

Capítulo X

Manutenção de disjuntores e noções sobre confiabilidade

Por Igor Mateus de Araújo e João Maria Câmara*

Nos disjuntores a óleo, o meio isolante e de extinção do arco elétrico é o óleo mineral isolante (naftênico ou parafínico). Os contatos móveis de forma cilíndrica ou retangular com a ponta formada por uma pastilha de liga de tungstênio muito resistente à ação corrosiva do arco elétrico podem sofrer corrosão e sua substituição pode ser necessária.

São divididos em dois tipos:

- Disjuntores com grande volume de óleo (GVO): contatos principais operam imersos em óleo em quantidade suficiente para a isolação entre as partes vivas e a terra;
- Disjuntores a pequeno volume de óleo (PVO): contatos principais operam imersos em óleo, que serve essencialmente para a extinção do arco e não necessariamente para a isolação entre as partes vivas e a terra.

A manutenção dos disjuntores de pequeno volume de óleo requer, fundamentalmente, cuidados com os seguintes componentes: óleo isolante, contatos, buchas, atuador mecânico e circuitos auxiliares.

Os cuidados com o óleo são idênticos, em grande parte, aos que são realizados na manutenção de transformadores. Devem ser adotadas, por exemplo, as seguintes práticas:

- Extração do óleo para ensaios de umidade e de rigidez dielétrica;
- Técnica de ensaio de rigidez dielétrica;
- Enchimento com óleo.

No entanto, há diferenças no que diz respeito às

características admissíveis para o óleo de enchimento de disjuntores, como será indicado a seguir. Também a degradação do óleo num disjuntor, após certo número de atuações, é muito rápida, devido às decomposições e carbonizações produzidas pelo arco elétrico. Os ensaios de verificação e os tratamentos de óleo serão muito mais frequentes.

A parte mecânica requer cuidados especiais, pois dela depende o bom desempenho do disjuntor. Deve ser verificada, no teste de recepção e após manutenções, ou até mesmo preventivamente, a simultaneidade dos pólos. Também, quando necessário, devem ser realizados testes de medição dos tempos de abertura e fechamento.

Outras verificações muito importantes para a manutenção são:

- Resistência ôhmica dos contatos principais;
- Contatos auxiliares;
- Resistores de fechamento (se existirem).

Nos disjuntores de corrente alternada de alta e extra alta tensão, é necessário realizar ensaios mais elaborados. Estes ensaios são executados não só na recepção, mas também após trabalhos de revisão mecânica e elétrica ou de manutenção corretiva. Estes ensaios são normalmente designados como ensaios sintéticos com métodos de injeção. Pela sua complexidade, só podem ser, normalmente, feitos pelo fabricante.

Ensaio sintéticos com métodos de injeção

Os ensaios sintéticos estão detalhados teoricamente na ABNT NBR 7102/1981, enquanto os circuitos de ensaio direto, por sua vez, foram normalizados pela ABNT NBR 7118.

Designa-se como ensaio sintético um ensaio de curto-circuito no qual a corrente total de curto ou uma grande porcentagem desta corrente é fornecida por uma fonte (circuito de corrente à frequência industrial), ao passo que a tensão de restabelecimento transitória provém na sua totalidade ou parcialmente de outras fontes separadas (circuitos de tensão).

A tensão nos bornes da fonte de corrente à frequência industrial é, normalmente, uma fração da tensão da fonte de tensão. A potência necessária para o ensaio é, assim, muito menor.

Há duas variantes do ensaio sintético:

- Método de injeção de corrente: A fonte de tensão é ligada ao circuito de ensaio “antes” do zero de corrente (antes do apagamento do arco); a fonte de tensão fornece, desse modo, a corrente por meio do disjuntor sob ensaio durante o período de zero de corrente.
- Método de injeção de tensão: A fonte de tensão é ligada ao circuito em ensaio “após” o zero de corrente. Então o circuito de corrente à frequência industrial, fornece a corrente por meio do disjuntor durante o período de zero de corrente.

