

Capítulo VIII

Painéis de média tensão

Por Sergio Feitoza Costa*

Este fascículo vem apresentando conceitos de engenharia para projeto e especificação de equipamentos de subestações de transmissão e distribuição. O primeiro artigo desta série cobriu aspectos de estudos do sistema elétrico que servem de base para as especificações técnicas dos equipamentos. O segundo cobriu conceitos sobre curtos-circuitos, ampacidades, sobrecargas e contatos elétricos. O terceiro abordou o tema “técnicas de ensaios de alta potência, laboratórios de ensaios e principais ensaios”. No quarto capítulo, falou-se sobre os estudos elétricos de sobretensões, coordenação de isolamento e impactos de campos elétricos e magnéticos. No quinto capítulo, o tema abordado foi a recente brochura Cigré 602 sobre simulação de arcos, e no seguinte, discutimos as especificações técnicas de disjuntores, seccionadores, painéis e para-raios feitas por concessionárias de energia.

Na edição anterior, o tema tratado estava relacionado às distâncias de segurança de subestações e dos sistemas de proteção contra incêndios em subestações. A seguir, este oitavo artigo da série discorrerá sobre alguns conceitos novos que serão utilizados no Relatório Técnico IEC 62271-307 (painéis de media tensão),

que tem publicação prevista para 2016. Para os painéis de media tensão, este documento deve ter um impacto da mesma natureza, porém, mais amplo que a IEC 61439 para painéis de baixa tensão.

INTRODUÇÃO

O documento IEC 62271-307 começou a ser preparado em 2011 e está previsto para ser publicado em 2016. Seu título é High-voltage Switchgear and Controlgear – Part 307: Guidance for the extension of validity of type tests of AC metal and solid-insulation enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV. Como membro do grupo de trabalho e participante das reuniões internacionais para a preparação desse documento normativo, trouxe o tema para debate neste fascículo.

Este relatório IEC tem foco nos painéis de média tensão das normas IEC 62271-200 e 62271-201 e, da mesma forma que a IEC 61439 e a antiga IEC 60439 (painéis de baixa tensão), trará uma série de boas oportunidades para evitar a desnecessária repetição de ensaios onerosos.

Estas oportunidades só poderão ser aproveitadas pelos fabricantes que têm em mãos relatórios de ensaios que descrevam

com transparência os detalhes do equipamento que foi efetivamente testado. As informações que devem constar em um completo relatório de ensaios para este tipo de finalidade estão no documento http://www.cognitor.com.br/TR_071_ENG_ValidationSwitchgear.pdf. Neste relatório técnico IEC, as informações do que deve constar nos relatórios de ensaios são ressaltadas e ficarão muito mais claras.

As oportunidades na antiga IEC 60439 (painéis de baixa tensão) eram a possibilidade de substituir os ensaios de elevação de temperatura e de curto-circuito (apenas a parte sobre forças eletrodinâmicas) por cálculos baseados na comparação do projeto testado com o projeto derivado não testado. Na norma IEC 61439, que foi uma evolução muito positiva da IEC 60439 foi dado um passo à frente com a criação das chamadas “Regras de projeto”, que permitem evitar fazer muitos ensaios e até mesmo a evitar os cálculos que eram pedidos na IEC 60439. Na Tabela 1 a seguir, estão mostrados os fundamentos das regras de projeto. Há muito mais detalhes sobre este tema no livro “Painéis, Barramentos e Seccionadores e Equipamentos de Subestações” (download livre em: http://www.cognitor.com.br/Book_SE_SW_2013_POR.pdf).

TABELA 1 – AS REGRAS DE PROJETO DA IEC 61430

ITEM	REGRAS DE PROJETO (T=TEMPERATURAS F=FORÇAS ELETRODINÂMICAS P=SOBREPRESSÃO)	T	F	P
1	Corrente suportável de curta duração, menor ou igual a do projeto de referência testado ?		x	x
2	Seção transversal do barramento... maiores ou iguais aos do projeto de referência?	x		
3	Espaçamento dos barramentos... , maiores ou iguais aos do projeto de referência?	x	x	
4	Suportes de barramentos são do mesmo tipo, forma e material e espaçamentos do barramento são iguais ou menores que o do projeto de referência?		x	
5	Materiais, propriedades dos materiais e montagem iguais aos do projeto de referência?	x	x	x
6	Dispositivos de proteção de curto circuito... são equivalentes, aos da mesma marca e série ?			
7	Comprimento do condutor vivo desprotegido..... inferior ou igual aos do projeto de referência?			
8	Se o conjunto tem compartimento, no ensaio do projeto de referência este foi incluído?	x	x	x
9	Compartimento a ser verificado do mesmo modelo, tipo e pelo menos mesmas dimensões?	x		x
10	Compartimentos de mesma concepção mecânica e dimensões \geq do projeto de referência?	x		x

