



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

CB/GTM/21

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - XIII

Grupo de Estudo de Transformadores, Reatores, Materiais e Tecnologias Emergentes (GTM)

Cabeça de Série - Desenvolvimento de Metodologia e Sistema Piloto de Controle da Condição Operativa dos Comutadores sob Carga

Aurélio Martins Barbosa (*)
Light

Adelfo Braz Barnabé
CGTI

Laurence Lavezzo Marques
B&M

Alexandro Santa Rosa
B&M

Felipe Fontoura de Paula
B&M

Tiago Matsuo
AQTech

Bruno de Borba
AQTech

RESUMO

Este trabalho descreve uma inédita tecnologia de monitoramento de comutadores de derivação sob carga. Os comutadores operam em regime intenso e exigem manutenções adequadas. O projeto buscou um novo arranjo para identificar defeitos nos comutadores, através das assinaturas elétricas das correntes de fases do transformador, corrente do motor e avaliação do desgaste dos contatos (principais e auxiliares). O sistema registra as condições operativas atuais e as compara com a situação do seu ponto ideal de operação. O sistema também monitora o número de operações, e apresenta desgaste dos contatos através do somatório das correntes interrompidas e seus perfis.

PALAVRAS-CHAVE

Comutador, Derivação, Sobcarga, Manutenção, Preditiva.

1.0 - INTRODUÇÃO

O projeto de P&D regulado pela ANEEL intitulado "PD-0382-0087/2015 Cabeça de Série - Desenvolvimento de Metodologia e Sistema Piloto de Controle da Condição Operativa de Comutadores de Derivação Sob Carga" foi realizado pela Light Serviços de Eletricidade S. A. e pelas empresas executoras Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação – CGTI e B&M Pesquisa e Desenvolvimento Ltda, tendo como parceiro industrial o fornecedor AQTech.

Devido sua grande importância no sistema, o comutador sob carga necessita da adoção de uma política de manutenção preventiva mais eficiente para garantir melhor desempenho dos transformadores de potência e reguladores de tensão, aumentando consequentemente a confiabilidade do sistema e sua vida útil.

A necessidade de desenvolver uma nova metodologia para manutenção preditiva em comutadores sob carga, de forma mais eficiente, veio para proporcionar às equipes de manutenção das concessionárias, o monitoramento on-line do estado operativo do comutador, possibilitando a intervenção no ponto ótimo, ou seja, antecipando futuros problemas e/ou evitando intervenções desnecessárias.

O acesso ao equipamento é realizado através de software supervisor, onde pode-se visualizar remotamente os seguintes parâmetros: Correntes das fases do Transformador; Desgastes dos contatos do Comutador; Posição do

(*) Rua Angélica, 271 – CEP: 27.110-260 - Barra do Piraí, RJ, – Brasil
Tel.: (+55 24) 99976-0996 – E-mail: aurelio.barbosa@light.com.br

Tap; Número de Operação após última intervenção; Contador de Operação; Relatórios; Oscilografias; Eventos; Alarmes.

Foram desenvolvidos três hardwares de Monitoramento de Comutadores, sendo que dois encontram-se instalados nas subestações de Fontinelli e Saudade, ambas localizadas na cidade de Barra Mansa/RJ. O terceiro hardware será disponibilizado de maneira permanente para exposição na ANEEL.

2.0 - TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO EM COMUTADORES

Técnicas orientadas pelo Cigré para manutenção em Comutadores Sob Carga.

- Intervenções preventivas periódicas (tempo/ n° Operações);
- Torque do Motor;
- Análise de Óleo Isolante;
- Monitoramento do desgaste dos contatos;
- Medição da Resistência Dinâmica;
- Análise Vibro-Acústica.

Na Tabela Guia de Manutenção – Cigré Brasil (1) podemos verificar o comparativo das técnicas x eficiência encontradas no mercado atualmente.

