

# Capítulo XI

## Fontes de curto-circuito

Por Cláudio Mardegan\*

As fontes mais relevantes de curto-circuito são:

- (a) Concessionária
- (b) Geradores
- (c) Motores síncronos
- (d) Motores assíncronos ou de indução
- (e) Capacitores

A Figura 1 apresenta a forma de onda típica de como as concessionárias, os geradores, os motores síncronos, os motores assíncronos ou de indução contribuem para um curto-circuito.

### (A) CONTRIBUIÇÃO DA CONCESSIONÁRIA

Quando os sistemas de geração estão interligados, como a maior parte do Sistema Interligado Nacional (SIN) no Brasil, os mesmos costumam possuir elevada constante de inércia ( $H$ ) e este fato faz com que os curtos-circuitos sejam alimentados como se fossem cargas, praticamente sem alteração do módulo da corrente de falta simétrica. Neste caso, a corrente de falta não amortecida no tempo, visto que as variações das impedâncias dos geradores do sistema (decaimento AC das máquinas) com o tempo ficam irrelevantes devido ao fato da impedância total até o ponto de falta (impedâncias dos transformadores elevadores, das linhas de transmissão, subtransmissão, transformadores rebaixadores, etc), ser muito maior do que a variação das impedâncias dos geradores de  $X''_d$  para  $X'_d$  e de  $X'_d$  para  $X_d$ .

Em etapas de projeto é prudente utilizar barramento infinito atrás de transformadores, considerando que não se sabe como irá crescer a impedância do sistema atrás do transformador. Assim, é importante conceituar o que significa barramento infinito.

Barra infinita é uma situação ideal, em que a tensão e a frequência no ponto de entrega são mantidas constantes independentemente da potência da carga, ou seja, não há perdas no sistema. Em outras palavras, significa que a impedância do sistema atrás do

transformador é considerada igual a zero. Ademais, o barramento infinito tem capacidade ideal de suprir qualquer potência requerida pela carga. A figura seguinte mostra a representação ideal de um barramento infinito, para efeito de estudo de curto-circuito.

É importante lembrar que, muitas vezes, o simples fato de se adotar impedância zero para a impedância do sistema nem sempre é suficiente. Não se deve esquecer das contribuições dos motores, pois, muitas vezes, o dimensionamento térmico de curta duração dos painéis fica dentro dos limites utilizando-se esta premissa de barramento infinito. Entretanto, pode não passar dinamicamente se a contribuição dos motores for esquecida. Assim, nesta situação, deve-se fazer o dimensionamento dinâmico do barramento e a partir dele obter a capacidade térmica de curta duração do painel ou barramento.

Também, em etapas de projeto, quando se vai conectar aos sistemas concessionários, é fundamental obter o curto-circuito máximo futuro.

### (B) CONTRIBUIÇÃO DE GERADORES

Os geradores instalados dentro das plantas industriais alimentam o curto-circuito, mas não conseguem manter a corrente de falta no mesmo valor do instante inicial, decaindo com o tempo.

#### Períodos da corrente de curto-circuito

Embora o transitório eletromagnético durante o curto-circuito apresente variações analógicas dentro das máquinas, os estudiosos das máquinas síncronas dividiram didática e tecnicamente em três períodos, ou degraus, chamados de período subtransitório cuja duração é de 9 a 12 ciclos, o período transitório de duração aproximada de 90 ciclos e o período permanente que sucede ao transitório.

Esses períodos podem ser visualizados na forma de onda da corrente de curto-circuito nos terminais de um gerador mostrados na Figura 3.

