SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GSE - 25
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

GRUPO VIII
GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS - GSE

SISTEMA DE MONITORAMENTO ON-LINE DE DISJUNTORES EM SERVIÇO

Milthon S. Silva *	José A. Jardini	Luiz C. Magrini	Francisco E. Veiga	Luis A. Solis
GAGTD – EPUSP	GAGTD – EPUSP	GAGTD – EPUSP	COELBA	ETEO

RESUMO

Este trabalho descreve a experiência obtida no projeto de implementação de sistemas de monitoramento para disjuntores executado para duas concessionárias elétricas brasileiras, uma de transmissão e outra de distribuição.

O projeto tem como principal característica o uso de equipamentos de mercado e protocolos padronizados de comunicações, dentro de uma arquitetura aberta e flexível, que permite sua aplicação em disjuntores com diferentes tipos de sistemas de acionamento e isolação.

PALAVRAS-CHAVE

Monitoramento de disjuntores, Manutenção e diagnostico de equipamentos, Sistemas de aquisição de dados.

1.0 - INTRODUÇÃO

A manutenção de disjuntores em subestações de energia elétrica tem sido tradicionalmente baseada no tempo (intervalos fixos). Esse critério, além de ter custos significativos para as concessionárias, muitas vezes não é a resposta a uma necessidade imediata de manutenção sendo usado desde o inicio até épocas mais recentes, quando as subestações possuíam equipes permanentes. Dessa forma, o equipamento podia ser monitorado regularmente, com a visita periódica dos grupos de manutenção para aplicar as rotinas de inspeção: fazer uma revisão geral, executar medições, registrar dados e extrair amostras para análise. Caso tenha sido determinado um mau funcionamento ou uma falha iminente, é feita uma manutenção extemporânea.

O disjuntor é um dos mais importantes e complexos de todos os equipamentos da subestação. Ele possui um sistema de interrupção de corrente e é utilizado para manobra e proteção de circuitos; isto devido a sua alta capacidade de isolamento e interrupção de correntes de carga acima do valor nominal assim como de correntes de curto circuito. De acordo com pesquisas anteriores, pode-se afirmar que mais de 40% do custo de manutenção dos equipamentos de pátio de uma subestação é gasta em disjuntores, e 60% desse total é destinado para revisão geral [2] e [3]. Assim os sistemas de manutenção preditiva baseados no monitoramento contínuo de variáveis do disjuntor podem proporcionar reduções significativas nesses custos.

O desafio dos sistemas de manutenção preditiva (monitoramento) para disjuntores é o de lidar com equipamentos em operação vindos de diferentes fabricantes e que utilizam diferentes tecnologias de acionamento e interrupção. Em contraste, por exemplo, com os transformadores de potência, cujos princípios operacionais e exigências de monitoramento são essencialmente os mesmos, independentemente do fabricante.

*Av. Prof. Luciano Gualberto Trav. 3, 158 – Sala A2-16 - CEP 05508-900 – São Paulo - SP - BRASIL
Tel.: (011) 3091-5768 - Fax: (011) 3813-5816 - e-mail: milthon.silva@poli.usp.br

Ao se projetar um sistema de monitoramento do disjuntor deve-se fazer aquisição de dados de variáveis relativas: ao isolamento interno (Ex: pressão de gás SF6); ao sistema de acionamento (Ex: pressão de óleo no sistema hidráulico); e dos circuitos de comando (Ex: verificação do estado da bobina de acionamento).

Uma medição importante é a determinação dos tempos envolvidos nos vários estágios do acionamento do disjuntor (Ex: comando de abertura, ação da bobina de disparo, inicio da abertura do contato principal de extinção do arco, final da abertura do contato principal e interrupção da corrente).

A análise da informação das grandezas armazenadas no banco de dados torna possível determinar a real condição de funcionamento do disjuntor. Hoje existe uma grande oferta de sistemas para o monitoramento de disjuntores, e este número está crescendo rapidamente, com o aparecimento de novos dispositivos de medição, supervisão e controle tanto de *hardware* como de *software*. Por outro lado isso dificulta enormemente sua integração, já que muitas vezes são específicos para um determinado fabricante ou para um determinado modelo de disjuntor. Diante desta realidade, torna-se conveniente o desenvolvimento de um padrão geral para monitoramento, baseado no uso de dispositivos de aquisição largamente usados na automação industrial.