"SIM"; a todos os requisitos - sem necessidade de ensaiar
"NÃO"; a qualquer dos requisitos - verificação adicional por cálculos e simulações é necessária

Cognitor

OPORTUNIDADES NA FUTURA IEC 62271-307 PARA EVITAR ENSAIOS (PAINÉIS DE MÉDIA TENSÃO)

Nos parágrafos a seguir, serão apresentados os principais conceitos e novidades deste Relatório Técnico IEC. Este documento IEC terá um impacto no mercado de painéis de média tensão da mesma natureza do que tem a norma IEC

61439 (e a antiga IEC 60439 TTA/PTTA) para os de baixa tensão. Permitirá que, atendidas determinadas regras, um relatório de ensaios realizados em um certo tipo de painel seja utilizado como base para um estudo que permitiria substituir ensaios em um painel testado, da mesma família.

O documento inicia mencionando que visa a extensão da validade de relatórios de ensaios para evitar a desnecessária repetição

de testes das normas IEC 62271-200 e 62271-201. Pode ser usado para estender testes de tipo realizados em uma amostra com um conjunto definido de classificações para outro conjunto de manobra da mesma família com um conjunto diferente de valores nominais ou arranjos diferentes. Baseia-se no uso de sólidos princípios técnicos, físicos, de experiência no setor e cálculos para estabelecer regras para vários aspectos de projeto.

Este novo documento IEC contemplará as seguintes seções:

- A utilização, os parâmetros e a aplicação dos critérios de extensão e o uso de cálculos;
- As informações necessárias para a extensão da validade do teste, o que deve constar nos relatórios de ensaios;
- Aspectos específicos para extensão da validade para testes dielétricos, ensaios de elevação de temperatura, ensaios mecânicos, testes de correntes suportáveis de curta duração e de crista, ensaios de interrupção e

de arco interno;

-- A extensão da validade de um relatório de ensaio para outras unidades funcionais (situação a);

-- Validação de uma família pela seleção de objetos de teste (situação b);

-- Validação de um conjunto de relatórios de ensaios existentes (situação c);

-- Validação de uma modificação do projeto (situação d);

-- Justificativa para os critérios de extensão;

-- Exemplos para a extensão da validade dos ensaios de tipo, tais como:

- Modificação do projeto de um terminal de cabo em um conjunto de manobra isolado a ar (AIS);
- Modificação do projeto de uma unidade funcional por adição de transformadores de corrente;
- Modificação do projeto de uma chave-fechadura na porta de uma unidade funcional AIS;
- Extensão dos relatórios de uma “ring main unit GIS” para unidades funcionais com largura maior;
- Extensão de uma família de conjuntos isolados a gás (GIS) para uma unidade funcional.

A seção “Uso dos Critérios de Extensão” menciona que, devido à grande variedade de tipos de unidades funcionais e possíveis combinações de componentes, não é prático

realizar ensaios de tipo com todos os possíveis conjuntos de manobra. Portanto, o desempenho de um conjunto particular pode ser avaliado em função dos relatórios de testes de tipo feitos em outras montagens da mesma família de conjuntos. No texto do documento são mostrados para cada tipo de teste (ou característica) uma lista não exaustiva de parâmetros de projeto, que devem ser analisados para a extensão da validade. A análise deve se basear em sólidos princípios técnicos, físicos e cálculos, se for o caso.

Cada parâmetro de concepção do conjunto a ser avaliado, listados nas Tabelas 2 a 6, deve ser comparado com o parâmetro de projeto do tipo já testado, aplicando-se os critérios de admissão previstos nas mesmas.

