



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GMI 28
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO XII

GRUPO DE ASPECTOS TÉCNICOS DE GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO – GMI

INDICADORES DE DESEMPENHO DE DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO

Adolfo Ribeiro Junior

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é mostrar os benefícios de se utilizar referências adequadas para a análise do desempenho de disjuntores.

Assim como os transformadores e outros equipamentos, o disjuntor tem função importante e características próprias, portanto deve ter o seu desempenho monitorado de forma específica.

Não é o propósito aqui mostrar resultados de pesquisas e sim detalhar a estrutura de análise para desempenho de disjuntores da Cigré.

Os conceitos são apresentados com comentários e exemplos com base em experiências práticas e consistentes do autor na análise de falhas.

A conclusão mostra a importância de se padronizar os critérios da Cigré para disjuntores.

PALAVRAS-CHAVE

Indicadores de desempenho, desempenho de disjuntores de alta tensão, índice de equipamentos de alta tensão.

1.0 - INTRODUÇÃO

O registro, armazenagem, validação e análise de dados são custosos e consomem tempo. Os dados necessários para os indicadores de desempenho devem ser bem definidos.

O maior desafio é desenvolver uma metodologia, suficientemente objetiva, para que não haja equívoco no processo de registro dos dados: “inputs” e ao mesmo tempo consistentes, com uma quantidade de informações suficientes, para possibilitar análises e estatísticas: “outputs”.

Algumas considerações não podem deixar de serem colocadas:

- Como os dados são registrados?
- A informação existe em um formato apropriado?
- Qual o custo?
- Qual o volume e quantidade de dados?
- Os dados são confiáveis?

Para se obter uso satisfatório dos indicadores de desempenho é necessário o entendimento dos meios que estes podem apontar para melhoria contínua.

Se não houver ações gerenciais em função dos indicadores de desempenho então a sua efetividade deve ser questionada. Os índices devem provocar análises casuais, monitorar tendências e proporcionar indicativos para melhorias. A Figura 01 mostra um diagrama orientativo do processo que envolve as análises de índices.



FIGURA 01 – Gerenciamento de desempenho.

Indicadores de desempenho de manutenção bem elaborados e apropriadamente aplicados podem proporcionar:

- uma visão macro do processo implementando o gerenciamento;
- melhorias contínuas do processo;
- a comparação com outras empresas ou entre regiões de uma mesma empresa;

Um índice de desempenho coerente, ao longo do tempo, é uma ferramenta efetiva para avaliar o resultado obtido numa mudança da política de manutenção. Caso uma empresa de transmissão de energia passe a adotar uma política de manutenção centrada na confiabilidade e, com o tempo, os índices melhoram, ou mesmo que, permaneçam sem alterações significativas pode-se concluir que a otimização da manutenção dos equipamentos está tendo resultados satisfatórios.

2.0 - HISTÓRICO

O disjuntor é um equipamento com função bem específica no sistema elétrico, que são: manobra e proteção. O disjuntor, para desempenhar as suas funções, possui características próprias que o fazem ter precisão para proteger, em poucos ciclos, outros equipamentos: geradores, transformadores, etc. E possui robustez para interromper altas correntes de curto circuito, na ordem de 63.000 Ampères.

Dentre os fatores, que fazem o disjuntor de alta tensão possuir suas particularidades, pode-se destacar: os aspectos construtivos para operar com ar ou SF6 em alta pressão, sua montagem com componentes modulares e suas principais partes que são o mecanismo de operação, o painel de comando e as partes ativas.

As características dos disjuntores são bem distintas de outros equipamentos como: transformadores, transformadores de corrente, seccionadores, etc. Portanto para uma análise adequada do desempenho do disjuntor, se faz necessário uma metodologia baseada nas suas funções e nas suas características construtivas.

3.0 - REFERÊNCIA INTERNACIONAL

A Cigré concluiu dois trabalhos apresentando resultados das pesquisas internacionais sobre falhas em disjuntores com tensão nominal igual ou superior a 72,5 kV. É importante destacar que só são consideradas as falhas inerentes ao disjuntor. Por exemplo, qualquer falha na proteção que atue, indevidamente, não pode ser atribuída ao disjuntor. Figura 02 abaixo mostra um disjuntor a SF6 com acionamento a mola.