Verificação da simultaneidade dos pólos (disjuntores trifásicos)

Após a manutenção de disjuntores, é necessário fazer alguns testes para verificar a simultaneidade de fechamento dos pólos. As técnicas mais correntes são descritas a seguir:

Disjuntores de grande volume de óleo

Os principais tipos de câmaras de extinção utilizadas são os de sopro transversal e os de sopro axial, há também o tipo que combina estes dois. A câmara de sopro transversal é formada por placas de fibra vulcanizadas empilhadas.

Os tanques dos disjuntores possuem uma forração extraível de papel ou papelão isolante que tem por finalidade impedir que o jato de vapor de gases ionizados atinja diretamente sua parede metálica, com possibilidade de ocorrer um curto-circuito na terra.

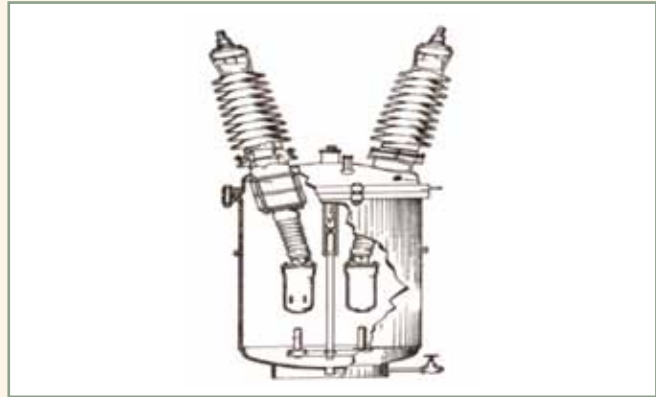


Figura 1 – Disjuntor de grande volume de óleo.

O método adotado é muito simples. São estabelecidos três circuitos alimentados, por uma baixa tensão alternada ou contínua, e constituídos cada um pelo contato do disjuntor e por uma

lâmpada. O disjuntor é fechado lentamente e de forma manual. Antes da regulação de espaço entre contatos, as três lâmpadas acendem em momentos diferentes. O ajuste da simultaneidade dos pólos consiste, evidentemente, em levar as lâmpadas a acender no mesmo momento.

Disjuntores de alta tensão e extra alta tensão

Disjuntores a ar comprimido:

- Contatos principais operam sob um jato de ar comprimido;
- Os contatos móveis e fixos têm forma cilíndrica. Os contatos móveis possuem suas paredes prateadas, enquanto na maioria dos contatos fixos há a pastilha de tungstênio;
- Existem dois tipos de disjuntores a ar comprimido:
 - Disjuntor de abertura e fechamento a ar comprimido;
 - Disjuntor de abertura a ar comprimido e fechamento a mola.

Disjuntores a gás hexafluoreto de enxofre – SF6:

- Gás SF6 é usado como meio isolante e de extinção do arco;
- Alumina (Al₂O₃) é utilizada em filtros que transportam o excesso de gás da câmara para o reservatório de alta pressão;
- Pontas do contato fixo de arco e contatos principais na maioria dos casos são laminados de prata ou feitos de um material superior como grafite;
- São divididos em dois tipos:
 - Disjuntores a dupla pressão;

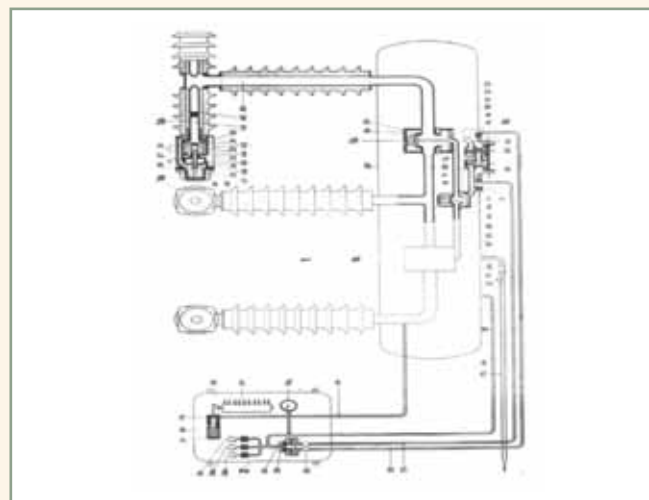


Figura 2 – Disjuntor a ar comprimido.

