

Subestações MT/BT – Teoria e exemplos de cálculo das correntes de curto circuito trifásicas

Filippe Pereira Dolgoff
Engenheiro de Aplicação – Produtos e Sistema de Baixa Tensão
ABB

1 INTRODUÇÃO

Um sistema elétrico de potência é composto de diversos elementos, cada qual com sua função como proteção, seccionamento, transformação, compensações reativas, etc. Um dos elementos mais importantes dentro de um sistema elétrico são os transformadores de potência. Eles são responsáveis por transformar blocos de potência com determinada tensão e corrente para níveis superiores ou inferiores de tensão e corrente, mantendo na saída sempre a mesma potência de entrada, salvo pequenas perdas internas. São máquinas elétricas essenciais para os sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, tendo em vista que possibilitam que os blocos de energia gerados pelos geradores (Usinas Hidroelétricas, Termoelétricas, Eólicas, etc) sejam transmitidos com níveis de corrente aceitáveis.

Tudo isso se deve pois o transformador tem como princípio de funcionamento a elevação ou rebaixamento da tensão onde, consequentemente, a corrente também se elevará ou rebaixará com relação inversamente proporcional a tensão. É garantindo, porém, o produto entre a tensão e a corrente, ou seja, potência elétrica. Por exemplo, é comum em sistemas de transmissão de energia às tensões atingirem níveis iguais ou superiores a 138kV, porém a corrente elétrica é baixa, viabilizando a utilização de condutores com menor seção para transporte dessa corrente. Se essa imensa quantidade de energia tivesse que ser transmitida na mesma tensão a qual ela é gerada (13,8kV em boa parte

dos casos de usinas hidrelétricas) seria inviável já que a corrente elétrica seria extremamente alta, os cabos com seções gigantes, torres de transmissão, distribuição e infraestrutura mecânica deveriam ser muito muito mais resistentes, se é que possível atingir os níveis necessários.

A energia consumida por uma indústria ou um grande centro consumidor de energia geralmente é recebido em média tensão (MT) e ocorrerá o rebaixamento dessa tensão para baixa tensão (BT), onde a maior parte das cargas elétricas são alimentadas. Esse artigo irá abordar alguns conceitos sobre os transformadores de potência MT/BT tais como características elétricas, métodos de utilização, cálculos de curto circuitos, proteções elétricas adequadas às correntes nominais, sobrecarga e curto circuito em sistemas alimentados por transformadores.

2 TRANSFORMADOR MT/BT E SUA INFLUÊNCIA NA CORRENTE DE CURTO CIRCUITO

Dentro de uma subestação elétrica MT/BT, o transformador é um dos elementos mais importantes sendo responsável por rebaixar a tensão em média tensão e entregar a potência contratada e necessária para o funcionamento da planta em níveis de tensão ao qual as cargas serão alimentadas, ou seja, em grande parte valores iguais ou inferiores a 440V.

Os transformadores trifásicos possuem diferentes combinações para o fechamento dos seus

enrolamentos primário e secundário. Porém, a combinação mais comum e normalmente esperada é a seguinte:

- Primário em Delta (Δ): graças a esse tipo de conexão, a 3ª harmônica da corrente de magnetização de um transformador (distorcida devido à não linearidade do circuito magnético) é livre para circular dentro dos lados do delta, sem fluir para a rede de alimentação. Portanto, o fluxo magnético gerado pela corrente circulante do primário é mantido senoidal e, consequentemente, também a tensão induzida no enrolamento secundário.

- Secundário em Estrela com centro aterrado (Y): nesse tipo de ligação é fácil obter as tensões de linha e fase. Além disso, por motivos de segurança, em uma falta entre os lados MT e BT do transformador, a tensão no secundário se mantém próxima do valor de fase, portanto garantindo maior proteção para pessoas e mantendo a isolamento.