FIGURA 02 – Disjuntor de 72,5kV a SF6 com acionamento a mola.

A primeira pesquisa da Cigré [2] cobriu um período de quatro anos, entre 1974 e 1977, totalizando 77.892 disjuntores-ano.

O resultado desta primeira pesquisa proporcionou melhorias no desenvolvimento de novos produtos implementando a confiabilidade requerida. Influenciou na revisão da norma IEC [4], com a criação de novos testes de umidade e testes de operações mecânicas mais severas. E, também, orientou a metodologia para as pesquisas internacionais seguintes.

A segunda pesquisa [3] foi publicada em 1994. Esta pesquisa abordou exclusivamente os disjuntores a SF6 colocados em serviço depois de 1978, totalizando 70.708 disjuntores-ano em 132 empresas de 22 países, inclusive o Brasil.

Os resultados obtidos nesta pesquisa são mais completos e possui conteúdos mais atualizados do que primeira pesquisa. A leitura desta publicação ajuda, substancialmente, o entendimento dos critérios e estruturas adotadas. No item 4.0 será abordada a maioria dos conceitos praticados nesta publicação com as atualizações contidas na terceira pesquisa.

Está em andamento a terceira pesquisa coordenada pelo WG A3.06 da Cigré – “Reliability Study of High Voltage Equipment”. No curso tutorial realizado pelo CE A3 [4], em julho de 2006, no Cepel, Rio de Janeiro, foram mostrados os resultados iniciais obtidos dos formulários recebidos pela coordenação. Onde se pode observar a metodologia atual utilizada que é o resultado de aprimoramentos desenvolvidos com as experiências da primeira e da segunda pesquisa de desempenho de disjuntores com tensão nominal igual ou superior a 72,5 kV.

4.0 - METODOLOGIA DA CIGRÉ

Nesta seqüência é apresentada, com comentários, a estrutura do formulário que está sendo utilizado na terceira pesquisa. Sempre que oportuno, para ilustrar, também são mostrados exemplos práticos, provenientes de muitos anos de experiência em análises e estatísticas de bancos de dados de ocorrências em disjuntores de alta tensão [1].

4.1 Identificação do disjuntor:

Tensão nominal, tipo, fabricante, tipo de serviço, mecanismo de operação, localização (instalação abrigada ou não).

A primeira etapa de um trabalho de análise de desempenho de disjuntores é identificar a população de disjuntores em escopo. O entendimento do perfil da população (tempo em operação, aplicação, níveis de tensão, meio de extinção, tipos de acionamento etc) é indispensável para a interpretação dos resultados obtidos. É de se esperar, por exemplo, que um determinado grupo de disjuntores a SF6 com acionamento a mola e menor tensão, Figura 02, tenha um desempenho melhor do que um outro grupo com acionamento hidráulico e tensão nominal maior. A idade média dos disjuntores em operação deve ser considerada na análise. Na segunda pesquisa da Cigré a idade média dos disjuntores a SF6 era menor do que a idade média que está sendo coberta na terceira pesquisa.

4.2 Histórico do disjuntor:

Ano de fabricação, data da falha, data da última manutenção ou revisão geral (se houver), filosofia de manutenção (baseado no tempo ou na confiabilidade) e número total de operações.

4.3 Classificação da falha:

4.3.1 Classificação:

- Falhas maiores – causam indisponibilidade em até 30 minutos após a ocorrência;
- Falhas menores – podem ser programadas;

A opção de defeito foi retirada na última pesquisa.

A nossa experiência é que esta decisão faz sentido. Primeiro, porque observamos muitos equívocos no entendimento de três modos de falhas, afetando a qualidade dos registros. Segundo, porque as falhas caracterizadas como defeitos não contribuem, significativamente, para as análises estatísticas de desempenho. Assim, registros como: oxidação no painel, lâmpada queimada ou anormalidade na fechadura são defeitos que não têm maiores implicações no desempenho do equipamento.

Retirando-se o conceito de defeito fica mais fácil classificar entre falha maior e falha menor. Certamente alguns casos ainda podem gerar dúvidas, mas na maioria das ocorrências a classificação é objetiva.

Alguns exemplos, inconfundíveis, de falhas maiores: quando parte do disjuntor explode, discrepância de fases, ou disjuntor não fecha.