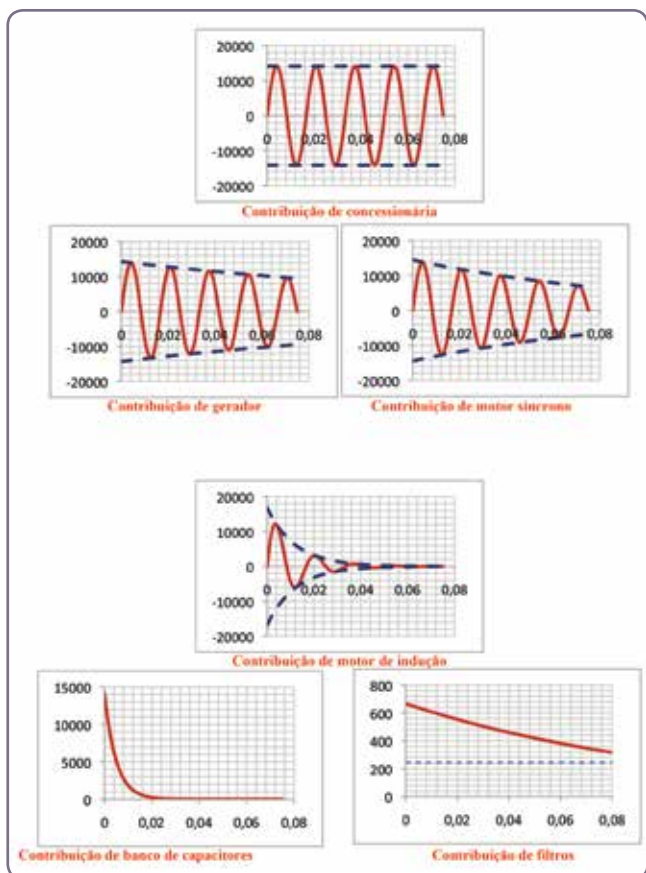


Figura 1 – Fontes que contribuem para o curto-circuito.

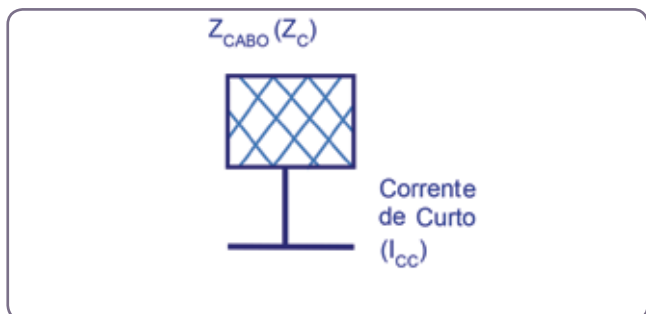


Figura 2 – Barramento infinito.

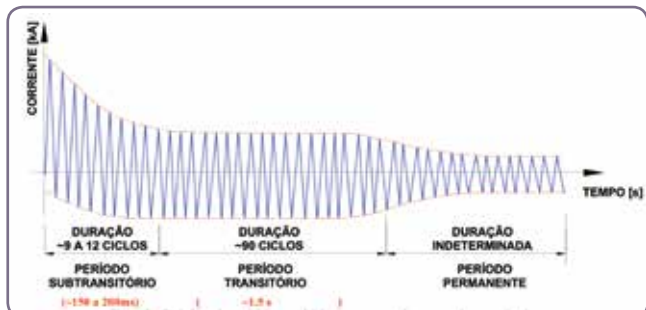


Figura 3 – Períodos subtransitório, transitório e permanente da corrente de curto-circuito

**Corrente de decremento dos geradores**

Quando ocorre um curto-circuito em um sistema alimentado por geradores locais, a corrente de curto-circuito apresenta um pico inicial e a seguir começa a decair rapidamente, uma vez que

os mesmos não têm inércia suficiente para sustentar o valor inicial permanentemente, como uma concessionária. Na maioria dos casos, a corrente de curto-circuito permanente pode, inclusive, ser menor que a corrente nominal do gerador. Isto ocorre quando  $X_d$  é maior que  $1p_u$  e depende também do carregamento do gerador no instante da falta. O valor da corrente inicial de curto-circuito depende do carregamento do gerador e, assim, na prática, o valor da corrente de decremento do gerador vai estar dentro de uma família de curvas que varia entre a condição a vazio e a plena carga.

Embora tenha se dividido a duração da corrente de curto-circuito em três períodos: subtransitório, transitório e permanente internamente na máquina, o fluxo não varia em degrau (discretamente), mas sim de maneira analógica.

Na Figura 4 apresenta-se uma curva típica de decremento de gerador, a vazio e a plena carga gerada pelo software PTW. Existem geradores que possuem um sistema que mantém a corrente acima da corrente nominal por um certo tempo, normalmente,  $1.6 \ln - 10s$ .

O amortecimento da corrente de curto-circuito do gerador no tempo é conhecido como curva de decremento do gerador. O amortecimento da componente AC da corrente de curto-circuito é obtido através da equação abaixo, conforme indicado no IEEE Std 242:

$$i_{AC}(t) = (I_K'' - I_K') \times e^{-\frac{t}{\tau_d}} + (I_K' - I_K) \times e^{-\frac{t}{\tau_d}} + I_K$$

Em que:

- $I_K''$  = Corrente de curto-circuito subtransitória
- $I_K'$  = Corrente de curto-circuito transitória
- $I_K$  = Corrente de curto-circuito permanente
- $\tau_d''$  = Constante de tempo subtransitória
- $\tau_d'$  = Constante de tempo transitória

As correntes são calculadas como segue:

$$I_K'' = \frac{E_V''}{X_d'' + Z_N} \quad I_K' = \frac{E_V'}{X_d' + Z_N} \quad I_K = \frac{E_V}{X_d + Z_N}$$

$$E_V'' = U_V + jX_d'' I \quad E_V' = U_V + jX_d' I \quad E_V = U_V + jX_d I$$

$$E_V'' = k'' U_V \quad E_V' = k' U_V \quad E_V = k U_V$$

Em que:

- $E_V''$  = F.E.M atrás da reatância subtransitória saturada de eixo direto
- $E_V'$  = F.E.M atrás da reatância transitória saturada de eixo direto
- $E_V$  = F.E.M atrás da reatância síncrona saturada
- $X_d''$  = Reatância subtransitória saturada de eixo direto
- $X_d'$  = Reatância transitória saturada de eixo direto
- $X_d$  = Reatância síncrona saturada
- $Z_N$  = Impedância externa ao gerador (até o ponto de falta)
- $U_V$  = Tensão nos terminais da máquina
- $I$  = Corrente de carga do gerador

O diagrama fasorial para a obtenção das f.e.m. de máquinas de polos lisos é apresentado na Figura 5.

A partir do diagrama fasorial apresentado pode-se escrever as seguintes equações para os valores eficazes das f.e.m.:

$$E_V'' = \sqrt{(U + X_d'' \times I \times \cos(90^\circ - \varphi))^2 + (X_d'' \times I \times \sin(90^\circ - \varphi))^2}$$

$$E_V' = \sqrt{(U + X_d' \times I \times \cos\varphi)^2 + (X_d' \times I \times \sin\varphi)^2}$$

Analogamente, pode-se escrever:

$$E_V' = \sqrt{(U + X_d' \times I \times \sin\varphi)^2 + (X_d' \times I \times \cos\varphi)^2}$$

$$E_V = \sqrt{(U + X_d \times I \times \sin\varphi)^2 + (X_d \times I \times \cos\varphi)^2}$$

- Para turbo-geradores:  $k'' = 1,08$   $k' = 1,11$   $k = 2,35$ .
- Para máquinas de polos salientes:  $k'' = 1,12$   $k' = 1,18$   $k = 1,8$ .

As constantes de tempo são obtidas a partir das equações:

$$\tau_d'' = \frac{X_d'' + X_N}{X_d'' + X_N} \cdot \tau_{do}'' \quad \tau_d' = \frac{X_d' + X_N}{X_d' + X_N} \cdot \tau_{do}' \quad \tau_g = \frac{X_d' + X_N}{\omega(R_a + R_N)}$$

Em que:

- $\tau_{do}''$  = Constante de tempo subtransitória a vazio
- $\tau_{do}'$  = Constante de tempo transitória a vazio
- $\tau_g$  = Constante de tempo da componente de corrente contínua (da armadura)
- $\tau_d''$  = Constante de tempo subtransitória
- $\tau_d'$  = Constante de tempo transitória
- $R_a$  = Resistência da armadura

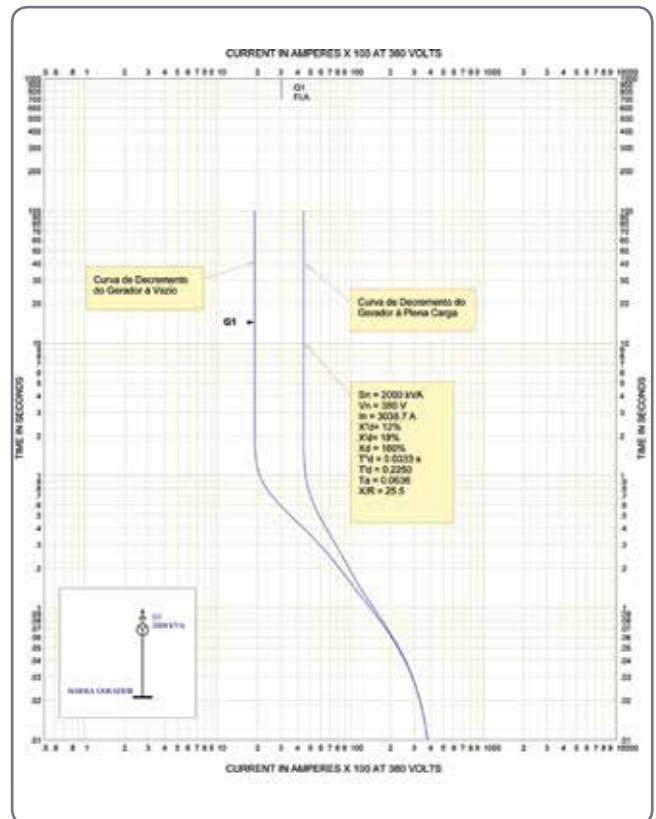
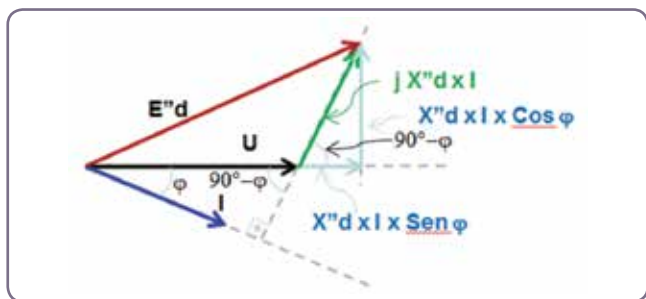


Figura 4.1 – Curva de decremento de gerador a vazio e a plena carga.



