

Capítulo I



Definições e estudos do sistema elétrico que servem de base para as especificações técnicas dos equipamentos para subestações de transmissão e distribuição

Por Sérgio Feitoza Costa*

Nesta série de fascículos, são apresentados conceitos de engenharia para o projeto e especificação de equipamentos de subestações de transmissão e distribuição. São abordadas todas as fases do ciclo de vida dos equipamentos, desde o planejamento dos valores de tensões e correntes da futura subestação até sua utilização propriamente dita.

Para facilitar a compreensão, os capítulos serão agrupados nos seguintes temas:

- Definições e estudos do sistema elétrico que servem de base para as especificações técnicas dos equipamentos;
- Curtos-circuitos, ampicidades, sobrecargas e contatos elétricos (fundamentos do projeto para elevação de temperatura, forças e tensões eletrodinâmicas no curto circuito, tensões transitórias de restabelecimento e processos de interrupção e aspectos de arcos de potência);
- Técnicas de ensaios de alta potência, laboratórios de ensaios e fundamentos dos principais ensaios;
- Estudos elétricos de sobretensões, coordenação de isolamento, aterramento, determinação de efeitos e impactos de campos elétricos e magnéticos;
- Particularidades dos arcos de potência internos e externos, segurança de pessoas e instalações e informações sobre a “Brochura Cigré 602”, publicada pelo

Cigré Internacional em dezembro de 2014: Tools For The Simulation Of The Effects Of The Internal Arc In Transmission And Distribution Switchgear;

- Disjuntores, seccionadores, painéis e para-raios: especificações técnicas de equipamentos de subestações por concessionárias de energia;
- Transformadores, reatores, proteção contra incêndios: especificações técnicas de equipamentos de subestações por concessionárias de energia;
- Equipamentos para usos em locais especiais (atmosfera explosivas, alta salinidade, poluição): técnicas de projeto, ensaios e normas;
- Normas técnicas sobre painéis de baixa tensão: conceitos, regras de projeto e oportunidades para evitar a repetição de ensaios;
- Normas técnicas sobre painéis de média e alta tensões: conceitos, a nova IEC 62271-307 (2015) sobre extensão da validade de relatórios de ensaios;
- Técnicas para simulação de ensaios de alta potência e aplicações no desenvolvimento e certificação de produtos;
- Tecnologias atuais e futuras para os principais equipamentos para subestações de transmissão e distribuição.

O texto a seguir é o primeiro tema da série e trata das definições e estudos do sistema elétrico que servem de base para as

especificações técnicas dos equipamentos.

TENSÕES E CORRENTES APLICADAS NOS EQUIPAMENTOS DE UMA SUBESTAÇÃO

No dia a dia dos equipamentos elétricos de uma subestação, além das situações “normais” em regime permanente ocorrem situações “anormais” como curtos-circuitos e sobretensões.

Nas situações normais, são aplicadas correntes e tensões não superiores aos valores nominais dos equipamentos. Pode-se dizer que um equipamento que foi projetado para operar durante uma certa vida útil, se for utilizado até seus valores nominais terá um envelhecimento normal.

Neste caso, as elevações de temperatura de partes metálicas, conexões e isolantes não ultrapassam certos limites especificados nas normas técnicas para os ensaios de elevação de temperatura. Da mesma forma, para as tensões, se os valores não passam muito dos valores nominais, o isolamento não é prejudicado ou tem seu envelhecimento acelerado.

As situações “anormais” mais comuns são:

- Sobrecorrentes de curta duração causadas por curtos-circuitos (< 3 s);
- Sobrecorrentes de longa duração (dezenas de segundos ou minutos) causadas por sobrecargas;

- Sobretensões de longa duração (s ou dezenas de s) causadas por distúrbios no sistema;
- Sobretensões de curtíssima duração (μ s) como as ondas de impulso.

Em consequência destas podem ocorrer efeitos elétricos ou mecânicos importantes, conduzindo a falhas mais ou menos imediatas na instalação. Embora levem sempre a culpa, estes eventos são totalmente previsíveis, não mudaram muito nos últimos 100 anos e não são os culpados de apagões e outras anormalidades. Para lidar com estes basta ter bom planejamento e capacitação técnica.