A informação da condição do disjuntor coletada pelo sistema de monitoramento pode ser comparada com os dados obtidos por outros equipamentos já existentes na subestação, possibilitando assim uma melhor caracterização da condição real dos componentes do disjuntor, assim como de seus parâmetros operacionais permitindo assim antecipar e prevenir danos - falhas futuras, cujas conseqüências poderiam causar, além das paralisações, elevados custos para reparos. Essa característica preditiva permite também uma programação ótima das equipes de manutenção, correto gerenciamento do estoque, alem de um melhor rendimento operacional da subestação, como do prolongamento da vida útil do disjuntor.

2.0 - MONITORAMENTO DO DISJUNTOR

Os disjuntores junto com os transformadores constituem-se os equipamentos mais importantes na subestação. Considerando sua função de manobra pode-se dizer que um disjuntor está geralmente num estado inativo, já que normalmente permanece aberto ou fechado por longos períodos de tempo, até que aconteça alguma alteração das condições normais de operação do sistema, momento no qual ele deve operar para mudar de estado. Entretanto quando um disjuntor tem de funcionar, uma operação errada ou uma falha na interrupção podem dar origem a uma perturbação severa no sistema, razão pela qual deve ter um mecanismo bem projetado e altamente seguro.

O sistema de monitoramento de disjuntor é um sistema em tempo real de supervisão dos parâmetros principais do disjuntor (corrente, tensão, pressões, temperaturas, contatos, etc.). Esta supervisão é feita por meio de equipamentos digitais e sensores especiais que são instalados próximos ao disjuntor. Os dados são coletados e processados em uma unidade de aquisição de dados e controle (UAC), para posteriormente através de uma rede de comunicação, usando desejavelmente um protocolo padronizado internacionalmente, serem enviados a um computador central localizado na sala de comando da subestação e depois aos centros de operação permitindo assim uma supervisão remota.

No computador de supervisão está instalado um programa gerenciador de base de dados que armazena o histórico das informações coletadas durante a operação do disjuntor. Um programa SCADA que além de coletar periodicamente as informações disponibilizadas pelo UAC, permite fazer a IHM entre o sistema de monitoramento e o operador da subestação. Um programa dedicado de supervisão que permite transformar os dados da base de dados histórica em informação, continuamente calculando e apresentando o estado dos componentes do disjuntor monitorado, na forma de curvas, gráficos, ou diagramas, de forma a possibilitar uma avaliação e análise objetiva da condição real do disjuntor, o que irá orientar a programação de sua manutenção. É objetivo fundamental do sistema, a minimização da quantidade de falhas dos equipamentos e a redução do número de manutenções programadas durante a vida útil.

Para a implementação destes sistemas de monitoramento foram escolhidos: um disjuntor (D1) que faz parte de uma SE de transmissão em 440 kV e outro disjuntor (D2) que está instalado em uma SE de distribuição em 69 kV, cujos princípios de funcionamento são detalhados:

D1) Disjuntor de 440kV com acionamento monopolar (painel de comando independente para cada fase). Cada pólo possui duas colunas polares montadas sobre uma base comum. A cabeça com duplo acionamento e a coluna polar são preenchidas com gás SF6 usado como meio isolante e extintor de arco. A densidade do gás é controlada através de um densimetro, sendo sua pressão indicada através de um manômetro. A cabeça transforma o movimento vertical da haste de manobra em um movimento horizontal das partes móveis nas unidades interruptoras. A haste de manobra é acionada por um mecanismo de tipo eletro-hidráulico o qual a

movimenta na direção vertical. A energia para acionamento do disjuntor é produzida pelo gás nitrogênio, comprimido no interior do acumulador hidráulico. Tubos saindo deste conduzem o óleo pressurizado ao respectivo acionamento em cada coluna polar, à unidade de válvulas e ao armário de controle, no qual é efetuada a supervisão e controle do meio compressor (óleo/N_2).