**Figura 4.2 – Diagrama fasorial da tensão subtransitória de eixo direto para máquinas de polos lisos.**

Apresentam-se, a seguir, alguns valores típicos dos parâmetros das máquinas:

$\tau''_d \sim 50 \text{ ms}$  e é menor que  $\tau'_d$ , visto que  $X'_d > X''_d$

$\tau'_d \sim (5 \text{ a } 12) \text{ s}$  – Os valores menores ocorrem em máquinas de polos salientes. Os valores maiores ocorrem em turbo-geradores.

$\tau''_d \sim 3 \text{ a } 4$  semi-ciclos (para curtos nos terminais do gerador).

$X'_d \sim 1.5 X''_d$

A componente DC é calculada a partir da equação seguinte:

$$i_{DC}(t) = \sqrt{2} \times I_K^* \times e^{-\frac{t}{\tau_D}}$$

A corrente de curto-circuito assimétrica eficaz total é calculada como segue:

$$i_{TOTAL}(RMS) = \sqrt{i_{AC}(t)^2 + i_{DC}(t)^2}$$

$$i_{TOTAL}(RMS) = \sqrt{\left[ (I_K^* - I_K) \times e^{-\frac{t}{\tau_d}} + (I_K^* - I_K) \times e^{-\frac{t}{\tau_d}} + I_K \right]^2 + 2 \left( I_K^* \times e^{-\frac{t}{\tau_D}} \right)^2}$$

Para curto-circuito nos terminais do gerador o valor de  $\tau'_d$  se reduz a 1s para turbo-geradores e a 2s para máquinas de polos salientes.

Vale a pena lembrar que a utilização de fusíveis para proteger o gerador contra curto-circuito fica impraticável, pois o mesmo deve permitir circular corrente nominal e dificilmente irá “enxergar” a corrente de decremento do gerador.

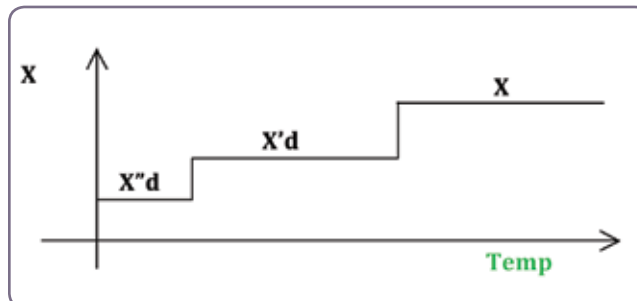
### Variação da frequência

Quando as fontes de curto-circuito estão conectadas a sistemas de elevada constante de inércia, no caso de curto-circuito, a frequência praticamente não deve variar. Assim, em sistemas de geração constituídos apenas por pequenos geradores, em caso de curto-circuito, a frequência irá variar (a tendência é aumentar a frequência, pois os geradores, sob curto-circuito abruptamente deixam de fornecer potência ativa e pelo princípio de conservação de energia não tem para quem entregar e transformam esta energia em energia cinética).

### Variação das reatâncias das máquinas síncronas

As impedâncias de sequência positiva variam no tempo

iniciando-se com o valor de  $X''_d$ , passando por  $X'_d$  até atingir  $X_d$ . As reatâncias de sequência negativa ( $X_2$ ) e sequência zero ( $X_0$ ) não variam com o tempo. O valor de  $X_2 = (X''_d + X''_q)/2 \approx X''_d$ , o valor típico de  $X_0$  se situa entre 0.17 e 0.75 de  $X''_d$ . Veja Figura 5.



**Figura 5 – Variação da impedância da máquina no tempo, durante o curto-circuito.**

### Curtos-circuitos locais e remotos

O livro IEEE Violet Book [108], no seu capítulo 4 “Calculating short-circuit currents for systems without ac decay” cita que um gerador (ou geração ou fonte) é considerado eletricamente remoto se:  $X_{G-PF} \geq 1.5 \times X''_d$ . Onde  $X_{G-PF}$  = Impedância do gerador até o ponto de falta

Ou, alternativamente, se houver mais de um transformador entre o gerador e ponto de falta.

A norma ANSI C37.010, não faz distinção se falta é local ou remota.