Nestes aspectos, em meus 60 anos, testemunhei, nos setores elétrico e de energia, muitos avanços dos anos 1970 até meados dos 1990. Depois entramos em uma trajetória descendente. Nos últimos 15 anos, à medida que o Brasil crescia, a capacitação técnica e a disponibilidade de laboratórios de ensaios decresceu. Seguidos planos de demissão

voluntária (PDVs) tiraram prematuramente do trabalho a maior parte do excelente corpo técnico formado pouco antes. É um erro grosseiro de planejamento que demonstra falta de interesse no longo prazo. Parece que longo prazo agora é o período de um mandato. Saímos da boa rota de investir em tecnologia e capacitação para investir apenas em marketing de realizações que os escândalos e os fatos mostram que não são verdade. As seguidas mudanças de modelo do setor elétrico não nos levaram à frente.

Sobrecorrentes de longa duração

São causadas por sobrecargas de dezenas de segundos até alguns minutos. A temperatura de partes dos equipamentos pode tornar-se mais elevada que a suportabilidade dos materiais isolantes. Esta é caracterizada pelos limites que não podem ser excedidos aos especificados nas normas técnicas, para ensaios de elevação de temperatura. São limites aplicáveis a

contatos, terminais, conexões, soldas e isolantes. Tais partes podem ter limitações quanto às máximas temperaturas ou elevações de temperaturas permissíveis. Os valores são influenciados pelos diferentes ciclos de correntes.

Nas normas IEC, base das normas brasileiras, os valores de temperaturas e elevações de temperatura permissíveis partem dos princípios de que a temperatura ambiente não excede a 40 °C e seu valor médio em período de 24h não excede a 35 °C. Se a temperatura do ambiente em que o equipamento está instalado é superior a estes 40 °C, os limites de norma, para efeito de ensaios de elevação de temperatura, devem ser reduzidos.

Por exemplo, se o limite especificado na norma para a elevação máxima de temperatura de uma conexão é de 75 K e o equipamento é instalado em um local em que a temperatura máxima do ar ambiente é de 50 °C, o limite a não ultrapassar no

ensaio de elevação de temperatura será de $75 - 10 = 65$ K ao invés de 75 K. Um ótimo documento para entender melhor estes conceitos é a IEC/TR 60943: Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals (ver Tabela 1).

Se estes limites são excedidos no dia a dia da utilização dos equipamentos, por exemplo, nas sobrecargas das horas de ponta, o equipamento tem seu envelhecimento normal acelerado de forma calculável. Por exemplo, considere que se aplica uma sobrecarga e a temperatura do fluido envolvendo um contato ou terminal passa de T_{e1} para T_{e2} e que a elevação de temperatura naquele passa de ΔT_{i1} para ΔT_{i2} . De acordo com expressão de cálculo mostrada na IEC 60943, a vida útil do componente é multiplicada por um fator de envelhecimento K expresso por:

$$K = 2^{[(\Delta T_{i1} - \Delta T_{i2}) / \Delta t + (T_{e1} - T_{e2}) / \Delta e]}$$

ΔT_{i1} e ΔT_{i2} são as elevações de temperatura do componente nas condições normais e de sobrecarga. T_{e1} e T_{e2} são as temperaturas do fluido em torno do componente nas mesmas condições.

Com base nesta expressão, se um contato de cobre tem máxima elevação de temperatura permitida pela norma de $\Delta T_i = 35$ K e é utilizado regularmente com elevação de temperatura de $\Delta T_{i2} = 35$ K + 6,5 = 41,5 K sua vida útil é reduzida em algo da ordem de 50%.

Os limites máximos de elevação de temperatura das normas levam em conta dois grupos de valores. O primeiro corresponde a partes de componentes cujas temperaturas não devem exceder certo valor que ocasionaria muito rápida ou imediata destruição. Esta é a situação de materiais isolantes, contatos estanhados e molas. O segundo grupo diz respeito a componentes suscetíveis a envelhecimento gradual, mas cuja temperatura de destruição rápida é elevada. Um exemplo é a elevação de temperatura dos contatos de cobre nu limitada a 35 K.