D2) Disjuntor de 69kV com acionamento tripolar (um único painel de comando para as três fases), que utiliza a técnica do arco rotativo associado à auto-expansão. A corrente a ser interrompida percorre uma bobina concêntrica ao eixo dos contatos. O campo magnético então criado, induz o arco a efetuar rotações rápidas sobre a superfície dos contatos de arco, possibilitando que o aquecimento dos contatos seja distribuído. A elevação da pressão pela operação, provoca o sopro de gás SF6 sobre o arco para sua extinção. O sistema de acionamento é mecânico, composto por um conjunto de alavancas, com acumulação de energia por molas acionadas através de um motor de corrente contínua.

Embora esses disjuntores trabalhem em diferentes níveis de tensão e possuam princípios de acionamento diferentes, alguns de seus parâmetros de monitoramento são similares. Assim sendo, as principais características de um disjuntor que podem ser medidos e monitorados em geral são:

- Correntes dos circuitos de fechamento e disparo.
- Correntes nas fases da linha.
- Corrente do motor de acionamento.
- Tensões de alimentação (AC e CC).
- Tensões nas fases.
- Sistema de acionamento.
- Deslocamento dos contatos principais.
- Desgaste dos contatos do interruptor.
- Pressão do meio isolante.
- Temperatura interna.
- Estado dos contatos de supervisão.

3.0 - PARÂMETROS DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

Na aquisição das grandezas e estados do disjuntor devem ser considerados dois tipos básicos de interface de hardware:

3.1 Entradas Digitais

São sinais que são coletados continuamente especialmente no momento da operação do disjuntor. Dependendo da natureza do sinal, estes podem ser aquisitados com resolução rápida (FR) ou lenta (LR). A FR é usada quando se vai fazer o seqüenciamento de eventos, para determinação dos tempos de operação e para a comparação com valores obtidos de outros equipamentos de monitoração da subestação. Os sinais LR são geralmente usados como alarmes, tais como informação do estado dos estágios das pressões e níveis de tensões de alimentação CC e CA, e suja resolução estão na ordem de segundos. Na Tabela 1 indica-se a relação de entradas digitais sugeridas para os disjuntores focalizados neste trabalho.

3.2 Entradas Analógicas

O monitoramento das grandezas elétricas apresenta-se com duas necessidades: uma com baixa resolução de tempo (LR), sendo necessário e suficiente coletá-la em intervalos de minutos, geralmente usados para variáveis de condições de operação; e a outra com resolução elevada (FR) coletada durante a operação do disjuntor. Esses eventos são rápidos de modo que com uma alta taxa de amostragem, pode-se fazer uma correta oscilografia da variável e dessa forma observar qualquer tipo de alteração dentro do padrão normal de operação. A Tabela 2 lista as diferentes entradas analógicas do disjuntor.

A quantidade de entradas analógicas vai depender do tipo de acionamento do disjuntor (monopolar ou tripolar), da necessidade de comparação entre os valores de cada fase e do tipo de mecanismo de acionamento, entre outros.

Neste sistema de monitoramento, os sinais da corrente e tensão das fases são obtidos através dos painéis de comando dos TCs e TPs da linha, com saídas de 5A e 115V respectivamente.

Para o monitoramento da corrente do motor e das bobinas (abertura / fechamento) são usados TCs rápidos tipo janela de efeito Hall, com relação de transformação de 100/0,1 A.

TABELA 1
Entradas Digitais Monitoradas

D1	D2	Sinal	Descrição	Resolução
Sim/Não		Tags		
S	S	A	Estado do contato NF do disjuntor (close)	FR
S	S	B	Estado do contato NA do disjuntor (open)	FR
S	S	CB	Bloqueio geral do disjuntor	LR
S	N	Óleo1	Estado do relé de baixa pressão 1° estagio (alarme)	LR
S	N	Óleo2	Estado do relé de baixa pressão 2° estagio (bloqueio)	LR
S	S	SF61	Estado do relé de baixa pressão 1° estagio (alarme)	LR
S	S	SF62	Estado do relé de baixa pressão 2° estagio (bloqueio)	LR
N	S	MoA1	Estado do motor de acionamento mecânico (mola)	FR
S	N	MoA2	Estado do motor de acionamento eletro hidráulico	FR
S	S	Ten1	Estado do relé de falta de tensão circuito comando Vcc	LR
S	N	Ten2	Estado do relé de falta de tensão motor acionamento Vca	LR
S	S	MoFC	Fim de curso do motor	FR
S	N	Pólos	Discordância de fases	FR
S	N	Relig	Auto-religamento (on/off)	LR