Fontes remotas não terão decaimento AC, também conhecido em inglês como NACD (No AC Decay – Sem decaimento AC – SDAC). O decaimento AC implica na não aplicação dos fatores de multiplicação nas reatâncias das máquinas. Assim, quando se simula como NACD, não poderá haver a contribuição de qualquer máquina das circunvizinhanças.

### C) MOTORES SÍNCRONOS

O comportamento dos motores síncronos é similar ao dos geradores, entretanto, o amortecimento ocorre mais rápido visto que os motores não possuem uma máquina primária.

### D) MOTORES ASSÍNCRONOS OU DE INDUÇÃO

O comportamento do motor de indução depende do tipo de falta, do tipo de aterramento do neutro do motor e se o mesmo possui ou não inversores de frequência.

#### Comportamento do motor de indução sob curto-circuito trifásico

O motor de indução em regime, ao ser alimentado pela tensão da rede, puxa uma corrente da rede e passa a gerar uma força contra eletromotriz (f.c.e.m). Ao ocorrer uma falta trifásica externa ao mesmo, a tensão no ponto de falta fica menor que a f.c.e.m.. Nesse instante, o motor passa a entregar corrente de rotor bloqueado

(independentemente do carregamento que o motor se encontrava), ao invés de puxar corrente da rede. Esta corrente normalmente apresenta duração de até 3 ciclos, visto que o campo do motor não possui alimentação. A tensão não cai instantaneamente devido ao fato de que não se consegue variar o fluxo instantaneamente. Isto posto, a contribuição do motor de indução para faltas trifásicas afeta as proteções instantâneas, os valores de pico da corrente de curto-circuito e, conseqüentemente, os valores de suportabilidade dinâmica dos equipamentos. Afeta também a capacidade de interrupção de disjuntores.

Na simulação do curto-circuito trifásico subtransitório assimétricos, os motores de indução devem estar em serviço. Na simulação dos curtos-circuitos trifásicos transitórios simétricos os motores de indução devem estar fora de operação.

#### Comportamento do motor de indução sob curto-circuito fase-terra

Como citado na norma IEC 60909, item 3.8, primeiro parágrafo, sob faltas desbalanceadas, os motores de indução também contribuem com corrente para o curto-circuito, podendo esta corrente atingir até o valor permanente de curto-circuito, ou seja, como ficam com uma alimentação de tensão permanecem contribuindo. Existem duas situações a serem analisadas: o neutro do motor é não aterrado ou o neutro do motor é aterrado.

#### Neutro do motor não aterrado

Muitos profissionais, por pensarem que o neutro da estrela dos motores de indução normalmente é não aterrado, imaginam erroneamente que os mesmos não contribuem para a corrente de falta à terra, porém, é importante lembrar que ele contribui (com as correntes de seqüência positiva e negativa).

Para esta avaliação considere a Figura 6, seguinte.

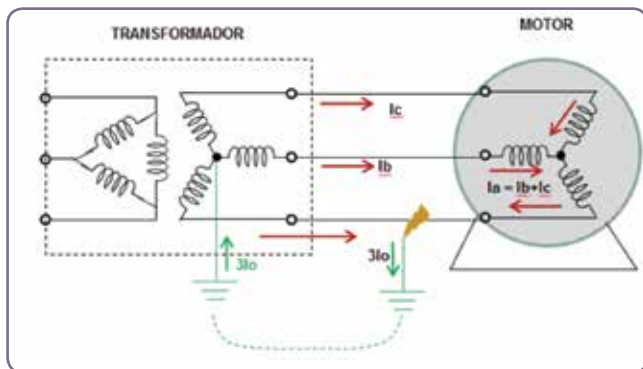


Figura 6 – Esquema trifilar mostrando a corrente de curto-circuito fase-terra, com contribuição de seqüência zero da fonte e a de seqüência positiva e negativa do motor de indução

A fonte irá contribuir com corrente de curto-circuito fase-terra, gerando as correntes de seqüência zero nas três fases. Irá entregar  $I_0$  na fase “a”. As contribuições de seqüência zero das fases “b” e “c” irão para o ponto de falta através do motor, haja visto que o neutro do mesmo é não aterrado, chegando no ponto de falta  $3I_0$ , que retorna ao neutro da fonte.

Nesta condição, o motor se comporta como uma segunda fonte para a falta, entretanto, seu comportamento é similar a quando o mesmo está sem uma fase, visto que, na fase “a”, a tensão é nula e possui tensão nas outras duas fases. Com esta condição, gera apenas correntes de seqüência positiva e negativa, nas fases “b” e “c”, que se somam e vão para o ponto de falta pela fase “a”.

O circuito de seqüência típico desta situação para o unifilar abaixo é apresentado na Figura 7.