TABELA – Guia de Manutenção para Transformadores de Potência

TÉCNICAS	ITENS	EFICIÊNCIA			
Vibro Acústico	Vácuo				
	Reator				
	Resistor				
Torque do Motor	Todos				
Monitoramento Preditivo por análise de óleo	Vácuo				
	Reator				
	Resistor				
Resistência Dinâmica	Todos				
PROBLEMAS					
Conexão/Engrenagens			B	B	B
Cronometragem/Sequência		B		E	E
Controle/Relés				E	E
Motor				B	B
Freio				E	E
Lubrificação				E	E
Alinhamento contatos				B	B
Arco			M	B	B
Superaquecimento/Carbonização			M	E	E
Desgastes dos contatos		M			
Transição		E			
LEGENDA					
E - EXCELENTE	B - BOM	M - MODERADA	P - POUCA		

3.0 - DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA E DEFINIÇÃO DOS PADRÕES DE DEFEITOS

Para o desenvolvimento da metodologia, foram realizados ensaios para levantamento de padrões de defeitos no comutador sob carga, onde foram utilizando dois equipamentos comerciais com taxas de amostragens de 7kHz e 10kHz, na subestação de Volta Redonda/RJ, utilizando fase de um banco de transformadores.

Com o levantamento dos padrões de defeitos, foi iniciado o desenvolvimento do Painei Coletor de Dados para coleta das assinaturas elétricas das fases do transformador, utilizando um equipamento com taxa de amostragem de 50kHz, superior aos utilizados na etapa anterior, que foi instalado em um transformador da subestação de Volta Redonda/RJ. O painel encontra-se o instalado e durante o período de 12/2015 a 12/2016, foram coletados e analisados aproximadamente 4.500 registros.

A Figura 1 mostra o Painei Coletor de Dados instalado na subestação de Volta Redonda/RJ, utilizado para realizar a coleta dos registros.



FIGURA 1 – Painei Coletor de Dados

3.1 Sistema Monitoramento de Comutadores

Após levantamentos dos padrões de assinatura elétrica e coleta do registros foi desenvolvido o Sistema de Monitoramento de Comutadores conforme ilustrado na Figura 2.

O enfoque construtivo do hardware teve base em componentes comerciais integrados em um gabinete metálico customizado, similar aos relés existentes no mercado e já familiarizados com a equipe de manutenção das concessionárias.



FIGURA 2 – Monitoramento de Comutadores

O hardware foi projetado para operar de forma independente, sem a necessidade presencial de operador, permitindo o acesso remoto, tanto para configuração quanto para visualização em tempo real dos seguintes parâmetros:

- Correntes das fases do transformador;
- Desgastes dos contatos do comutador;
- Posição do tap;
- Número de operação após última intervenção;
- Contador de operação;
- Relatórios;
- Oscilografias;
- Eventos;
- Alarmes: (defeito no comutador e falta de uma das fases);
- Configuração do hardware.

A interface supervisória permite a seleção para download de registros específicos, passíveis de visualização com o software de análise já integrado ao equipamento conforme Figura 3.