A afirmação de cada critério de extensão permite que um teste realizado em uma montagem com características específicas seja estendido para outra montagem de uma mesma família com diferentes características. Se qualquer um dos critérios de extensão não puder ser confirmado, é necessário utilizar outros argumentos como cálculos, explicações e simulações ou mesmo ensaios adicionais. Os cálculos e simulações são aplicados em um sentido comparativo.

Cálculos e simulações só podem ser aplicados em sentido comparativo e a comparação é sempre com base nos parâmetros de projeto e os critérios de aceitação das Tabelas 2 a 7. Em muitos casos, o desempenho de determinado conjunto,

no que diz respeito a um tipo de teste, não pode ser avaliado por um único valor e um parâmetro de projeto. Por exemplo, a distância entre os condutores de cada fase pode variar consideravelmente ao longo do caminho da corrente. Dependendo do equipamento e do teste, o uso de um modelo de cálculo simples como uma fórmula analítica ou empírica pode ser suficiente, mas, por vezes, para um modelo completo de simulação tridimensional pode ser necessário utilizar uma ferramenta numérica complexa. A ferramenta de simulação deve ser consistente e a simulação reproduzível. A validação de ferramentas de software e métodos de cálculo está fora do escopo do documento IEC.

USO DE CÁLCULOS PARA ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

O documento IEC TR 60890 fornece procedimentos de cálculo para os conjuntos de baixa tensão, que também poderiam ser aplicados aos conjuntos de manobra de alta tensão, tendo em conta as limitações específicas deste método de cálculo. O cálculo é feito em dependência da potência total gerada no interior, da área das paredes dos compartimentos e das suas condições de montagem, o número de divisórias horizontais e a área das aberturas de ventilação. A temperatura do ar no interior do compartimento testado é o parâmetro para comparar. Para geometrias complexas,

TABELA 2 – CRITÉRIOS DE EXTENSÃO PARA O DESEMPENHO QUANTO À ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

ITEM	PARÂMETRO DE PROJETO	CRITÉRIO	CONDIÇÃO
1	Distancia fase-fase	≥	Só válido para correntes acima de 1.250 A
2	Distancia fase-terra	≥	Apenas validar se a influência sobre os elementos que cercam devido a correntes não pode ser excluída (eddy)
3	Dimensões e volume do compartimento	≥	O invólucro e os compartimentos são da mesma construção
4	Pressão mínima do gás	≥	Mesmo gás; para isolamento a gás
5	Densidade de corrente nos condutores	≤	Os condutores têm a mesma estrutura física
6	Resistência / condutores	≤	Compare material do condutor e seção transversal
7	Área de contato conexões	≥	Igual ou melhor material de contato
8	Força de contato conexões	≥	Igual ou melhor material de contato
9	Temperatura permitível de conexões	≤	Incluindo revestimentos metálicos com ≤ resistividade
10	Área de ventilação	≥	
11	Dissipação de potência componentes	≤	Aqui os principais dispositivos de comutação, fusíveis e transformadores de corrente são considerados
12	Área de barreiras isolantes	≤	Barreiras têm a mesma estrutura física
13	Espessura da cobertura isolante condutor	≤	Resistividade térmica e coeficiente de emissão do revestimento devem ser o mesmo
14	Área transferência térmica invólucro	≥	O coeficiente de emissão do revestimento devem ser o mesmo
15	Classe de temperatura	≥	

a comparação pode ser realizada por métodos CFD ou por métodos de mais fácil utilização, como os do SwitchgearDesign307, detalhados em: http://www.cognitor.com.br/TR_071_ENG_ValidationSwitchgear.pdf.

USO DE CÁLCULOS PARA CAMPOS ELÉTRICOS

O desempenho dielétrico de dois conjuntos de manobra pode ser avaliado por simulação do campo elétrico de ambos e comparando as intensidades de campo. Podem ser utilizadas ferramentas de software de elementos finitos ou volumes finitos que permitem simular geometrias tridimensionais mesmo complexas.

USO DE CÁLCULOS DE ESFORÇOS MECÂNICOS

Existe softwares de simulação para mecanismos de operação de equipamentos de manobra que podem dar informações sobre o estresse mecânico sobre partes do mecanismo. No entanto, não é possível avaliar a resistência mecânica por

estes programas. Portanto, no estado atual do software de simulação disponíveis, não é recomendado o uso de simulações para a extensão da validade dos ensaios de tipo mecânicos.