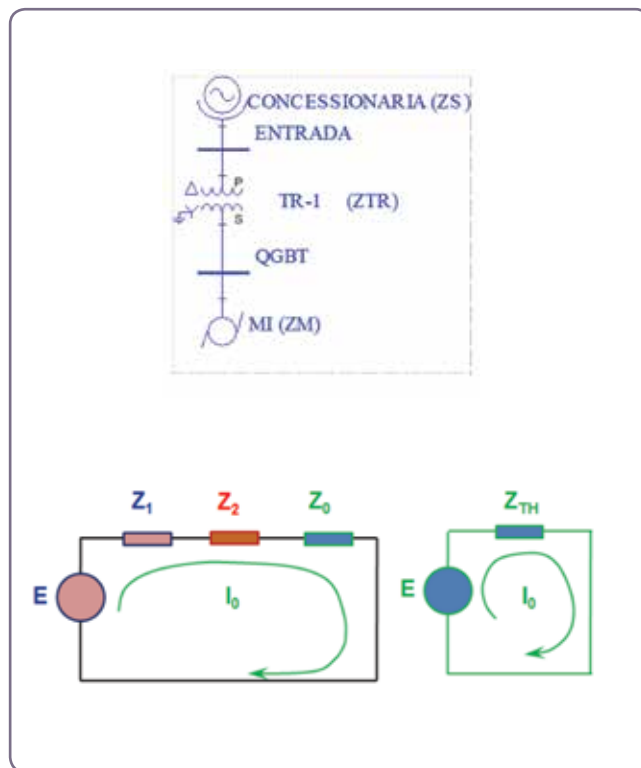


Figura 7 – Circuitos de seqüência para o unifilar desta figura

#### Neutro do motor aterrado

Quando o neutro do motor está aterrado, ele contribui para a falta fase-terra com correntes de seqüência positiva, negativa e zero. A Figura 8 ilustra o exposto.

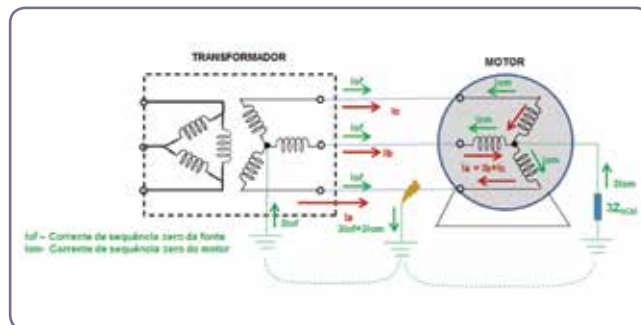


Figura 8 – Esquema trifilar mostrando a corrente de curto-circuito fase-terra, com contribuição de seqüência zero do motor de indução.

A Figura 9 apresenta os diagramas de seqüência correspondentes à Figura 8.

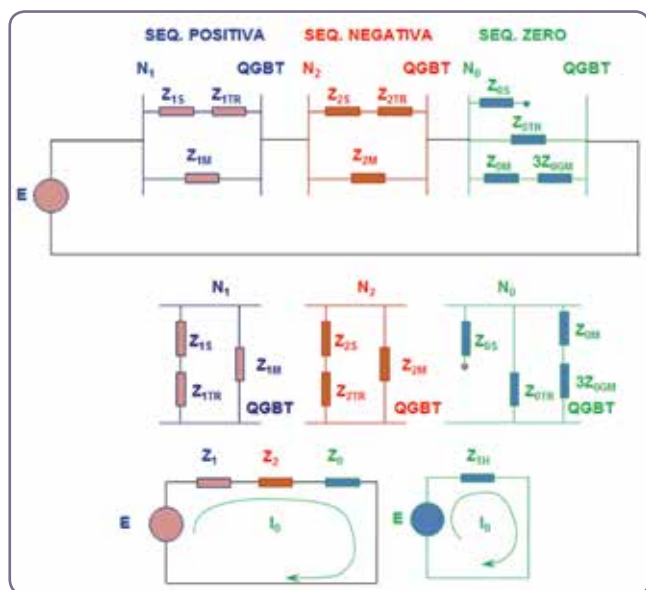


Figura 9 – Circuitos de sequência para o unifilar da Figura 8.

Tanto na simulação dos curtos-circuitos fase-terra subtransitórios assimétricos como nos transitórios simétricos, os motores de indução devem estar em operação.

#### Motores aplicados a conversores de frequência/inversores de frequência/retificadores

O “Red Book”, IEEE Std 141, no item 4.2.5, informa que os motores de indução aplicados a inversores de frequência e motores DC aplicados a retificadores, em algumas circunstâncias específicas, podem contribuir para a corrente de curto-circuito. Na verdade, é no projeto do sistema que é definido se o motor pode ou não reverter potência. Quando é possível, é o modo de operação do sistema de potência que determina o valor da contribuição e a respectiva duração. O fabricante deve ser consultado sobre estes aspectos.