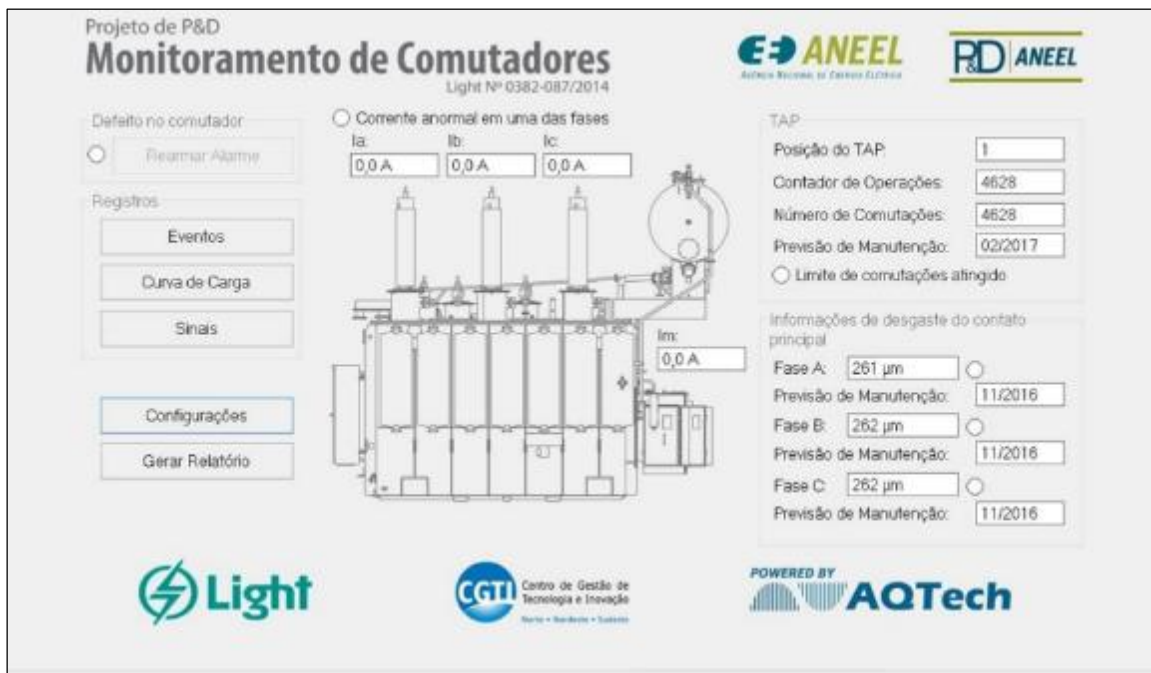


FIGURA 3 – Tela de Monitoramento

Além de acompanhar o funcionamento do comutador e ter acesso aos registros de modo instantâneo, o usuário poderá também realizar a partir dos registros obtidos, cálculos avançados, análise temporal, filtragens, dentre outros.

3.1.1 Algoritmo Embarcado

O modelo de algoritmo embarcado no equipamento, inicia o registro dos sinais da comutação, no instante em que há corrente no motor, ou seja, início da comutação. Depois de registrado, o algoritmo detecta se há ou não alterações no padrão do sinal de corrente durante a comutação dos taps do transformador. Para isso, o modelo de

cálculo realiza diversas operações com os registros monitorados gerando um sinal de referência para atuação de um gatilho.

A Figura 4 mostra o sinal de referência para gatilho do defeito (vermelho) e o sinal de desvio de padrão para a corrente monitorada (azul).