TABELA 1 – ALGUNS VALORES DAS MÁXIMAS TEMPERATURAS E ELEVAÇÕES PERMITIDAS NAS NORMAS IEC

Parte	Material do contato e meio onde será usado	Elevação de temperatura máx. (K) ambiente 20°C	Temperatura máx. (°C) ambiente 40°C	Comentários
CONTATO DE MOLA	Cobre - no ar e suas ligas, - no SF6 não revestido - no óleo	35 75 (65 na IEC62271-1) 40		ANSI C37-23 para barramentos 65 K sobre ambiente de 40°C. Involucro 40 K.
	Estanhado, no ar, SF6 ou óleo	50		
	Prateado ou níquelado - no ar / SF6 - no óleo	75 (65 na IEC62271-1) 50		
	Para contatos em óleo		105	
CONTATO	Cobre, alumínio e suas ligas, não revestido no ar não revestido no SF6	60 (50 na IEC62271-1) 75		
	Estanhado, no ar ou SF6		105	"creep" estanho
	Prateado ou níquelado ar ou SF6	75		
	Prateado ou níquelado no óleo		100	deteriora óleo
APARAFUSADO	Para contatos em óleo		105	deteriora óleo
	Em contato com isolante de classe		90 / 105 / 120 130 / 155 / 190	Envelhecimento do isolamento
	Em posição de soldas		100	Quebra
	Podem ser tocadas (met / não metálico) Acessíveis mas não tocadas		70 / 80 60 / 90	Não queimar pessoas

• Seção reta Q deve ser suficiente para que temperaturas não passem da temperatura de recozimento 180 °C (alumínio) ou 200 °C (cobre)

$$I_k \times 1000 \times \sqrt{T} = Q \times \sqrt{4.184 \times (C \times \rho_d / \rho_r \times \alpha) \times \ln [1 + (\alpha (\theta_{max} - \theta_i))]}$$

- I_k = corrente de curto circuito em valor eficaz p.ex. 50 kA ef
- T = tempo em segundos
- Q = seção reta do condutor em mm²
- C = calor específico em cal / (gr · °C⁻¹) por exemplo para o Cu = 0,0925
- ρ_d = densidade em g/cm³ (Cu = 8,9)
- ρ_r, ρ_{20} = resistividade a 20 ° C (Cu = 0,178) ou na temperatura θ_i
- θ_i = temperatura inicial por exemplo 20 ° C (Cu = 0,178)
- θ_f = temperatura final, por exemplo a de recozimento Cu = 200 ° C
- α = coeficiente de temperatura Cu = 0,004

Figura 1 – Elevação de temperatura durante circuitos.

Sobrecorrentes de curta duração

São causadas por curtos circuitos havendo dois efeitos importantes a considerar:

- Superelevações adiabáticas de temperatura que podem chegar a recozer peças de cobre ou mesmo fundir componentes. A Figura 1 mostra a equação base de cálculo;
- Os efeitos eletrodinâmicos das correntes de curto-circuito podem implicar em esforços da ordem de toneladas em isoladores e peças metálicas.

As elevadas correntes de curto-circuito produzem esforços mecânicos elevados

nos momentos iniciais da circulação das correntes. Na norma IEC 61117: Method for assessing the short-circuit withstand strength of partially type-tested assemblies (PTTA), são mostrados os métodos de cálculo, considerando-se, inclusive, os efeitos de ressonâncias. No fascículo sobre simulações de ensaios de alta potência, serão mostrados exemplos detalhados extraídos do documento "Validação da Simulação de Ensaios de Alta Potência", que pode ser baixado em: http://www.cognitor.com.br/TR_071_ENG_ValidationSwitchgear.pdf