A norma IEC 60909-0-2001, no item 3.9, prescreve que os “drives” (conversores estáticos) reversíveis, contribuem para o curto-circuito somente se as massas dos motores e o equipamento estático proporciona a reversão na transferência de potência na desaceleração (frenagem regenerativa). Assim, eles contribuem somente para o valor inicial da corrente de curto-circuito  $I''_k$  e para o valor de pico da corrente de curto-circuito  $I_p$ . Eles não contribuem para a corrente de interrupção simétrica  $I_b$  e para a corrente de regime permanente  $I_k$ .

#### Sem reversão de potência (os mais comumente encontrados na indústria)

Eles somente contribuem para o curto-circuito se estiverem sendo alimentados pela chave de by-pass (caso possuam), o que é condição quase sempre, pouco provável. Assim, é um bom procedimento assumir que os motores não contribuem para o curto-circuito.

#### Com reversão de potência (frenagem regenerativa)

O valor da impedância será:

$$Z_M(pu) = \frac{I_n}{I_p} = \frac{1}{3} = 0.3333[pu]$$

$$X_M(pu) = 0.995 \times Z_M[pu] = 0.3317[pu]$$

$$R_M / X_M = 0.10$$

$$X_M / R_M = 10$$

$$R_M = 0.0332[pu]$$

Faltas à terra, devido ao fato de que a ruptura da isolamento quase sempre ocorre no valor de pico da tensão, a corrente está passando por zero e a assimetria praticamente deixa de existir, razão pela qual, na prática, simula-se quase sempre, apenas as correntes de falta simétricas.

#### E) CONTRIBUIÇÃO DE BANCO DE CAPACITORES

Como mencionado anteriormente, os bancos de capacitores, no instante do curto-circuito ficam com uma tensão maior que no ponto de falta e a rigor contribuem para o curto-circuito e com uma corrente de alta frequência, dada pela equação seguinte:

$$I_{PK}(A) = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{V_{FF}}{Z_o} \times e^{-\frac{R}{2L}t} \times \text{sen}(\omega_o \cdot t)$$

Em que:

$I_{PK}$  = É a corrente de contribuição de pico do banco de capacitores [A]

$V_{FF}$  = Tensão entre fases do banco de capacitores [V]

R = Resistência entre o banco de capacitores e o ponto de falta em  $[\Omega]$

L = Indutância entre o banco de capacitores e o ponto de falta em [H]

C = Capacitância do banco de capacitores em [F]

$$\omega_o(rd/s) = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$Z_o(\Omega) = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

O valor de pico máximo da corrente de contribuição do banco de capacitores é dada pela equação seguinte:

$$I_{PK-MAX}(A) = \sqrt{\frac{2}{3}} \times V_{FF} \times \sqrt{\frac{C}{L}}$$

A corrente de descarga percorre um circuito RLC série, cuja constante de tempo, que representa o tempo necessário para que o valor da corrente decaia até 36.7% de seu valor, é calculada como segue:

$$\tau = 2 \frac{L}{R}$$

#### (F) CONTRIBUIÇÃO DE FILTROS DE HARMÔNICOS

A maneira como os filtros de harmônicos contribuem para as faltas obedece praticamente a mesma equação da contribuição

dos bancos de capacitores. Entretanto, como o valor do X/R no circuito do filtro é elevado devido à indutância do filtro, o mesmo contribui para a falta com um amortecimento mais lento do que no caso de se ter apenas bancos de capacitores. A contribuição irá passar pelo período do meio ciclo e irá afetar também as correntes de interrupção.

$$I_{PK}(A) = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{V_{FF}}{Z_o} \times e^{-\frac{t}{\tau}} \times \text{sen}(\omega_o t) = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{V_{FF}}{Z_o} \times e^{-\frac{R}{2L}t} \times \text{sen}(\omega_o t)$$

Em que:

$I_{PK}$  = É a corrente de contribuição de pico do banco de capacitores [A]

$V_{FF}$  = Tensão entre fases do banco de capacitores [V]

R = Resistência entre o banco de capacitores e o ponto de falta em [Ω]

L = Indutância entre o banco de capacitores e o ponto de falta em [H]

C = Capacitância do banco de capacitores em [F]

$$\omega_o (rd / s) = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad Z_o (\Omega) = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

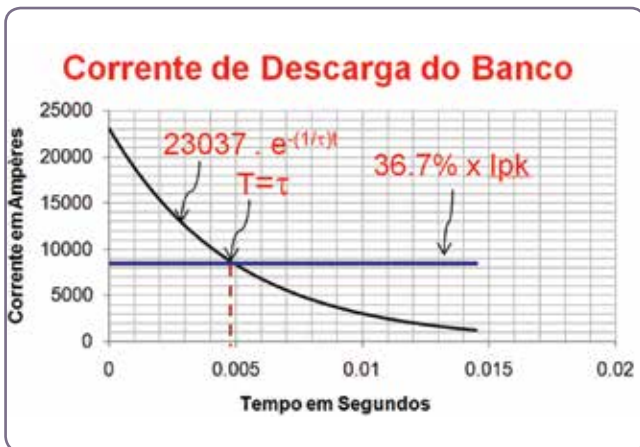


Figura 10 – Contribuição do capacitor para curto-circuito do exemplo.