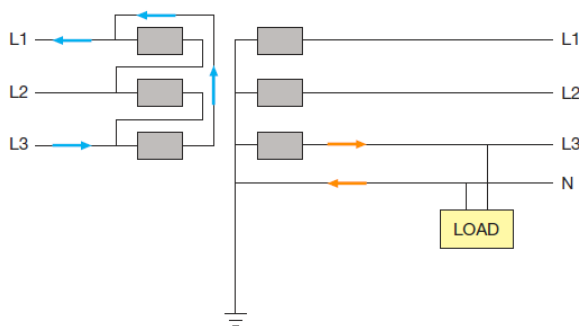


Figura 1 – Fechamento de um transformador MT/BT

A concessionária de energia local possui suas próprias normas e procedimentos para conexão dos pontos de energia em MT no centro consumidor, contendo premissas para utilização dos transformadores, potência máxima permitida de acordo com os níveis de tensão, padrões de entrada, proteção e seletividade com sua subestação distribuidora, entre outros. As proteções do sistema elétrico interno de um centro consumidor deve levar em consideração as proteções contidas na subestação da concessionária, de forma a coordenar-se as curvas de atuação dos

dispositivos de proteção garantindo o mínimo de seletividade e evitando desligamento indesejáveis por parte da concessionária.

Em geral, existem alguns métodos de instalação, topologia e operação de subestações com transformadores, o que definirá a forma como eles serão interligados em um sistema MT/BT. Entre esses métodos podemos citar:

- Subestação com apenas um transformador alimentando todas as cargas.

- Subestação com dois transformadores, sendo um reserva do outro. Ambos possuem a mesma potência e podem alternar o funcionamento.

- Subestação com transformadores trabalhando em paralelo na mesma barra. Ambos possuem a mesma potência e somando a potência deles resulta no valor necessário para atender todas as cargas do sistema.

- Subestação com transformadores trabalhando simultaneamente em barras separadas. Geralmente possuem as mesmas características, inclusive a potência, mas não atuam paralelamente, minimizando o I_{cc} do sistema.

As principais características de um transformador de potência são aquelas referente aos parâmetros elétricos tais como potência nominal, tensão do primário, tensão em vazio do secundário, relação de transformação e impedância percentual. É importante também ter ideia do nível de curto circuito que esse transformador poderá fornecer ao sistema caso ocorra uma falta trifásica logo após a saída do enrolamento secundário. De forma simplificada é possível calcular essa variável no circuito de baixa tensão, desconsiderando a interferência das impedâncias do restante do circuito. Utilizamos a equação (1) para essa finalidade.

$$I_{cc} = \frac{S_{tr}}{\sqrt{3} \times V_L \times Z\%} \quad (1)$$

Onde:

S_{tr} = Potência trifásica aparente em (kVA)

V_1 = Tensão de linha (V)

$Z_{\%}$ = Impedância percentual (%)

2.1 PROTEÇÕES TÍPICAS DOS DISPOSITIVOS DE BAIXA E MÉDIA TENSÃO

Em geral, para proteção de sistemas de baixa e média tensão são utilizados disjuntores, salvo utilização de fusíveis em algumas aplicações. Quando a escolha pela proteção leva a utilização dos disjuntores há diferentes funções nesses dispositivos responsáveis pela proteção de correntes de falta em uma planta elétrica. A questão é que as nomenclaturas utilizadas para as proteções de baixa tensão e média tensão não são iguais, o que causa certa confusão em sua escolha e aplicação. A ideia desta sessão é esclarecer quais as principais proteções utilizadas nos disjuntores de baixa e média tensão e como relacioná-las entre si, encontrando certa equivalência entre elas.

Os disjuntores de baixa tensão de caixa moldada e caixa aberta possuem, tipicamente, proteções contra correntes de sobrecarga, correntes de curto circuito e correntes de fuga a terra. Esses dispositivos podem possuir relés de proteção termomagnéticos ou eletrônicos, também conhecidos como relés de disparo ou atuadores. Quando esses relés são microprocessados, as funções de proteção são referenciadas como LSIG. Abaixo segue uma breve explanação do significado de cada uma dessas nomenclaturas:

- Proteção contra correntes de sobrecarga: identificada como proteção L, possui curva inversa com tempo de atuação longo. É possível parametrizar a corrente de disparo térmica e o tempo de atuação.

- Proteção contra curto circuito temporizado: identificado como proteção S, é a proteção que atuará na ocorrência de um curto-circuito, porém com um tempo de delay em seu disparo. Além do tempo

a corrente de disparo para curto circuito também é parametrizada.

- Proteção contra curto circuito instantâneo: identificado como proteção I, é a proteção que atuará instantaneamente na ocorrência de um curto circuito com intensidade igual ou superior a parametrizada. Nessa proteção, diferente da S, não há delay no disparo, sendo o tempo de abertura dependente apenas do mecanismo do disjuntor.