A maioria dos vazamentos de óleo, ar ou SF₆, deve ser registrado como falha menor.

4.3.2 Conseqüências da falha maior:

Identifica se houve explosão.

Normalmente falhas menores não levam à explosão.

Por curiosidade, citamos um caso de explosão de um capacitor equalizador de alta tensão que não caracterizou uma falha maior. O disjuntor ficou em operação até que esta falha fosse detectada em uma inspeção visual de rotina.

4.3.3 Modo da falha:

A Cigré define os possíveis modos de falhas específicos para a função do disjuntor no sistema elétrico. Não devem ser utilizados modos de falhas que se aplicam a outros equipamentos: transformador, transformadores de corrente, seccionador, etc. Porque cada equipamento tem sua função específica.

Podem-se fazer alguns ajustes dos modos de falhas atribuídos aos disjuntores, mas não se deve sair muito dos conceitos abaixo:

Falha maior:

- Abriu ou fechou sem comando;
- Não abriu ou não fechou ao comando;
- Bloqueado na posição aberto ou fechado;
- Não interrompeu ou não estabeleceu corrente;
- Descarga disruptiva para terra entre fases ou entre contatos abertos (interna ou externa).

Falha menor:

- Vazamento de óleo hidráulico/ar no mecanismo de comando;
- Vazamento de ar/óleo isolante/gás SF₆ na parte ativa;
- Outros – os dados complementares devem ser informados.

A identificação adequada do modo de falha contribuem para a análise do desempenho do disjuntor no sistema interligado.

Por exemplo, o modo de falha: “Não abriu ao comando” pode ter conseqüências indesejáveis numa subestação porque se um disjuntor recebe “trip” pela proteção e não abre, então a proteção de “Break Failure” vai atuar em vários disjuntores com possíveis perdas de cargas. Caso haja uma maior incidência deste modo de falha, em um determinado grupo de disjuntor, reforça as justificativas para ações que visem a melhoria dos componentes causadores destas ocorrências.

Os modos de falhas: “Abriu ou fechou sem comando”, “Não abriu ou não fechou ao comando” ou “Bloqueado na posição aberto/fechado” referem-se a ocorrências no mecanismo de comando do disjuntor.

O modo de falha: “Não interrompeu ou não estabeleceu corrente” trata de falhas na parte ativa.

Na segunda e na terceira pesquisa a Cigré relaciona vários modos de falhas relativos a descargas disruptivas. Os históricos de falhas mostram que o percentual de incidência deste tipo de falha é pequeno, portanto estes modos

de falhas podem ser agrupados sem detalhar se foi por fase ou entre fase etc.

Os modos de falhas relativos a vazamentos podem ser registrados no banco de dados localizando-os: na parte ativa ou no mecanismo de comando, para que se tenha uma estatística mais apurada. A prática mostra que o tempo médio de reparo na parte ativa, normalmente, é maior do que no mecanismo. Um banco de dados bem estruturado pode confirmar isto e justificar ações técnicas e gerenciais para reduzir a indisponibilidade.

Em disjuntores a SF6 acontecem vazamentos de gás lentos sendo difícil a localização. Portanto, até que se encontre o ponto de vazamento podem ser necessários desligamentos para completar o gás várias vezes, assim que o primeiro estágio de alarme é atingido, para evitar chegar no segundo estágio. Caso o disjuntor seja desligado, manualmente, para se completar o gás SF6 esta ocorrência deve ser registrada como falha menor. E não como falha maior.

4.4 Condições de serviço:

Expressa a condição do disjuntor no momento da falha, podendo ser: em serviço normal, durante uma manutenção, no instante de interrupção de uma falta ou outro caso.

É possível que se caracterize uma falha maior mesmo que o disjuntor não esteja em serviço.

4.5 Condições externas que possam ter contribuído para a falha:

Esta informação visa identificar se algum fator externo como: temperatura muito alta, vento forte, chuva, raio, etc, teve influência na falha.

O que temos visto é que, na maioria dos casos, a falha não está associada a fatores ambientais. Esta informação é dispensável no Brasil onde as condições climáticas são relativamente estáveis.

4.6 Identificação do componente responsável pela falha:

Esta identificação aponta o componente que é responsável pela falha maior ou menor. Na maioria das ocorrências não é difícil localizar o componente que causou a falha. Em alguns casos quando o disjuntor explode esta identificação pode não ser possível. Estes casos são exceção.