- Disjuntores a pressão única.

Os ensaios de fechamento simultâneo dos disjuntores a ar ou a SF6 são, habitualmente, realizados nas seguintes condições:

- Disjuntor já montado no local de instalação;
- Alimentação dos três pólos com uma tensão auxiliar contínua de 12 V (fornecida, por exemplo, por uma bateria);
- Limitação da corrente (após o fechamento) com três resistores com um

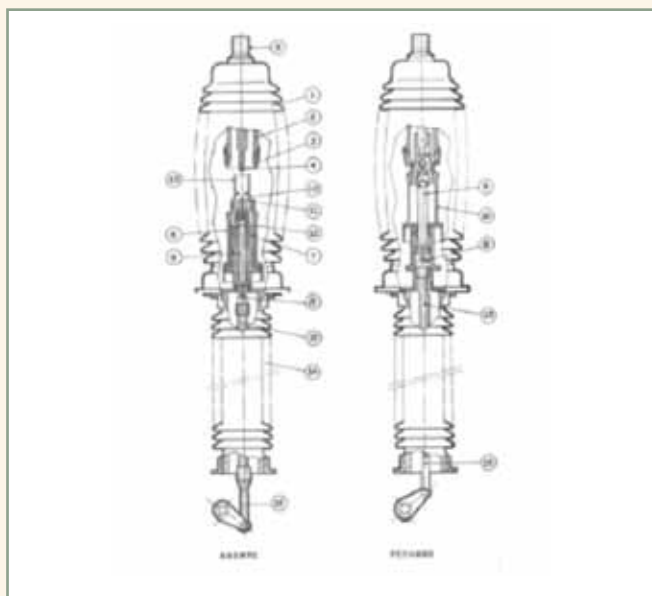


Figura 3 - Disjuntores a gás hexafluoreto de enxofre – SF6.

valor na ordem das dezenas de ohms;

- Conexão de um osciloscópio de três canais, com entradas ligadas aos terminais dos resistores;
- Estabelecimento do circuito da bobina de fechamento;
- Envio de um sinal de corrente da bobina de fechamento para o osciloscópio;
- Envia-se sinal de fechamento do disjuntor;

- Medem-se os tempos de fechamento a partir dos resultados mostrados no osciloscópio, verificando-se a simultaneidade (ou não) dos pólos;
- Os ajustes mecânicos permitirão a melhor simultaneidade possível.

Noções sobre confiabilidade

A operação prolongada e eficaz dos sistemas produtivos de bens e serviços é uma exigência vital em muitos domínios. Nos serviços, como produção, transporte e distribuição de energia, as falhas súbitas causadas por fatores aleatórios devem ser entendidas e contrabalançadas se é pretendido evitar os danos não só econômicos, mas especialmente sociais.

Também nas indústrias, hoje caracterizadas por unidades de grande volume de produção e de alta complexidade, dotadas de sistemas sofisticados de automação, impõem-se, com grande acuidade, a necessidade de conhecer e controlar as possibilidades de falhas parciais ou globais, que possam comprometer certos limites da missão produtiva. As perdas operativas traduzem-se aqui por elevados prejuízos econômicos para a empresa e para o País.

Estas exigências impulsionaram a criação e o desenvolvimento de uma nova ciência: a teoria da confiabilidade. Esta disciplina tem por escopo os métodos, os critérios e as estratégias que devem ser usadas nas fases de concepção, projeto, desenvolvimento, operação, manutenção e distribuição, de modo a garantir o máximo de eficiência, segurança, economia e duração. Em especial, visa-se ao prolongamento da atividade do sistema a plena carga e de modo contínuo, sem que seja afetado por defeitos nas suas partes integrantes.

Fundamentalmente, a teoria da confiabilidade tem como objetivos principais:

Estabelecer as leis estatísticas da ocorrência de falhas nos dispositivos e nos sistemas e estabelecer os métodos que permitem melhorar os dispositivos e sistemas mediante a introdução de estratégias capazes de alteração de índices quantitativos e qualitativos relativos às falhas.