TABELA 2
Entradas Analógicas Monitoradas

D1	D2	Sinal	Descrição	Resolução
Sim/Não		Tags		
S	S	Tamb	Temperatura ambiente	LR
S	S	Tint	Temperatura interna painel	LR
S	S	Dens	Densidade da câmara	LR
S	N	Pres	Pressão do Óleo/N2	LR
S	S	Close	Corrente da bobina de fechamento	FR
S	S	Trip1	Corrente da bobina de abertura Trip1	FR
S	N	Trip2	Corrente da bobina de abertura Trip2	FR
S	S	Motor	Corrente do motor de acionamento	FR
S	S	Fases	Corrente das fases da linha	FR

4.0 - ARQUITETURA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

O sistema de monitoramento é composto por um grupo de dispositivos (transdutores, conversores e sensores) que estão ligados a um IED que faz a coleta, tratamento e posterior envio dos dados ao computador central que processa, armazena e que cumpre a função de Interface Homem Máquina (IHM). A IHM converte os dados em informação útil ao diagnóstico da real condição do disjuntor e na comunicação são usados protocolos padrões.

4.1 Módulo de aquisição

Este módulo é composto por um IED com 240kB de memória configurável, uma fonte de alimentação para 125Vcc, e saída de 24 Vcc para possível alimentação dos sensores, taxa de transmissão de dados de 9600 ou 19200 bps, cartão de comunicação Ethernet, duas portas EIA RS-232/RS-485. Cartão para entrada I/O digitais de 12/24/125 Vcc, com entradas binárias a depender da tensão de alimentação do painel de comando do disjuntor, cartão para entradas analógicas de corrente e tensão de +/- 10V ou 0..20mA com resolução de 16 bits com uma precisão de 0,1 %.

4.2 Transdutores digitais de Grandezas Elétricas

São unidades transformadoras para adequação das correntes e tensões de linha (fases A, B e C), com entradas configuráveis para circuitos monofásicos ou trifásicos. A entrada dessas unidades é tensão de 0 a 115V e corrente de 0 a 5 A, sendo estes conectados através de transdutores aos TCs e TPs da linha. Conecta-se ao IED de monitoramento através das entradas analógicas do cartão de aquisição (0 a 5 Vcc).

4.3 Especificação de Sensores

Sensor de Temperatura
Modelo Pt-100 classe B / RTD, este sensor geralmente é fixado no próprio painel de comando do disjuntor com transdutor de temperatura para saída de 4 a 20mA, alimentação 10 a 30 Vcc, ligação a dois fios, com tubo de proteção em aço inoxidável, faixa de medição de 0°C a +85°C e uma precisão de ± 0,5%. Um outro sensor com as mesmas características é usado para medição da temperatura ambiente e será instalado na proximidade de um dos pólos.

Sensores de Densidade
Modelo S-10, com variação da pressão de 0 a 10 bar, sistema de dois fios, alimentação 10 a 30 Vcc, sinal de saída de 4 a 20 mA, conexão de pressão ½" BSP, com precisão de ± 0,5% e tempo de resposta menor que 1s.

Sensores de Pressão
Modelo S-40, com variação da pressão de 0 a 400 bar, sistema de dois fios, alimentação 10 a 30 Vcc, sinal de saída de 4 a 20 mA, conexão de pressão ½"BSP, com precisão de ± 0,5% e tempo de resposta menor que 1s.

Transdutores de corrente
Tipo janela, com variação de 0 a 10 A (CC ou CA), sistema de três fios com alimentação de 20 a 30 Vcc, sinal de saída de 4 a 20mA, sem conexão física usados para medição das correntes das bobinas e dos motores de acionamento, com precisão de ± 0,5% e tempo de resposta menor que 1ms.

4.4 Servidor central de monitoramento

Consiste de um microcomputador, localizado na casa de comando da subestação da concessionária, PC de 2 GHz, com memória RAM de 256MB, unidade de armazenamento física de 40GB, monitor 17" com cartão AGP de interface gráfica e cartões de comunicação com saída RS-232. No computador encontra-se instalado o sistema operacional Windows NT profissional, o sistema SCADA, uma base de dados, assim como um programa desenvolvido para análise dos dados e apresentação dos resultados em forma de gráficos, tabelas, curvas, entre outros.