USO DE CÁLCULOS DE ESFORÇOS TÉRMICOS E ELETRODINÂMICOS DURANTE CURTO-CIRCUITO

Os cálculos incluem a determinação de forças eletromagnéticas mútuas entre condutores e estresse mecânico resultante que é capaz de empenar barras e causar danos em isoladores. O estresse mecânico sobre barramentos e forças sobre os suportes podem ser avaliados pelos programas de cálculo como o SwitchgearDesign307. Os métodos de cálculo utilizados são baseados nos seguintes documentos IEC:

- IEC 61117, Method for assessing the short-circuit withstand strength of partially type-tested assemblies (PTTA);
- IEC 60865-1, Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 1: Definitions

and calculation methods;
-- IEC TR 60865-2, Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 2: Examples of calculation.

USO DE CÁLCULOS DA SOBREPRESSÃO CAUSADA PELO ARCO INTERNO

A comparação do desempenho de dois conjuntos em suportar o aumento da pressão para os compartimentos sob investigação é um análise a ser feita. Os cálculos são capazes de mostrar o aumento de pressão nos compartimentos, tendo em consideração a abertura dos dispositivos de alívio de pressão. Uma avaliação da força nas paredes do painel pode ser feito para geometrias simples, utilizando uma fórmula de cálculo, caso contrário, usa-se a análise de elementos finitos para estresse mecânico.

O fluxo de gases quentes expelido, a partir do compartimento, pode ser simulado por programas de CFD, no entanto, no momento da publicação do presente Relatório Técnico, não é possível simular a ignição de indicadores, que é um critério importante para a aceitação no ensaio de arco interno. Por conseguinte, tais programas têm aplicações limitadas para a extensão da validade dos ensaios.

INFORMAÇÃO NECESSÁRIA PARA A EXTENSÃO DA VALIDADE DE ENSAIOS DE TIPO

Devem ser colhidas informações do conjunto de manobra semelhantes às que são

TABELA 3 – CRITÉRIOS DE EXTENSÃO PARA O DESEMPENHO QUANTO À SUPORTABILIDADE DIELÉTRICA

ITEM	PARÂMETRO DE PROJETO	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO	CONDIÇÃO
1	Distância de isolamento entre fases	≥	
2	Distância isolamento a terra (clearance)	≥	
3	Distância de escoamento	≥	
4	Propriedades dielétricas do isolante	≥	Análise comparativa de 2 materiais pode ser necessária (CTI)
5	Rugosidade superficial de partes vivas	≤	
6	Raio de partes condutoras	≥	Não só o raio de partes vivas, mas também de todas as partes condutoras
7	Distância de contatos abertos	≥	Se influenciado pela montagem
8	Distância de isolamento	≥	Se influenciado pela montagem
9	Mínima pressão para isolamento	≥	Mesmo fluido se isolado a gás

TABELA 4 – CRITÉRIOS DE EXTENSÃO PARA O DESEMPENHO QUANTO À SUPORTABILIDADE MECÂNICA

ITEM	PARÂMETRO	DE PROJETO	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO	CONDIÇÃO
1	Sistemas de obturadores	A força da ligação mecânica quando bloqueado, incluindo obturador	≥	Princípio de projeto igual, mas dimensões podem ser diferentes
		Massa do obturador	≤	
2	Contatos da parte removível	Número de pontos de contato	≤	Os projetos dos contatos, incluindo a base e material de revestimento, e suportes de móveis e contatos fixos são os mesmos.
		Força de contato por contato	≤	
		Aspereza da superfície contato	≤	
3	Sistema de intertravamento operado diretamente	Força da ligação mecânica quando bloqueado	≥	Princípio de projeto do sistema de intertravamento igual, mas dimensões podem ser diferentes.
		Torque aplicado na operação	≤	
4	Sistema de intertravamento impedindo o acesso aos dispositivos operacionais	Força da ligação mecânica quando bloqueado	≥	Princípio de projeto do sistema de intertravamento igual, mas dimensões podem ser diferentes.
		Força normal de operação	≤	

necessárias nos ensaios de tipo de acordo com a IEC 62271-1. Além disso, as informações dos parâmetros relevantes são aquelas mostradas nas Tabelas 2 a 7 para cada ensaio específico e unidade funcional sob avaliação. Os relatórios de ensaio de tipo aplicáveis

do conjunto de manobra testado devem ser fornecidos na medida em que digam respeito à comparação dos dois conjuntos.