A teoria da confiabilidade (ou, apenas, confiabilidade) usa como ferramentas principais a estatística matemática e a teoria das probabilidades.

Estatística matemática e teoria das probabilidades:

- O conhecimento experimental das causas, das falhas e dos parâmetros é caracterizado em diversos tipos de componentes e sistemas.
- Regras e estratégias melhoram o desempenho dos sistemas de várias naturezas e as técnicas para os desenvolvimentos dos sistemas.

Uma das finalidades da confiabilidade é a elaboração de regras que permitam a concepção de sistemas muito complexos (computadores, redes elétricas, usinas químicas, sistemas de geração elétrica, aviões, naves espaciais, sistema de controle e proteção, etc.) capazes de funcionar satisfatoriamente, mesmo com a ocorrência de falhas em alguns dos seus componentes mais críticos. Os princípios da teoria da redundância nasceram deste problema.

Um dos primeiros domínios em que, por força da necessidade, foram usados cálculos estatísticos para a determinação da confiabilidade foi o da produção e distribuição de energia elétrica. Mas foram, especialmente, o advento dos computadores de altíssima complexidade de circuito, com enorme número de componentes, as missões espaciais e as necessidades militares que forçaram a maturação, em termos mais elaborados, da teoria da confiabilidade.

Para citar alguns domínios em que a teoria da confiabilidade é de aplicação necessária, nomeamos os seguintes:

- Sistemas elétricos de potência, de geração, transmissão e distribuição;
- Concepção de sistemas eletrônicos analógicos e digitais;
- Redes de transporte, aéreas, marítimas e terrestres;
- Organização da manutenção corretiva e preventiva dos processos e serviços;
- Cadeias de produção de peças;
- Estocagem de peças;
- Usinas nucleares;
- Missões espaciais;
- Concepção de sistemas de controle e proteção;
- Planejamento da expansão dos sistemas de produção e transporte de energia elétrica, etc.

Conceitos básicos de confiabilidade

Confiabilidade – é a probabilidade de um sistema (componente,

aparelho, circuito, cadeia de máquinas, etc.) cumprir sem falhas uma missão com uma duração determinada.

Por exemplo, se a confiabilidade de um computador de um centro de operações do sistema (COS) for de 99,95% (para um período de um ano), isso significa que a probabilidade de o computador funcionar sem defeito durante um ano é de 99,95%.

Tempo médio entre falhas (TMF ou MTBF) - é o tempo médio de trabalho de certo tipo de equipamento (reparável) entre duas falhas seguidas.

Duração de vida - tempo durante o qual um componente ou um sistema mantém a sua capacidade de trabalho, fora do intervalo dos reparos, acima de um limite especificado (de rendimento, de pressão, etc.).

Tempo médio para a falha (MTFF) - é o valor médio dos tempos de funcionamento, sem contar o tempo de manutenção.

$$MTBF = MTFF + \text{tempo de reparo}$$

Confiabilidade medida (ou estimada) - é a confiabilidade de certo equipamento medida por ensaios empíricos (normalmente pelo fabricante).

Confiabilidade prevista (ou calculada) - é a confiabilidade observada durante a operação real dos componentes e dos sistemas. É este valor da confiabilidade média de grande número de casos que permite a aferição das confiabilidades medida e prevista.

Eficácia de um componente ou sistema - é a capacidade de desempenho da função pretendida, incluindo a frequência de falhas, o grau de dificuldades da manutenção e reparação e a adequação ao trabalho projetado.

É interessante notar que o projetista e o utilizador têm conceitos diferentes sobre o melhor modo de desempenhar a função pretendida. Assimilando o sistema a um ser vivo, poderíamos dizer que o projetista fornece a hereditariedade do sistema e o utilizador contribui com o meio ambiente. A eficácia do sistema depende da interação entre os dois conjuntos de fatores.