Devido ao grande número de variáveis envolvidas, mesmo para sistemas

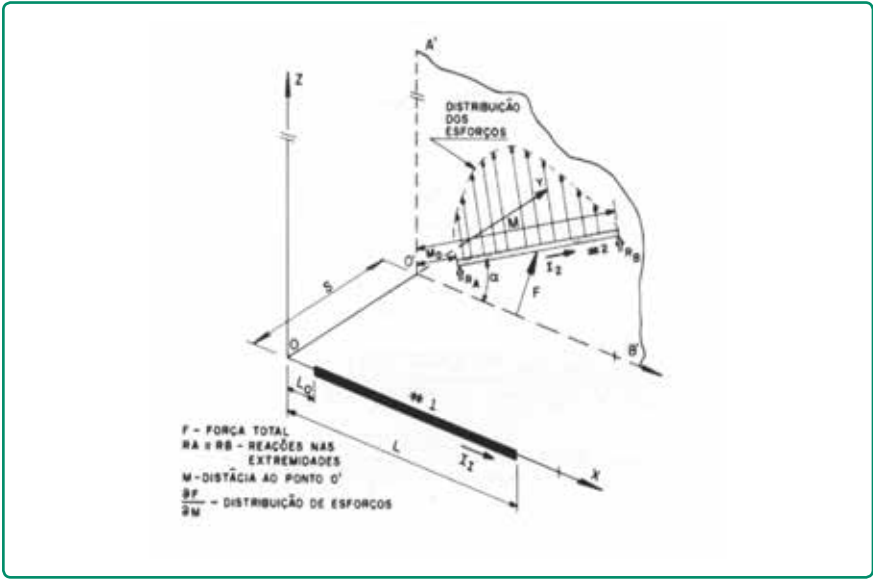


Figura 2 – Configuração básica para cálculo de esforços eletrodinâmicos.

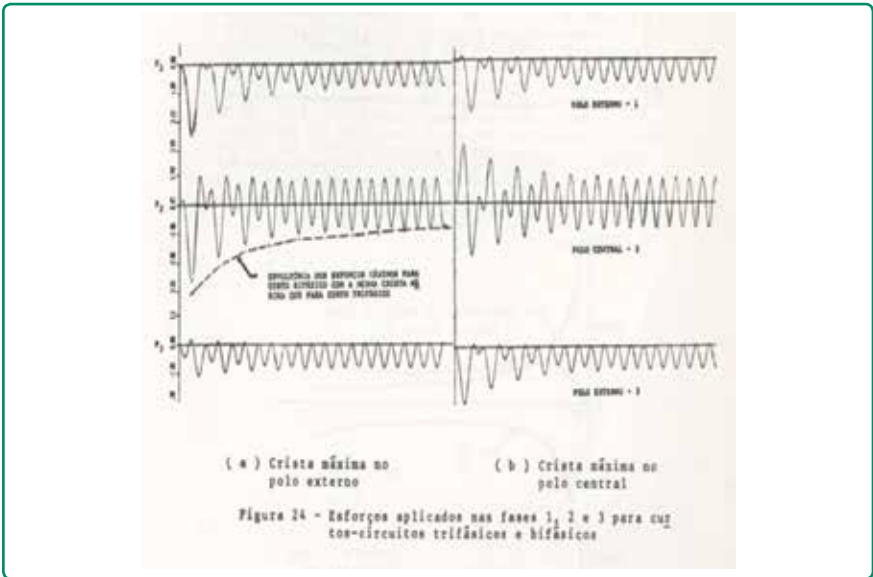


Figura 3 – Forças ao longo do tempo.

~ sobretensões temporárias ~ sobretensões de impulso

Tabela 1 – Distancias mínimas no ar – Tensões nominais (1 kV < Um ≤ 245 kV) Apenas algumas linhas da tabela

Tensão nominal do sistema	Tensão máxima do sistema	Tensão suportável de curta duração (frequência industrial)	Tensão nominal suportável de impulso atmosférico (valor de pico)	Mínima distância fase-terra e fase-fase N c	
Um eficaz	Um eficaz	eficaz	1,2/50 µs	Instalação abrigada	Instalação externa
kV	kV	kV	(valor de pico)	mm	mm
3	3,6	10	30 40	60 60	120 120
15	17,5	38	75 95	120 160	160 160
132	145	185 b	450 b	900	
		230	550	1 100	
		275	650	1 300	
220	245	275 b	650 b	1 300	
		325 b	750 b	1 500	
		360	850	1 700	
		395	950	1 900	
		460	1 050	2 100	

Valores aplicados em ensaios Em equipamentos testados podem ser menores por exemplo p.ex: distancia entre polos de disjuntor

COGNITOR

Figura 4 – Sobretensões x ensaios.

relativamente simples, é necessário o uso de softwares específicos. No dimensionamento de barramentos e cubículos é um cálculo imprescindível. Há detalhes no livro “Painéis, Barramentos E Seccionadores e Equipamentos de Subestações”, de autoria de Sergio Feitoza. Download livre em: http://www.cognitor.com.br/Book_SE_SW_2013_POR.pdf