- Proteção contra falta a terra: identificada como proteção G, é a responsável por atuar na ocorrência de faltas a terra, possuindo maior sensibilidade do que as funções S e I. Essa função recorre a somatória fasorial das correntes do disjuntor (fases + neutro).

Os disjuntores de baixa tensão ainda possuem funções mais avançadas, dependendo do modelo de relé microprocessado utilizado, tais como seletividade por zona, proteção direcional, sub e sobretensão, sub e sobrefrequência, desequilíbrio de tensão e corrente, etc.

Os disjuntores de média tensão, diferentemente dos de baixa, recorrem a um relé de proteção externo ao disjuntor, conhecido também como IED. Os IED's são responsáveis por monitorar as grandezas elétricas do sistemas de média tensão por meio de transformadores de potencial e transformadores de corrente, os quais transformam as variáveis tensão e corrente em valores aceitáveis para utilização em um dispositivo microprocessado. As proteções dos relés de proteção de MT são referenciadas no padrão ANSI/IEEE C37.2 e as nomenclaturas utilizadas são números, as vezes acompanhados de letras. As proteções mais comuns em IED's são as funções 50 e 51, apesar de existirem muitas outras, para diversas aplicações.

- Função 50: trata-se da função de sobrecorrente instantânea, ou seja, sem delay de atuação quando a corrente supera o valor parametrizado. Pode ser comparada a função I.

- Função 51: trata-se da função de sobrecorrente temporizada, ou seja, possui delay de

atuação quando a corrente supera o valor parametrizado. A curva de atuação é inversamente proporcional ao valor da corrente, sendo possível escolher o quão inversa será sua atuação. Pode ser comparada com a função S.

- Função 51N ou 51G: trata-se da proteção temporizada contra faltas a terra. Pode ser utilizada por meio da somatória fasorial das correntes ou via TC toroidal auxiliar. Pode ser comparada a função G com tempo inverso.

- Função 50N ou 50G: trata-se da proteção instantânea contra faltas a terra. Pode ser utilizada por meio da somatória fasorial das correntes ou via TC toroidal auxiliar. Pode ser comparada a função G com tempo definido.

3 CALCULO DAS CORRENTES DE CURTO CIRCUITO

O cálculo de curto circuito em um sistema elétrico é extremamente importante pois definirá todos os requisitos elétricos e mecânicos de dispositivos de proteção, suportabilidade de painéis, barramentos, etc. Em linhas gerais, o curto circuito mais crítico é o trifásico e é em cima desse valor que são especificadas as proteções do sistema. Apesar disso, também é o curto circuito menos provável de ocorrer. Mesmo assim, sempre protege-se um sistema elétrico pelo pior caso. Nesse capítulo analisaremos os principais dados necessários para o cálculo do curto circuito trifásico, premissas e equações utilizadas.

3.1 PRINCIPAIS DADOS NECESSÁRIOS

3.1.1 Rede de Distribuição

Em uma rede de média tensão é comum conhecermos apenas a tensão nominal da rede. Porém, para calcular a corrente de curto circuito de uma planta é importante conhecermos a potência de curto circuito do sistema, que pode variar desde 250MVA a valores muito maiores. Quanto maior a tensão de média

tensão, maior é a potência de curto circuito de um sistema. A concessionária de energia elétrica responsável pelo fornecimento de energia provavelmente possuirá essa informação para disponibilizar e auxiliar no cálculo mais preciso.

3.1.2 Geradores Síncronos

Os dados comumente conhecido de uma máquina elétrica são tensão e potência nominal. Para geradores síncronos, como para todas as máquinas elétricas, para obter uma análise mais completa é necessário avaliar outros pontos tais como o comportamento sob regime para uma análise de problemas de estabilidade estática, o comportamento sob condições transitórias como variação de carga para problemas de estabilidade dinâmica, em especial quando ocorre um curto circuito trifásico.

Portanto, torna-se necessário conhecer os valores das reatâncias dos geradores, em particular os referentes a reatância síncrona, reatância transitória e reatância subtransitória. Nesse artigo não será abordado esse assunto em detalhes, mas sim apenas para ilustrar a necessidade de um estudo mais aprofundado dessas máquinas no análise de curto circuito no qual elas estão presentes e ativas na ocorrência da falta.