TABELA 5 – CRITÉRIOS DE EXTENSÃO PARA O DESEMPENHO QUANTO A ESFORÇOS TÉRMICOS E ELETRODINÂMICOS DE CURTO-CIRCUITO

ITEM	PARÂMETRO DE PROJETO	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO	CONDIÇÃO
1	Distância fase-fase	≥	
2	Forças eletrodinâmicas	≤	Condutores têm o mesmo arranjo
3	Suportabilidade mecânica dos suportes isolantes	≥	
4	Comprimento não suportado de condutores	≤	
5	Seção reta dos condutores	≥	Conexões dos condutores escaladas têm a mesma ou uma maior força de aperto e a área de contato.
6	Material dos condutores	O mesmo	
	Classe de temperatura dos isolantes	≥	
7	Suportabilidade mecânica do invólucro, partições e buchas	≥	
8	partições e buchas	O mesmo	Considere o projeto completo
9	Contatos da parte removível		

Por este motivo recomenda-se que o fabricante forneça ao laboratório de ensaios e solicite que sejam incluídos nos relatórios de ensaios (mesmo que a norma do produto não o solicite) as informações relevantes sobre os parâmetros de projeto que estão listados nas Tabelas 2 a 7. Desenhos relevantes e detalhados fazem parte destas informações.

Devem ser estabelecidos documentos de rastreabilidade das análises efetuadas. Tais documentos devem ser parte do relatório para estender a validade dos ensaios de tipo realizados.

TABELA 6 – CRITÉRIOS DE EXTENSÃO PARA ENSAIOS DE ARCO INTERNO

ITEM	PARÂMETRO DE PROJETO	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO	CONDIÇÃO
1	Distância de isolamento entre fases	≤	
2	Distância isolamento a terra (clearance)	O mesmo	Referente região de início do arco
3	Volume líquido compartimento	≥	
4	Pressão nominal do gás isolante se aplicável	≤	
5	Seção reta dos condutores	≥	Referente região de início do arco
6	Matéria-prima de condutores (Al ou Cu ou suas ligas)	O mesmo	Referente região de início do arco
7	Local do ponto de iniciação do arco	O mesmo	Aplicando regras da IEC 62271 200 ou IEC 62271-201
8	Material isolante exposto ao arco	O mesmo	
9	Área de exaustão	≥	A posição da saída de gases de escape no compartimento e o trajeto de escoamento de gás são os mesmos. Áreas das seções transversais maiores só são aceitáveis se um duto de exaustão é usado.
10	Pressão de abertura da exaustão	≤	Aplicável aos compartimentos estanques
11	Suportabilidade mecânica dos elementos a deixar abrir o dispositivo de alívio (flaps)	≤	Aplicável aos compartimentos não estanques. O dispositivo de alívio e os seus elementos de fixação têm o mesmo design.
12	Suportabilidade mecânica do invólucro e compartimentos	≥	Inclui suportabilidade de partições e buchas
13	Espessura das paredes do invólucro	≥	Mesmo material
14	Suportabilidade mecânica de portas e coberturas	≥	
15	Grau de proteção (IP) do invólucro	≥	Relevante para o critério de ignição dos indicadores

ENSAIOS DE INTERRUPÇÃO E ESTABELECIMENTO

TABELA 7 – CRITÉRIOS DE EXTENSÃO PARA INTERRUPÇÃO E ESTABELECIMENTO DE CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO

ITEM	PARÂMETRO DE PROJETO	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO	CONDIÇÃO
1	Distância de isolamento entre fases	≥	
2	Distância isolamento a terra (clearance)	≥	
3	Volume do invólucro ou compartimento	≥	Só para ser validado se o fluido (gás ou líquido) é envolvido no processo de interrupção ou estabelecimento.
4	Pressão do gás isolante	≥	
5	Seção reta dos condutores	≥	
6	Forças eletrodinâmicas dos condutores	≤	Só para ser validado se tem impacto no processo de interrupção ou estabelecimento.
7	Suportabilidade mecânica dos suportes isolantes	≥	
8	Suportabilidade mecânica do invólucro, partições e buchas	≥	
9	Comprimento não suportado de condutores	≤	

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

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

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