A corrente de descarga percorre um circuito RLC série, cuja constante de tempo, que representa o tempo necessário para que o valor da corrente decaia até 36.7% de seu valor, é calculada como segue:

$$I_{PK-MAX}(A) = \sqrt{\frac{2}{3}} \times V_{FF} \times \sqrt{\frac{C}{L}} \quad \tau = \frac{L}{R}$$

As equações apresentadas anteriormente refletem o valor instantâneo (pico). O valor da impedância no primeiro ciclo, a calculada tomando como base a potência efetiva do filtro, fica:

$$Z(\%) = \frac{100}{h} \quad kVAr_{BASE} = kVAr_{BASE} \times \left( \frac{kV_{SISTEMA}}{kV_{NOM\_BANCO}} \right)^2$$

Em que:

h = ordem harmônica de sintonia do filtro

Para o cálculo das correntes de interrupção o fator de multiplicação (FM) da corrente dos filtros deve ser calculado como segue:

$$Z(\%)_{INTERRUPÇÃO} = \frac{100}{h} \times FM \quad FM = \left( \frac{e^{\frac{\pi}{\left(\frac{X}{R}\right)^{2 \times t_{INTERRUPÇÃO\_DJ\_CY}}}}}{e^{\frac{\pi}{\left(\frac{X}{R}\right)^{2 \times t_{INTERRUPÇÃO\_DJ\_CY}}}}} \right)$$

Considerando-se  $t_{cy} = \frac{1}{2}$  ciclo e um disjuntor com tempo de interrupção igual a 3 ciclos ( $t_{INTERRUPÇÃO\_DJ\_CY} = 3$ ), a equação se transforma em:

$$FM = \left( \frac{e^{\frac{\pi}{2 \times \left(\frac{X}{R}\right)}}}{e^{\frac{3\pi}{\left(\frac{X}{R}\right)}}} \right) = \left( \frac{e^{\frac{1.571}{\left(\frac{X}{R}\right)}}}{e^{\frac{9.425}{\left(\frac{X}{R}\right)}}} \right)$$

O fator de multiplicação (FM) versus o X/R plotado será visualizado como mostrado na Figura 11.

O valor do X/R do ramo do filtro, normalmente varia entre 20 e 400.

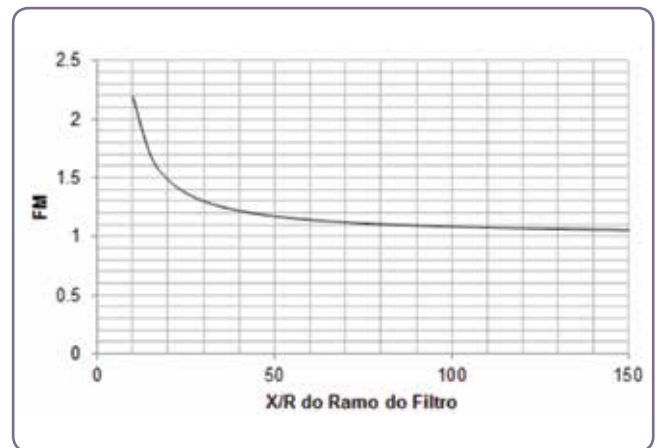


Figura 11 – Fator de Multiplicação da impedância de um filtro para disjuntor de 3 ciclos em função do X/R.

\*Cláudio Sérgio Mardegan é diretor da EngePower Engenharia e Comércio Ltda. É engenheiro eletricista formado pela Unifei, especialista em proteção de sistemas elétricos industriais e qualidade de energia, com experiência de mais de 35 anos nesta área. É autor do livro "Proteção e Seletividade em Sistemas Elétricos Industriais", patrocinado pela Schneider, e coautor do "Guia O Setor Elétrico de Normas Brasileiras". É membro sênior do IEEE e participa também dos Working Groups do IEEE que elaboram os "Color Books". É Chairman do Capítulo 6 do Buff Book, atual 3004 series (3004.6) sobre Ground Fault Protection e também participa de Forensics.

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br)

Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para [redacao@atitudeeditorial.com.br](mailto:redacao@atitudeeditorial.com.br)