3.1.3 Transformadores

Conforme explicado anteriormente, as variáveis usualmente conhecidas de um transformador de potência são:

- Potência nominal S_n [kVA]
- Tensão nominal do primário V_{n1} [V]
- Tensão nominal do secundário V_{n2} [V]
- Impedância Percentual $Z_{\%}$ [%]

Com esses dados é possível determinar a corrente nominal do primário e do secundário do transformador e a corrente sob condições de curto

circuito. Tipicamente, o valor da impedância percentual varia de 4% a 7% para transformadores com classe de isolamento 15kV e dependem também da potência nominal, onde quanto menor a potência, menor será o $Z_{\%}$. A norma IEC 60076-5 reporta como referência algumas faixas de $Z_{\%}$, conforme figura 2 abaixo.

Rated apparent power S_n [kVA]	Short-circuit voltage $V_{k\%}$
≤ 630	4
$630 < S_n \leq 1250$	5
$1250 < S_n \leq 2500$	6
$2500 < S_n \leq 6300$	7
$6300 < S_n \leq 25000$	8

Figura 2: tabela de impedância percentual $Z_{\%}$ ($V_{k\%}$) de transformadores de média tensão conforme IEC 60067-5

3.1.4 Motores Assíncronos

Os dados usualmente conhecidos para motores assíncronos são a potência nominal [kW], a tensão nominal [V], corrente nominal [A], rendimento elétrico e o fator de potência. Todos esses dados são facilmente obtidos através de catálogos ou mesmo na placa que acompanha o motor elétrico.

Na ocorrência de um curto circuito, o motor elétrico assíncrono funciona como um gerador durante um curto período. Isso ocorre devido a necessidade do motor liberar a energia eletromagnética armazenada em seu circuito indutivo. Durante esse primeiro período do curto circuito, uma reatância subtransitória de 20 a 25% pode ser considerada. Isso significa que uma corrente de 4 a 5 vezes a corrente nominal do motor pode ser assumida como contribuição para a corrente de curto circuito, ou seja, é um acréscimo de corrente além daquela já fornecida pela fonte. Quanto maior a quantidade de motores em um sistema elétrico e quanto maiores forem suas potências nominais, mais crítica são suas contribuições.

3.2 O CALCULO DO CURTO CIRCUITO TRIFÁSICO

Tomando como exemplo o esquema elétrico da figura 3, é assumido que um curto circuito ocorre nos terminais de conexão da carga L. Para estudar o circuito e calcular a intensidade da falta nesse ponto podemos considerar um circuito equivalente contendo os parâmetros de resistência e reatância de cada elemento do esquema. As resistências e reatâncias devem estar todas referenciadas no mesmo valor de tensão para o cálculo da corrente de curto circuito. Portanto, deve-se calcular a impedância do enrolamento primário refletida no enrolamento secundário. Para tanto, utiliza-se a relação de transformação do transformador, conforme equação 2.

$$k = \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} \quad (2)$$

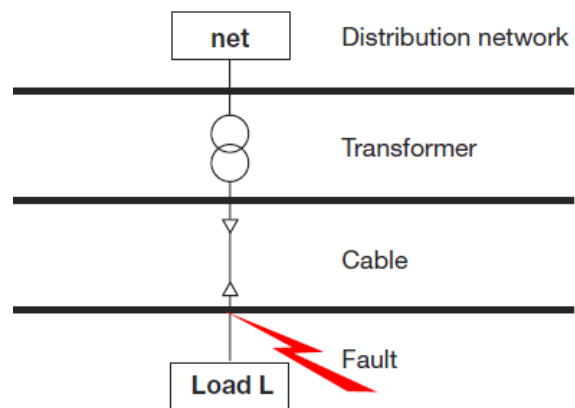


Figura 3: esquema elétrico para exemplificar o cálculo de curto circuito

O esquema elétrico considerado nesse exemplo pode ser representado como um circuito equivalente de todas as impedâncias em série tomando como referência o ponto da falta. Sempre que ocorre um curto circuito em um sistema elétrica, é possível determinar o circuito equivalente por meio do teorema de Thevenin referenciado pelo ponto de ocorrência do curto circuito. Desta forma, a corrente de curto circuito

trifásico simétrica torna-se extremamente simples de ser calculada utilizando a lei de Ohm. No caso, dependendo da complexidade do sistema, o mais trabalhoso é obter a impedância equivalente de Thevenin. Por isso optou-se por demonstrar o conceito de forma simplificado, analisando o circuito da figura 3. Na figura 4 é demonstrado a impedância equivalente visto pelo ponto da falta.