Há ainda dois outros aspectos importantes associados a curtos circuitos que serão tratadas em outro fascículo desta série. É o caso dos arcos de potência. O caso típico dos arcos internos é o que ocorre em cubículos de médias e baixas tensões quando tal equipamento é energizado e alguém esqueceu uma ferramenta dentro. O outro caso é o de arcos de potência em cadeias de isoladores que ocorrem em torres de transmissão. Estes podem derreter peças mecânicas importantes fazendo até mesmo que haja queda do cabo. Um outro tipo de arco interno é o que ocorre em falhas de transformadores de transformadores. Existe a norma ABNT NBR 8222 - Execução de sistemas de prevenção contra explosão e incêndio, por evitar sobrepensões decorrentes de arcos elétricos internos em transformadores e reatores de potência, única no mundo, que trata deste assunto. Foi publicada em dezembro de 2014 a brochura Cigré 602 “Tools for the simulation of the effects of internal arc in transmission and distribution switchgear”, elaborada por grupos de trabalho – dos quais eu participei – nos âmbitos, respectivamente, do CB-24 da ABNT e do WG A3-24 do Cigré internacional.

Sobretensões de longa duração

Estas sobretensões ocorrem com relativa frequência, por exemplo, quando em circuitos trifásicos, uma das fases é aberta durante uma falta permanecendo as demais fechadas. São sobretensões da ordem de até 150% da tensão da rede e na frequência da rede ou próxima dela. Associadas a estas ocorrências existe o ensaio de tensão aplicada a frequência industrial a seco ou sob chuva conforme será detalhado no próximo fascículo sobre ensaios (Figura 4).

Sobretensões de curta duração

As principais ocorrências nas redes elétricas são devido às descargas atmosféricas e os chamados impulsos de manobra. Os impulsos de manobra surgem devido à abertura e fechamento sob tensão dos disjuntores e seccionadores. São simulados em laboratório por impulsos de tensão com uma forma de onda de $250 \mu\text{s} \times 2500 \mu\text{s}$, sendo o primeiro valor o tempo de frente e o segundo associado ao tempo de cauda. As descargas atmosféricas provocam sobretensões elevadas que, em laboratório, são representadas por impulsos de tensão com forma de onda $1,2 / 50 \mu\text{s}$.

ESPECIFICAÇÃO DOS VALORES DE TENSÃO E CORRENTE EM UMA NOVA SUBESTAÇÃO

Quando uma concessionária de energia ou o operador do sistema elétrico vai definir os valores de uma futura subestação de energia, em geral, parte da premissa de

atender a uma necessidade de energia ou tráfego de energia em uma certa região. A própria existência da subestação pode ser um fator de motivação para o futuro aumento da carga e desenvolvimento na região. Por isso, os estudos realizados procuram visualizar um horizonte de pelo menos uns 15 a 20 anos. Nos anos iniciais, os equipamentos trabalharão com pouca carga e com menores níveis de curto-circuito. O passar do tempo fará estes valores crescerem. Por exemplo, quando se adquire um disjuntor de $31,5 \text{ kA} - 145 \text{ kV}$ para uma nova subestação ele pode nos anos iniciais precisar abrir correntes de apenas 30% ou 60% de suas possibilidades. Este é um dos motivos pelos quais os ensaios de interrupção em disjuntores são feitos para 100%, 60%, 30% e 10% da plena capacidade de interrupção.

Os principais estudos feitos para a definição dos valores da subestação são: (a) Estudos de fluxo de carga, (b) Estudos de curto circuito e (c) Estudos de estabilidade.

Estudos de fluxo de potência ou de carga

Estudos fornecem informações e definem os parâmetros do funcionamento do sistema e da subestação em regime permanente desde as horas de carga leve até as horas de ponta. Um equipamento da subestação, ao longo de um dia, pode estar sendo utilizado com correntes permanentes que variam de 30% a 130% dos valores nominais.

Nestes estudos, serão definidos, em função de outras subestações vizinhas à nova, valores como: a) o carregamento de linhas, geradores e transformadores, b) as perdas de transmissão, c) os módulos e ângulos de fase das tensões nas barras, d) as potências ativas e reativas nas linhas de transmissão.

A partir das possíveis configurações com base na experiência anterior e em práticas do setor, calculam-se quais as maiores correntes permanentes que circularão nas barras, seccionadores, disjuntores e outros equipamentos. Isto é feito com base no tipo de arranjo, por exemplo, disjuntor e meio, varra dupla etc. (ver Figura 5).