Dependabilidade - medida da condição de funcionamento de um item em um ou mais pontos durante a missão, incluindo os efeitos da confiabilidade, mantenebilidade e capacidade de sobrevivência, dadas as condições da seção no início da missão, podendo ser expressa como probabilidade de um item:

- a) entrar ou ocupar qualquer um dos seus modos operacionais solicitados durante uma missão especificada ou
- b) desempenhar as funções associadas com aqueles modos operacionais.

Disponibilidade - medida do grau em que um item estará em estado operável e confiável no início da missão, quando a missão for exigida aleatoriamente no tempo.

Envelhecimento acelerado - tratamento prévio de um conjunto de equipamentos ou componentes, com a finalidade de estabilizar suas características e identificar falhas iniciais.

Mantenebilidade - facilidade de um item em ser mantido ou recolocado no estado no qual pode realizar suas funções requeridas, sob condições

de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante os procedimentos e meios prescritos.

Tipos de falhas

Entende-se por falhas a diminuição parcial ou total da eficácia, ou capacidade de desempenho, de um componente ou sistema.

De acordo com o nível de diminuição da capacidade, pode-se classificar as falhas em:

- *Falhas totais*
- *Falhas parciais*

Um rolamento de esferas defeituoso, por exemplo, pode ainda operar durante algum tempo, apesar de ruidoso e com sobreaquecimento (falha parcial), ao passo que a capacidade de desempenho de uma lâmpada fundida é nula, sem qualquer meio termo.

Conforme o modo de como a falha evolui no tempo, desde o seu início, podemos considerar duas possibilidades de falhas:

- *Falhas catastróficas*
- *Falhas graduais*

Como falhas catastróficas, citamos um curto-circuito em uma linha de transporte de energia elétrica ou um bloco motor de explosão quebrado.

A alteração gradual da emissão catódica de um monitor de computador ou o desgaste na camisa de um cilindro de um motor diesel constitui casos de falhas graduais (ou paramétricas).

Quanto à duração da falha, em alguns domínios da indústria e dos serviços pode ocorrer:

- *Falhas temporárias (curto-circuito linha terra ou entre fases, devido a uma causa passageira)*
- *Falhas intermitentes (mau contato no borne de um relé)*
- *Falhas permanentes (lâmpada fundida, bobina queimada)*

As falhas de vários componentes podem, ou não, estar ligadas entre si. Se uma falha em um elemento induz falhas em outros, diz-se que a falha é do tipo dependente.

Por exemplo, um resistor aberto no circuito anódico de uma válvula, pode levar esta à destruição. Uma folga excessiva no mancal de um motor elétrico pode levar a um roçamento do rotor na massa estática e produzir a destruição do motor.

Se não houver inter-relação entre falhas, elas são do tipo independente.

A função confiabilidade

A confiabilidade constitui a probabilidade de funcionamento sem falhas durante um tempo t , cuja função designativa é:

$$P(o) = R(t) = e^{-\lambda t}$$

É interessante deduzir diretamente esta expressão da confiabilidade.

Considere-se o caso de uma população inicial de número de componentes idênticos, todos em funcionamento (ou sob teste). Ao fim do tempo t , há um número $N_s(t)$ de sobreviventes. O número $N_f(t)$ de elementos falhados ao fim do tempo t é:

$$N_f(t) = N_o - N_s(t).$$

Por definição, a confiabilidade será dada pela probabilidade de sobrevivência, ou seja:

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N_o}$$

Admitamos uma população homogênea de componentes para os quais a taxa de falha seja constante. Isso significa que, em intervalos de tempo elementares, de duração dt , o número de componentes falhados (mortalidade) é dado por:

$$dN(t) = -N(t) \lambda dt$$

Sendo: $N(t)$ a população no instante t .