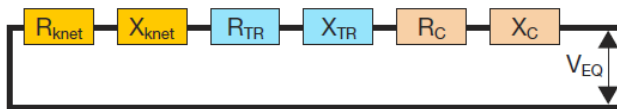


Figura 4: circuito equivalente visto do ponto da falta

No ponto do curto circuito, a tensão equivalente será igual à tensão de fase, tendo em vista que o secundário do transformador está fechado em estrela (Y).

$$V_{eq} = \frac{V_l}{\sqrt{3}}$$

3.2.1 Impedância da Rede de Distribuição

Quando busca-se um cálculo mais preciso da corrente de curto circuito, procura-se levar em consideração também a impedância equivalente do sistemas de distribuição a qual o circuito está conectado. Por meio de informações que são geralmente conhecidas, como a tensão da rede e a corrente de curto circuito em média tensão do ponto de instalação (informação usualmente fornecida pela concessionária), é possível calcular a impedância equivalente de curto circuito do sistema de distribuição, por meio da equação (3).

$$Z_{eqnet} = \frac{V_{net}}{\sqrt{3} \cdot I_{ccnet}} \quad (3)$$

Assim, obtém-se o módulo da impedância de curto circuito da rede. Para calcular os parâmetros da resistência e impedância da rede, pode ser utilizado a relação encontrada nas equações (4) e (5).

$$X_{ccnet} = 0,995 \cdot Z_{eqnet} \quad (4)$$

$$R_{ccnet} = 0,1 \cdot X_{ccnet} \quad (5)$$

Se caso a potência de curto circuito do ponto de instalação do circuito de média tensão for conhecida, é também possível calcular os parâmetros da impedância de curto circuito utilizando a equação (6) para encontrar o módulo da impedância equivalente.

$$Z_{eqnet} = \frac{V_{net}^2}{S_{ccnet}} \quad (6)$$

3.2.2 Transformadores

A impedância de um transformador pode ser encontrada com base nos parâmetros nominais do equipamento, tais como tensão nominal no secundário, potência nominal e impedância percentual, utilizando a equação (7).

$$Z_{TRmodulo} = \frac{V_{2n}^2 \cdot Z\%}{S_{TR}} \quad (7)$$

A componente resistiva do transformador pode ser calculada com base nos valores de perdas devido ao cobre, causada quando a corrente nominal do transformador está circulando pelo secundário. O valor das perdas é facilmente encontrado nos catálogos dos fabricantes e por meio da equação (8) calcula-se qual o valor da componente resistiva. Por fim, com os valores das componentes resistiva e o módulo da impedância, é possível calcular a componente reativa com base na equação (9), conforme segue abaixo.

$$R_{TR} = \frac{P_{LTR}}{3 \cdot I_{2n}^2} \quad (8)$$

$$X_{TR} = \sqrt{(Z_{TR}^2 - R_{TR}^2)} \quad (9)$$

3.2.3 Cabos e linhas aéreas

O valor da impedância desses elementos de conexão dependem de diferentes valores, tais como maneira de distribuição, características construtivas, temperatura, etc, que vão influenciar diretamente nos parâmetros de resistência e reatância. Porém, esses valores são normalmente informados pelos fabricantes de cabos e a unidade dos parâmetros são dados em unidade por comprimento. A impedância equivalente de cabos em uma instalação podem ser expressados pela equação (10).

$$Z_c = L \cdot (R_c + jX_c) \quad (10)$$

3.2.4 Exemplo de cálculo de curto circuito trifásico simétrico

Considerando o esquema elétrico da figura 10 e adotando os valores hipotéticos, porém realistas, será calculada a corrente de curto circuito no ponto de conexão do barramento de baixa tensão, logo após a conexão do cabo BT.