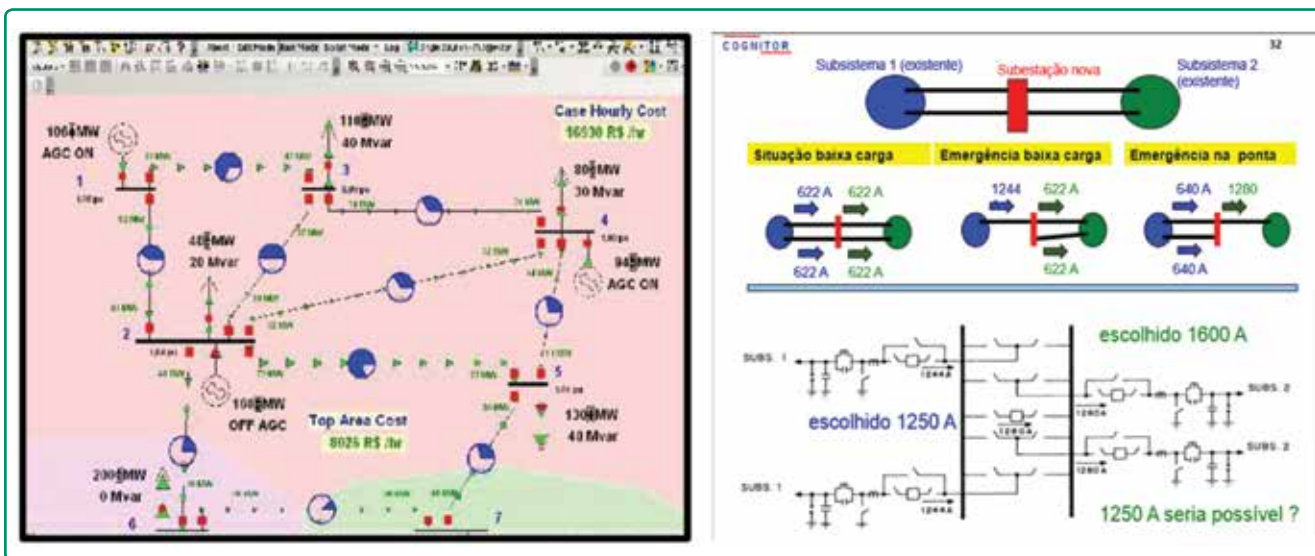


Figura 5 – Estudo de fluxo de carga.

Depois de calculados os valores máximos que podem ocorrer nos vários setores da subestação, são definidos os valores reais, selecionando-se um dos valores padrão imediatamente superior mostrados na norma técnica, por exemplo, 1.250 A e 1.600 A. Depois desta seleção, pode-se decidir por exemplo padronizar todos os equipamentos pelo valor máximo, evitando ter dois valores diferentes na mesma subestação. Isto é decidido caso a caso e de acordo com as práticas de que está implantando ou vai operar a subestação. Evitar exageros em especificações aumenta a eficiência da empresa sem perda de qualidade.

Estudos de curtos-circuitos

Nestes estudos, são obtidos os valores das correntes suportáveis de curta duração e de crista e também as durações máximas destas correntes. Para disjuntores e fusíveis são ainda obtidos os valores de X/R, parâmetros da tensão de restabelecimento transitória (TRT) e componentes CA e CC no momento da separação dos contatos dos disjuntores.

Com base nos estudos se pode, a título de exemplo, definir que será usado um seccionador com capacidade de 40 kA eficaz durante 1 segundo com valor da primeira crista igual a $2,6 \times 40 = 104 \text{ kAcr}$.

O procedimento é parecido com o dos estudos de fluxo de carga já descritos. Porém, são usados programas

de cálculo como o ATP / EMTP – ATPDRAW, entre outros. A partir das alternativas de configurações com base na experiência anterior e práticas no setor, calculam-se quais as maiores correntes permanentes que circularão nas barras, seccionadores, disjuntores e outros equipamentos. Isto é feito com base no tipo de arranjo, por exemplo disjuntor e meio, varra dupla etc.