A partir dessa expressão, é fácil deduzir a equação que dá $N(t)$ em função do tempo.

$$\frac{dN(t)}{N(t)} = -\lambda dt$$

$$\int_{N_o}^{N(t)} \frac{1}{N(t)} dN(t) = -\lambda dt$$

$$\ln [N(t)] - \ln [N_o] = -\lambda t$$

$$\ln \frac{N(t)}{N_o} = -\lambda t$$

$$\frac{N(t)}{N_o} = e^{-\lambda t}$$

De modo que:

$$N(t) = N_o \cdot e^{-\lambda t}$$

A curva representativa da diminuição da população útil em função do tempo está ilustrada na figura a seguir:

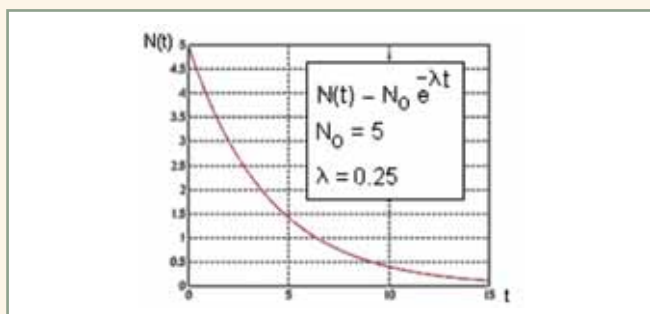


Figura 4 – Curva representativa da diminuição da população útil em função do tempo.

Curva típica de falhas

A curva da taxa de falhas de grande número de componentes e sistemas é caracterizada por uma curva, designada por curva em banheira, na qual se distinguem três regiões:

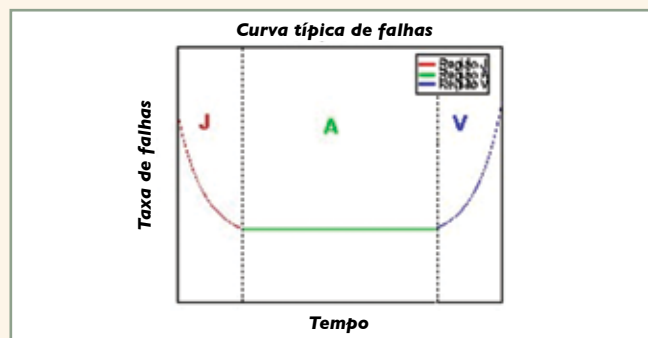


Figura 5 – Curva da taxa de falhas de grande número de componentes e sistemas.

A região J é designada como período de taxa de falhas iniciais (ou período juvenil). Corresponde ao período de partida do componente ou sistema e é caracterizado por uma taxa de falhas relativamente alta, a qual decresce com o tempo tendendo para um valor mais baixo e constante.

Na população humana, verifica-se uma curva deste tipo para a mortalidade dos indivíduos. A taxa de mortalidade é mais alta nos primeiros meses de vida (mortalidade infantil); essa taxa cai rapidamente e, por exemplo, é muito menor para crianças de dois anos do que para recém-nascidos. O mesmo acontece com circuitos eletrônicos, rolamentos, lâmpadas elétricas, etc.

A região A é designada como período de taxa de falhas constante (ou período adulto). Durante este período, que normalmente abrange a maior parte da vida útil do componente ou sistema, a taxa de falhas é, aproximadamente, constante.

Corresponde à idade adulta nas populações humanas. Durante esse período, a mortalidade, devida a causas aleatórias, possui uma taxa constante.

A região V, designada como período de falhas devidas à deterioração (ou período senil), é um período que se segue ao de taxa de falhas constante e durante o qual a taxa de falhas sobe rapidamente, devido a processos de deterioração (mecânica, elétrica, química, etc.). As avarias, se não forem tomadas precauções prévias (manutenção preventiva), acabam por se suceder catastróficamente em toda a população.

**IGOR MATEUS DE ARAÚJO é engenheiro eletricista, atua na área de manutenção elétrica desde 2003 e é, atualmente, gestor da Unidade de Manutenção de Subestações e Linhas de Transmissão da Companhia Energética do Rio Grande do Norte (Cosern).*

JOÃO MARIA CÂMARA é técnico em eletrotécnica, engenheiro eletricista, engenheiro de segurança do trabalho e especialista em instrumentação. Foi chefe do departamento de manutenção elétrica da Indústria Têxtil Seridó, professor do departamento de engenharia elétrica da Universidade Federal do Maranhão e, atualmente, é professor e chefe do departamento de engenharia elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

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