4.5 Comunicação

As necessidades de comunicação de dados do sistema de monitoramento de disjuntores, embora não envolvam um grande volume de dados, apresenta algumas peculiaridades, tais como:

- Diferentes tempos de varreduras, a maior parte dos sinais digitais e analógicos são coletados a cada segundo, enquanto que alguns poucos exigem resolução de milissegundos.

- O volume de dados a ser transmitido é na maior parte do tempo pequeno, exceto quando ocorre uma manobra do equipamento.

- Os equipamentos que coletam os dados necessitam estar sincronizados.

Fabricantes oferecem uma grande variedade de protocolos de comunicação de dados com suporte as essas funcionalidades, mas muitas delas são soluções apenas suportadas pela linha de produtos da empresa, o que dificulta, ou mesmo, impede a sua integração com outros equipamentos do sistema ou mesmo com o SCADA.

A filosofia de sistemas de comunicação abertos valoriza a adoção de interfaces e protocolos padronizados, tais como o IEC 60870-5, o DNP 3.0 e mais recentemente, o IEC 61850, que é também conhecido como uma extensão do UCA 2.0.

4.6 Outros Dispositivos

Considerando-se as distâncias consideráveis entre os equipamentos de campo e o edifício de controle, forram usados cabos de fibra óptica, com seus respectivos conversores F.O./RS-232. No caso do disjuntor (D1) por ser de acionamento monopolar, demandou o triplo da quantidade de sensores, e de uma fonte auxiliar de alimentação de 125 / 24 Vcc.

A arquitetura geral do sistema de monitoramento encontra-se ilustrada na figura 1.

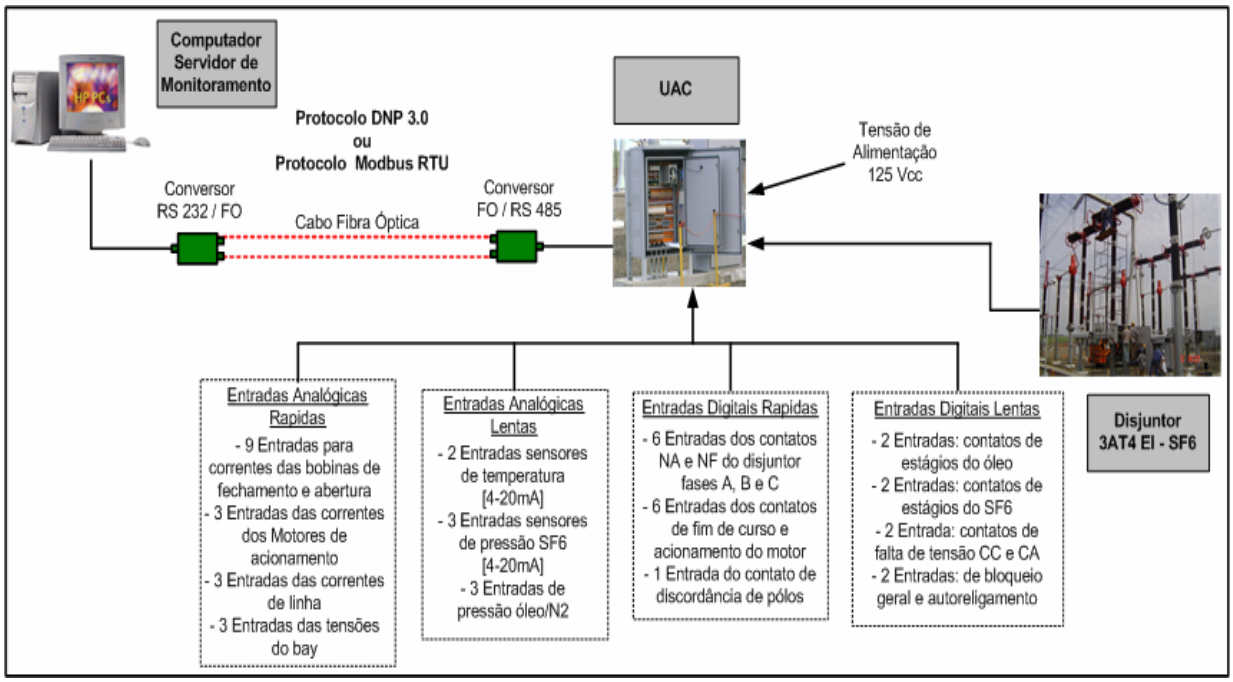

FIGURA 1 – Arquitetura geral do Sistema de Monitoramento de Disjuntores.