Estudos de estabilidade eletromecânica, flutuação de tensão e impactos no sistema

Para que uma nova subestação seja conectada à rede elétrica, devem ser cumpridos requisitos estabelecidos pelo Operador Nacional do Sistema

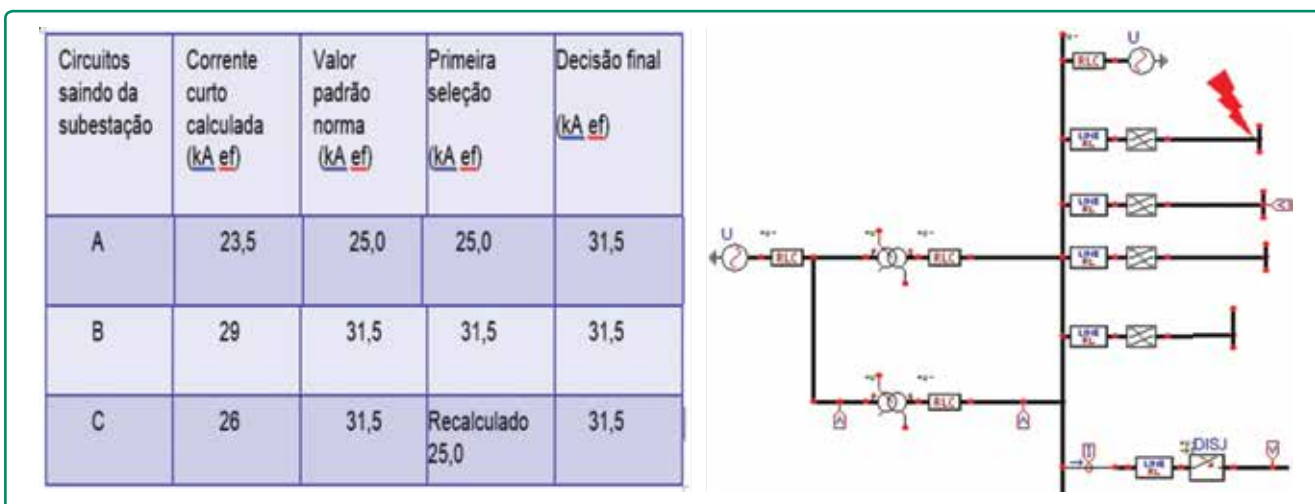


Figura 6 – Estudos de curto-circuito.

(Procedimentos de Rede). Há vários módulos que devem ser seguidos, por exemplo, o 3.6, que estabelece os requisitos técnicos mínimos para a conexão à rede básica.

Nestes estudos, devem ser listados os tipos de cargas a utilizar e os impactos que podem ser causados no sistema pelas operações feitas na subestação. Dependendo da situação, são requeridos estudos de proteção, flutuação de tensão, penetração harmônica, estabilidade eletromecânica, em que são verificados aspectos como as variações de tensão de curta duração que ocorrem nos curtos-circuitos.

A título de exemplo, se em um ponto do sistema ocorre uma manobra ou curto que produz uma queda de tensão de 5% nas subestações próximas, este evento provavelmente não terá impacto ou nem será percebido. Se ocorre uma queda de tensão de, digamos 12% durante 0,2s, típica de um pequeno curto-circuito na rede ou um ensaio de alta potência em laboratório, para um observador atento, esperando pelo evento, isto pode ser percebido como uma pequena piscada na luz não suficiente para atuar relés de subtensão nas subestações.

Se ocorrem, entretanto, subtensões com de mais de 20% e, particularmente, se houver religamentos (evento frequente na residência deste autor ao longo de muitos anos e reclamações à concessionária), isto pode causar queima de aparelhos, computadores ou mesmo desligar cargas importantes do sistema.

Estudos de campos elétricos e magnéticos

Depois de definida a subestação, são necessários estudos adicionais para o projeto detalhado. Estes incluem desde cálculos para definir as malhas de terra, potenciais de passo, tensões induzidas e medidas de segurança elétrica até os estudos de campos eletromagnéticos. Para os estudos de campos elétricos

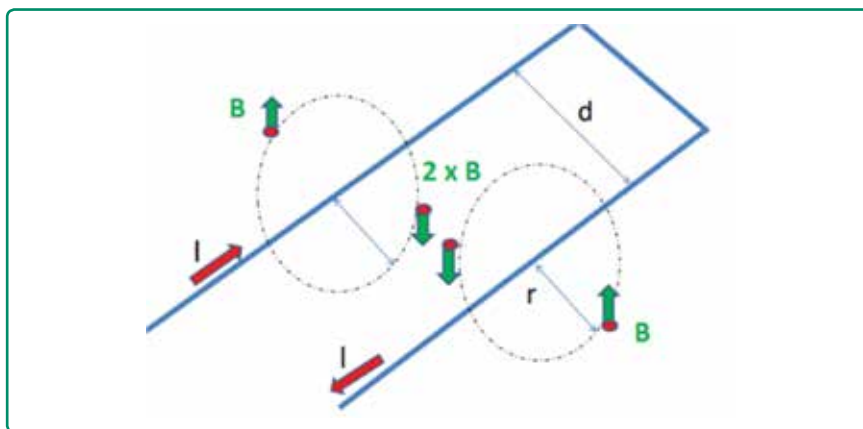


Figura 7 – Campo magnético próximo a dois condutores.