- Potência de curto circuito do ponto de conexão: 500MVA

- Tensão nominal da rede MT: 13,8kV

- Cabo MT: $R_{CMT} = 36 \text{ [m}\Omega\text{/m]}$

$$X_{CMT} = 33,5 \text{ [m}\Omega\text{/m]}$$

$$L_{\text{cabo}} = 10 \text{ [m]}$$

- Transformador: Potência = 400kVA

Tensão do Secundário = 380V

Impedância Percentual $Z\% = 4\%$

Perdas no cobre $P\% = 3\%$

- Cabo BT: $R_{CBT} = 0,0388 \text{ [m}\Omega\text{/m]}$

$$X_{CBT} = 0,0395 \text{ [m}\Omega\text{/m]}$$

$$L_{\text{cabo}} = 10 \text{ [m]}$$

Dados as informações acima é possível calcular a corrente de curto circuito trifásico no ponto em questão da figura 10. Para esse cálculo, serão

considerados todos os elementos acima discriminados, com suas respectivas impedâncias. Já que a falta está ocorrendo no lado de baixa tensão, todos os elementos que se encontram em média tensão devem ser relacionados como se estivessem no secundário do Trafo. Para isso, consideramos a relação de transformação e seguimos com os cálculos a partir daí, conforme pode ser visto abaixo:

$$k = \frac{V_1}{V_2} = \frac{13800}{380} = 31,316$$

- Rede de alimentação:

$$Z_{eqnet} = \frac{V_{net}^2}{S_{ccnet}} = \frac{13,8^2}{500} = 0,381$$

$$Z_{eqnet380V} = \frac{Z_{eqnet}}{k^2} = \frac{0,381}{36,316^2} = 0,2888 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

$$X_{ccnet380V} = 0,995 \cdot Z_{eqnet380V} = 0,2873 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

$$R_{ccnet380V} = 0,1 \cdot X_{ccnet380V} = 0,0287 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

- Cabos de MT:

$$Z_{CMT} = L \cdot (R_{CMT} + jX_{CMT}) = 10 \cdot (36 + j33,5) = 360 + j335 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

$$Z_{CMT380V} = \frac{Z_{CMT}}{k^2} = \frac{360 + j335}{36,316^2} = 0,2729 + j0,2540 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

- Transformador

$$Z_{TR\text{modulo}} = \frac{V_{2n}^2 \cdot Z\%}{S_{TR}} = \frac{380^2 \cdot 0,04}{400 \cdot 10^3} = 14,44 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

$$R_{TR} = \frac{P_{LTR}}{3 \cdot I_{2n}^2} = \frac{0,03 \cdot 400 \cdot 10^3}{3 \cdot \left(\frac{400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380}\right)^2} = 10,83 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

$$X_{TR} = \sqrt{(Z_{TR}^2 - R_{TR}^2)} = \sqrt{14,44^2 - 10,83^2} = 9,55 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

- Cabos de BT

$$Z_{CBT} = L \cdot (R_{CBT} + jX_{CBT}) = 10 \cdot (0,0388 + j0,0395) = 0,388 + j0,395 \text{ [m}\Omega\text{]}$$

- Calculando a impedância equivalente do circuito:

$$Z_{eq380V} = \sum Z_{componentes} = (Z_{eqnet380V} + Z_{cMT380V} + Z_{TR} + Z_{CBT})$$

$$Z_{eq380V} = 0,0287 + j0,2873 + 0,2729 + j0,2540 + 10,83 + j9,55 + 0,388 + j0,395$$

$$Z_{eq380V} = 11,5196 + j10,4863 [m\Omega]$$

- Calculando o módulo da impedância:

$$Z_{eq380V modulo} = \sqrt{11,5196^2 + 10,4863^2} = 15,5776 [m\Omega]$$

- Calculando a corrente de curto circuito trifásica simétrica:

$$I_{cc3\sim} = \frac{V_{2n}}{\sqrt{3} \cdot Z_{eq380V modulo}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 15,5776 \cdot 10^{-3}} = 14,0838 [kA]$$

Portanto, a corrente de curto circuito trifásica no ponto em questão é de aproximadamente 14,1kA. Essa corrente possui essa intensidade nesse ponto específico, sendo que se houvesse mais alguns metros de cabos até chegar a carga o valor encontrado seria ainda menor. As impedância do circuito determinam as intensidade da falta e, consequentemente, as proteções que serão selecionadas para cada trecho do circuito. Vale lembrar que quanto mais ramificado e complexo o circuito for maior será também sua complexidade na procura das correntes de curto circuito.

3.2.5 Contribuição de Motores no Curto Circuito

Na ocorrência de um curto circuito, os motores que estão sendo alimentados e em funcionamento começam a funcionar como um gerador, alimentando a falta por um pequeno período de tempo. Essa contribuição pode ser calculada com base na

reatância subtransitória do motor, porém esse dado nem sempre é facilmente obtido. O que geralmente é adotado na prática é considerar a contribuição de motores de indução como um fator multiplicativo da corrente nominal da máquina, o que pode variar entre 4 a 6 vezes.