O protótipo encontra-se instalado na SE transmissora com todos os dispositivos antes mencionados (figuras 2 e 3)

FIGURA 2 e 3 – Protótipo instalado na SE de transmissão.

5.0 - RESULTADOS DE DIAGNÓSTICOS OBTIDOS

- Curvas de evolução da densidade do gás (SF_6), da pressão do óleo, da variação da temperatura, mediante os dados proporcionados pelos sensores instalados no disjuntor.
- Oscilografia das correntes e tensões de linha proporcionada pelos transdutores digitais, que permitiu calcular de forma aproximada o desgaste dos contatos usando a relação I^2T.
- Evolução dos tempos de fechamento e abertura, através das medições dos tempos de operação, assim como pela posição dos contatos auxiliares.
- Análise dos tempos de fechamento ou abertura dos disjuntores, através da oscilografia das correntes das fases, correntes nas bobinas de fechamento e abertura e análise do percurso dos contatos principais.
- Análise da forma de onda das correntes de fase de fechamento ou abertura dos disjuntores, detectando possíveis faltas no circuito onde se encontra o disjuntor, determinando sua assinatura característica.
- Evolução das formas de onda das correntes das bobinas de fechamento / abertura e do motor de acionamento dos disjuntores.
- Evolução na discordância de tempo de abertura e fechamento dos contatos principais.

6.0 - CONCLUSÕES

O monitoramento em tempo real de disjuntores é uma tecnologia emergente que está desenvolvendo-se rapidamente com a participação de concessionárias, fabricantes de equipamentos, provedores de sistemas e dispositivos de monitoramento e por grupos de pesquisa de universidades.

A aparição de novos cartões de aquisição com taxas de coleta de dados superiores a 1ms permitem realizar oscilografias das correntes envolvidas durante o processo de operação do disjuntor o qual permite detectar prováveis falhas no seu funcionamento, além de permitir realizar análises muito mais exaustivas através do uso de ferramentas matemáticas como a transformada Wavelet.

Para o uso de outras informações importantes ao sistema de monitoramento de disjuntores provindas de uma variedade de IEDs já existentes na subestação incluindo relés de proteção, sistemas de oscilopertubografia, seqüenciadores de eventos e outros dispositivos, se faz necessário um dispositivo especial que sirva como intérprete, pois estes equipamentos trabalham com protocolos de comunicação particulares e geralmente proprietários.

A padronização dos protocolos de comunicação para os sistemas de monitoramento permitirá alcançar benefícios, tais como maior integração entre equipamentos, maior confiabilidade na administração dos dados, menor tempo de resposta do sistema ante uma falta, entre outros.

Como tendências futuras dentro da área de monitoramento de sistemas elétricos estão o monitoramento de subestações compactas, a integração de todos os sistemas de monitoramento dos diversos equipamentos (transformador, disjuntor, pára-raios, entre outros) dentro de uma plataforma comum e a aparição de novos serviços tais como ferramentas para gerenciamento da manutenção.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Manuais de fabricantes de Disjuntores.

(2) IEEE – Institute of Electrical and Electronic Engineers, “Guide for the selection of monitoring for Circuit Breaker” IEEE Std. C37.10.1-2000.

(3) CEA - Canadian Electricity Association, “On-line Condition Monitoring of Substation Power Equipment Utility Needs”, Dec. 1996.

(4) IEEE/PES–T&D Power Engineering Society Transmission and Distribution, “Selecting Circuit Breaker Monitoring", Feb. 2001.

(5) CIGRE – International Council on Large Electrical Systems, "Benefits of On-line monitoring for High Voltage Circuit Breaker", 2000.