A identificação do componente causador das falhas possibilita estatística que pode ser utilizada para: logística de sobressalente, revisões de instruções de manutenção e avaliações de melhorias que podem ser implementadas em peças com maiores incidências de falhas.

Por exemplo, se uma chave de contatos auxiliares, de um determinado tipo de disjuntor, apresenta maior incidência de falha então pode ser avaliado o custo benefício das implementações aplicáveis. Após a modificação dos componentes é importante que se tenha um acompanhamento dos resultados obtidos através dos índices relativos ao componente em questão: "feedback".

Abaixo, seguem as listas dos componentes separados pelas partes principais do disjuntor.

Estas listas podem ser mais completas conforme o perfil da população de disjuntores em escopo. Atualmente se faz necessário à inclusão de dispositivos sincronizadores e sistemas de monitoramento.

4.6.1 Componentes sob a tensão de serviço:

- Câmaras principais;
- Câmaras auxiliares / Resistores de inserção;
- Resistores divisores de tensão;
- Capacitor equalizador;
- Conexão / Terminais anti corona;
- Válvulas de acionamento / Sopro / Exaustão;
- Coluna isoladora.

4.6.2 Controle elétrico e circuitos auxiliares:

- Bobinas de abertura / Fechamento;
- Chaves contatos auxiliares e mecanismo de acionamento associado;
- Relés auxiliares, contactores, chaves, disjuntores, resistores de aquecimento, fusíveis, termostatos, cabos de controle e réguas terminais.

4.6.3 Mecanismo de operação:

- Compressores a ar / Motor / Bomba / Tubulações / Conexões;
- Mola, acumuladores hidráulicos;
- Blocos de comando/Relés Hidráulicos / Eletroválvulas (Não elétrico);
- Válvulas de segurança / 20R / Dreno / Enchimento / Retenção / Redutora;
- Hastes de acionamento, coluna rotativa, alavanca, batente, Fim de curso, caixa de engrenagem;
- Pressostatos, manômetros, manostatos (monitoramento de pressão e densidade).

4.6.4 Outros:

- Contadores de operação, indicadores posição e indicadores de nível de óleo.
- Sincronizadores;
- Sistema de monitoramento;
- Dispositivo de secagem / Absorção;
- Invólucros e envelopes;

4.7 Origem da falha:

Verifica se a origem da falha é mecânica, elétrica ou vedação (de gás SF6, óleo ou ar).

Normalmente as falhas mecânicas apresentam percentuais maiores porque os disjuntores são equipamento eletro-mecânicos. Mas após uma ação preventiva ou corretiva em um grupo/família de disjuntores, onde se prioriza os componentes mecânicos, é possível que o percentual maior passe para falhas de origem elétrica. Daí cabe a Engenharia de Manutenção avaliar a ação seguinte.

4.8 Causa da falha:

Como mostra a listagem abaixo as causas devem ser apropriadas, tendo em vista os históricos de falhas registrados para disjuntores. Não se deve utilizar alternativas gerais aplicadas para qualquer equipamento e impossíveis de acontecerem com o disjuntor.

Observa-se que há um grupo de causas devido à fabricação, que certamente, é mais apropriado para disjuntores mais novos. Estas devem acontecer nos primeiros anos de operação.

Um outro grupo de causas que deve incidir mais em disjuntores com maior tempo em serviço (envelhecimento, desgaste, etc). Em função do perfil dos disjuntores da empresa um grupo de falhas pode se destacar mais do que o outro. Se, por exemplo, a idade média dos disjuntores for mais alta é esperado causa do tipo: fadiga ou envelhecimento.

Um estudo prévio do perfil da população de disjuntores proporcina um melhor entendimento dos resultados da análise das causas das falhas.

- Desajuste ou desalinhamento;
- Deteriorização do óleo isolante / Gás SF6;
- Desgaste / Fadiga de material / Afrouxamento / Mecânico;
- Envelhecimento de Material de Vedação (O'ring e juntas de vedação);
- Operação Indevida;
- Montagem Incorreta;
- Mau contato / Conexão elétrica frouxa;
- Condições Ambientais Desfavoráveis/Corrosão/Poluição/ Oxidação;
- Armazenagem;
- Causas externas;
- Fabricação;
- Origem desconhecida/indeterminada;
- Projeto;
- Transporte;
- Utilização do equipamento fora do valor especificado / Condições. de Serviço em Descarga com o projeto original;
- Instrução de Montagem / Operação / Manutenção Inadequadas.