Para circuito de baixa tensão, a contribuição dos motores de baixa tensão, em relação a duração, pode ser desconsiderada logo após os primeiros períodos da corrente de curto circuito. De acordo com a IEC 60909 há alguns critérios para considerar ou não a contribuição dessas máquinas, sendo que ela pode ser desprezada desde que:

$$\sum I_{nM} > \frac{I_{cc3\sim}}{100}$$

Onde $\sum I_{nM}$ representa a somatória das correntes nominais de todos os motores diretamente conectados à rede de distribuição onde o curto circuito ocorreu e $I_{cc3\sim}$ é a corrente de curto circuito sem qualquer contribuição dos motores. Ou seja, caso as correntes nominais somadas sejam inferior ao valor expresso na equação acima, a contribuição dos motores pode ser desprezada, já que elas não serão significativas para o circuito.

3.2.6 Calculando o valor de pico da corrente de curto circuito

Propositalmente foi frisado anteriormente a menção da corrente de curto circuito simétrica. Isso se deve pelo fato da corrente de curto circuito simétrica ser a mais fácil de calcular e ser independente de alguns parâmetros relacionados ao tempo, ao momento de ocorrência do curto circuito e as relações existentes entre as reatâncias e resistência do circuito (X/R). De fato, a corrente de curto circuito é composta por duas componentes, sendo elas a corrente simétrica, comumente conhecida como componente AC, e a assimétrica, também conhecida como componente

DC. Essas componentes podem ser expressadas pelas equações abaixo.

$$I_{cc-AC} = \sqrt{2} \cdot I_{cc} \cdot \sin(\omega t - \varphi_{cc})$$

$$I_{cc-DC} = \sqrt{2} \cdot I_{cc} \cdot \sin \varphi_{cc} \cdot e^{\frac{-R}{L} \cdot t}$$

A componente assimétrica é responsável por criar um transitório na corrente de curto circuito e provoca o maior valor de pico no primeiro ciclo da falta. Esse valor é o mais crítico, provocando uma grande liberação de energia térmica e dinâmica ao sistema de distribuição. Geralmente falando, tomando como base a corrente RMS do curto circuito simétrico, o valor de pico do primeiro semi-ciclo do curto circuito pode variar de $\sqrt{2} \cdot I_{cc}$ a $2\sqrt{2} \cdot I_{cc}$. Após o transitório provocado pela componente assimétrica o valor da corrente de curto circuito torna-se praticamente simétrica, conforme demonstrado na figura 5.

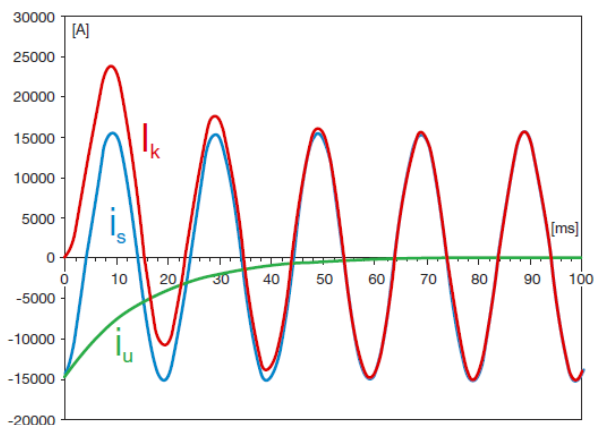


Figura 5: representação da corrente de curto circuito com suas duas componentes assimétrica e simétrica

Para critério de proteção, com base nos parâmetros determinados pela IEC 60947-2, deve-se sempre selecionar disjuntores que atendam as correntes de curto circuito do sistema. Os disjuntores são referências pelas correntes I_{cu} e I_{cm} , sendo que a primeira geralmente se refere ao valor simétrico RMS da corrente de curto circuito máxima suportável por um disjuntor e a segunda se refere a corrente de pico máxima suportável por um disjuntor provocada pela assimetria de um curto circuito.

Enfim, com o cálculo da corrente de curto circuito simétrica trifásica, é possível projetar de forma eficiente e objetiva os sistemas de proteção em circuitos elétricos trifásicos. Por possuir uma metodologia relativamente simples, é possível determinar os valores de correntes em cada barra do sistema, proporcionando informações básicas para seleção das proteções e, conseqüentemente, o melhor custo benefício.