifásica simétrica, valor eficaz, é aplicada no dimensionamento da capacidade de corrente de interrupção dos disjuntores, evitando a sua explosão quando não forem dimensionados adequadamente, e também no dimensionamento da capacidade térmica das chaves seccionadoras e dos cabos de energia; [III] a corrente de curto-circuito fase e terra tem sua aplicação no ajuste dos relés de sobrecorrente digitais de neutro dos sistemas de média e de baixa tensão (utilizado nos disjuntores eletrônicos); [IV] a corrente de curto-circuito fase e terra assimétrica, valor máximo, é aplicada no dimensionamento da seção dos condutores da malha de terra das subestações; [V] a corrente de curto-circuito assimétrica, valor de pico, é aplicada no dimensionamento da capacidade dinâmica das chaves seccionadoras e disjuntores, e no dimensionamento das forças eletromecânicas suportadas pelos barramentos das subestações de qualquer nível de tensão, e nos QGFs, CCMs e QDLs; (VI) a corrente de curto-circuito assimétrica deve ser utilizada para verificar a saturação dos transformadores de corrente do sistema de proteção.

No próximo artigo, iremos determinar a corrente de partida de motores elétricos de pequeno e grande portes e a indicação das chaves utilizadas para a mitigação da queda de tensão correspondente. Para o desenvolvimento desse cálculo será necessário o resultado do cálculo das impedâncias de sequência positiva aqui desenvolvidas.

---

*\*João Mamede Filho é engenheiro eletricitista e atualmente é diretor técnico da CPE - Estudos e Projetos Elétricos. Foi professor na Universidade de Fortaleza entre 1979 e 2012 e presidente da Nordeste Energia nos anos 1999 e 2000. É autor dos livros Manual de Equipamentos Elétricos (5ª Edição), Instalações Elétricas Industriais (9ª Edição), Proteção de Sistemas Elétricos de Potência (2ª Edição) e Proteção de Equipamentos Eletrônicos Sensíveis (2ª Edição).*