4.9 Reparo e ações executadas após a falha:

4.9.1 Tipo de reparo:

Informa se o reparo foi feito no local, ou em oficina, ou na fábrica. Se houve a necessidade de substituir componente e se o componente foi substituído por um com outro projeto.

Ou se o disjuntor voltou ao serviço sem a necessidade de qualquer reparo.

4.9.2 Ações executadas:

Este registro verifica se foi necessário:

- retirar outro equipamento similar de serviço para inspeção ou modificação (algumas modificações devem ser estendidas aos demais disjuntores do mesmo grupo);
- implementar o projeto;
- revisar as instruções de operação ou manutenção e/ou de segurança.

5.0 - CONCLUSÃO

Os indicadores de desempenho são ferramentas importantes para o planejamento estratégico da Engenharia de Manutenção. O indicador de desempenho auxilia na supervisão e melhoria de processos de manutenção. É fundamental que a metodologia utilizada seja bem estruturada para atender a função do equipamento em escopo.

Os conceitos desenvolvidos pela Cigré são referências internacionais e devem ser base para uma metodologia de análise de desempenho de disjuntores por que: A Cigré possui atuação internacional em empresas de energia elétrica de vários países. A maioria dos fabricantes de disjuntores utiliza os critérios da Cigré. Ainda podemos citar que as publicações do IEEE [6] referentes à falha de disjuntores de alta tensão adotam estes critérios.

É trabalhoso operacionalizar um sistema para registro, armazenagem, validação e estatística de dados de diversos locais da empresa. Fica mais difícil ter qualidade da informação se tiver que fazer o sistema de banco de dados operar com mais de um critério para o mesmo equipamento. Por isso é importante manter um critério único e bem estruturado. A utilização de critérios diversos dificulta a realização de 'benchmark'.

Uma vez desenvolvidos os bancos de dados com os registros de falhas, com coerência satisfatória, pode-se realizar tratamentos estatísticos proveitosos que proporcionam interpretações úteis para as decisões a serem aplicadas na manutenção preventiva e corretiva. Pode-se visualizar o desempenho como um todo ou por grupos.

Índices de manutenção proporcionam à Engenharia de Manutenção da empresa a interpretação de diversos aspectos dos quais destacamos: a adequação da política de sobressalente, a necessidade de revisão e/ou atualização de instruções de manutenção, o nível de capacitação do corpo técnico, a capacidade da engenharia em atender a necessidades de melhorias em processos ou componentes, ao "feedback" quanto a mudanças de políticas de manutenção e, principalmente, quanto aos nível de confiabilidade que os equipamento estão operando no sistema interligado.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Índices de Falhas e Defeitos em Disjuntores de Alta Tensão em Serviço em Furnas Centrais Elétricas S.A. no Período de 1990 A 2000 – Adolfo Ribeiro Junior.

[2] The First International Enquiry on Circuit-Breaker Failures and Defects in Service.

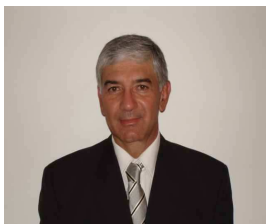
[3] Final Report of the Second International Enquiry on High Voltage Circuit-Breaker Failures and Defects in Service.

[4] Curso tutorial sobre confiabilidade de equipamentos de AT. CE A3 – Cepel - Junho 2006.

[5] ABRATE - Grupo de Trabalho da Manutenção - Relatório técnico RT.GTM.SGDE.002

[6] IEEE Guide for Diagnostics and failure investigation of power circuit breakers – IEEE Std C37.10-1995.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Adolfo Ribeiro Junior.
Nascido em Fortaleza, CE em 27 de Junho de 1956.
Graduação (1980) em Engenharia Elétrica: UERJ – Universidade Estadual do Rio de Janeiro.
Empresa: FURNAS Centrais Elétricas, desde 1980.
Engenheiro da Divisão de Equipamentos de Manobra e Auxiliares atuando na área de Engenharia de Manutenção.