TABELA 2 – NÍVEIS DE REFERÊNCIA PARA CAMPOS ELÉTRICO E MAGNÉTICOS (60 Hz).

Instalação em 60Hz		
	Campo Elétrico (kV/m)	Campo Magnético (μT)
<i>Público em geral</i>	4,17	200,00
<i>População Ocupacional</i>	8,33	1000,00



Figura 8 – Imagens mostram a pequena distância entre os equipamentos e uma residência.

e magnéticos, cabe mencionar alguns aspectos dos campos magnéticos.

A circulação de correntes permanentes elevadas produz campos magnéticos que, se ficarem acima de certos níveis, podem ser prejudiciais a pessoas (saúde) e a instalações (aquecimentos indevidos). Os campos magnéticos são proporcionais à

intensidade de corrente elétrica. Diminuem ao aumentar a distância do condutor por onde a corrente está circulando. A indução magnética (B), produzida a uma distância (r) de um condutor em que passa uma corrente (I), pode ser calculada pela expressão $B = (\mu * I) / (2.\pi.r)$, em que B mede-se em Tesla, a corrente I em Amperes e

a distância r em metros. Suponha que tivéssemos dois fios, por exemplo, as duas fases do secundário de um transformador de distribuição 225 kVA 13,8/220V em que circulassem 600 A como na Figura 7. Usando a expressão mencionada, teríamos a 1 metro de distância um campo magnético da ordem de grandeza de 240 micro Tesla.

Os campos magnéticos produzidos nas imediações da subestação não podem ser superiores aos limites impostos pela legislação para a exposição de pessoas. Informações a este respeito são encontradas em documentos como a norma ABNT NBR 15415, a Lei Federal 11.934, de 5/5/2009, as Resoluções Aneel 398, de 23/03/2010, e 616, de 01/07/2014. Na Resolução Aneel 616/2014, estes valores são como na Tabela 2.

As regras para subestações de alta tensão são razoavelmente claras e com base nas normas internacionais.

Entretanto, as regras para redes de média tensão com instalações próximas a prédios, nos meios das grandes cidades, não são bem definidas. Vejam na Figura 8 duas fotos que mostram a distância entre os transformadores e as chaves fusíveis da janela do apartamento. Estas não estão localizadas em favelas, estão em áreas de alto valor de IPTU, perto da residência do autor deste artigo. É difícil imaginar o que aconteceria se uma criança esticasse um cabo de vassoura para tocar nos fios? Se isto não é admissível em um país do primeiro mundo por que é tão comum aqui?

REFERÊNCIAS

- *Equipamentos Elétricos – Especificação e Aplicação em Subestações de Corrente Alternada* – Furnas / UFF, 1985.
- *Transitórios Elétricos e Coordenação de Isolamento – Aplicação em Sistemas Elétricos de Alta tensão* – Furnas / UFF, 1987.

- *Disjuntores e Chaves – Aplicação em Sistemas de Potência – CE 13 do Cigré - Brasil em parceria com Furnas / UFF, 1996.*
- *Transients in Power Systems – Lou Van de Sluis - John Wiley & Sons Ltd. ISBN 0471486396.*
- *ABB Switchgear Manual - <http://www.4shared.com/office/ErozeZWB/20269998-5068033-ABB-Switch-Ge.html>.*
- *“Painéis, barramentos, seccionadores e equipamentos de subestações de transmissão e distribuição”, livro de Sérgio Feitoza Costa. Livre download em: http://www.cognitor.com.br/Book_SE_SW_2013_POR.pdf.*

Referências

*Sergio Feitoza Costa é engenheiro eletricista, com mestrado em sistemas de potência. É diretor da Cognitor, Consultoria, P&D e Treinamento.

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudeeditorial.com.br