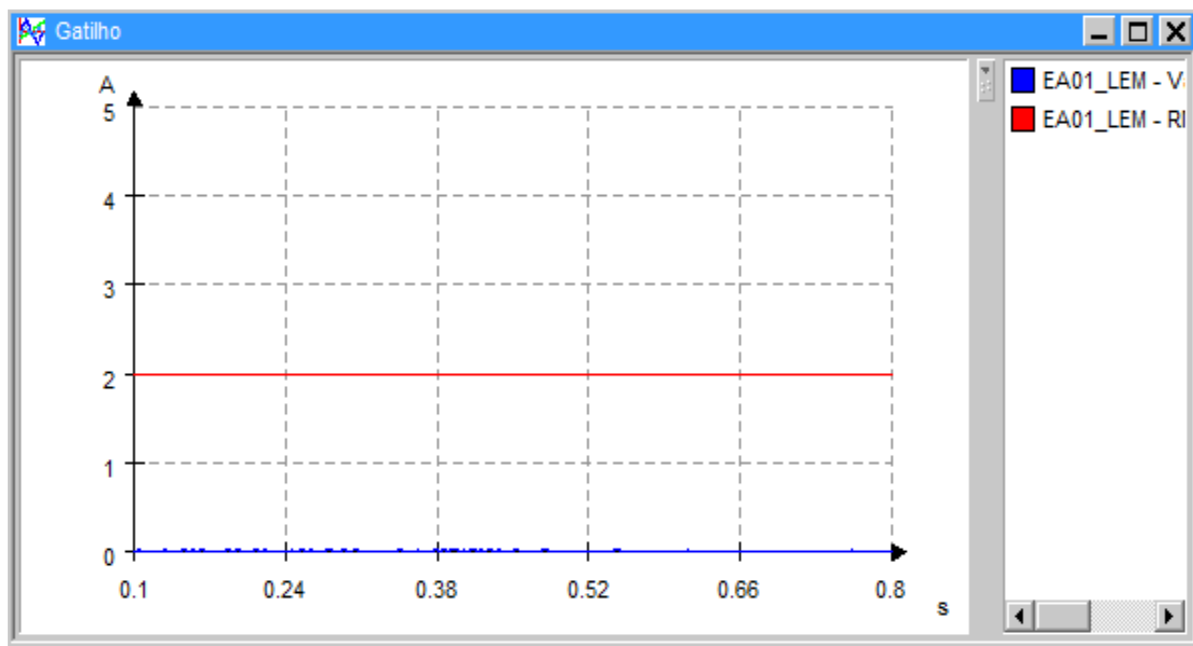


FIGURA 4 – Sinal de corrente da fase A referência para o gatilho em vermelho e o sinal de desvio de padrão para a corrente monitorada em azul.

Com o padrão definido, a detecção do defeito e consequente o acionamento do alarme ocorre quando o valor do sinal de desvio do padrão (azul) atinge o valor do sinal de referência para o gatilho (vermelho) durante uma comutação. O modelo de detecção de defeito é habilitado durante uma comutação de tap, condição determinada a partir dos sinais monitorados.

Existem parâmetros no modelo de cálculo que permitem aumentar ou diminuir o valor da curva de referência para acionamento do gatilho de defeito, permitindo dessa forma uma mudança de sensibilidade no algoritmo de detecção de defeito.

A Figura 5 apresenta três valores de referência para determinação do limite da faixa de defeito, indicados por Ganho (G) e Offset (O). Dentre os três sinais de referência apresentados, utilizamos para o modelo de cálculo, $G=10\%$ e $O=0,5A$, que se mostrou mais adequado para os tipos de sinais encontrados durante os ensaios.

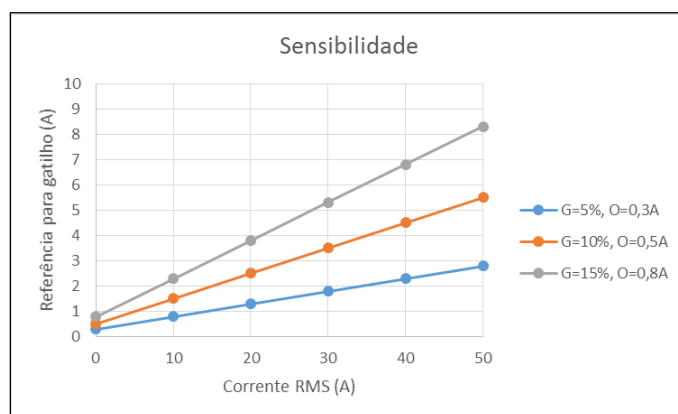


FIGURA 5 - Gráfico de sensibilidade do detector referência para gatilho (A) em função da corrente RMS (A)

3.1.2 Ensaios e Validação do Sistema

O sistema passou por três ensaios de validação com características distintas:

- Comutação sem defeito
- Ensaio carga industrial
- Ensaios com defeito

Apesar de exemplificarmos somente três condições, o algoritmo foi testado diversas vezes com os sinais os coletados em Volta Redonda/RJ (aproximadamente 4.500 registros), em condições especiais com cargas que provocam harmônicos (cliente industrial) e também simulação com defeito condicionado no comutador, no ensaio de Volta Redonda/RJ.

Em todos os ensaios executados o sistema apresentou 100% de acerto, validando assim o algoritmo implantado.

Os valores definidos para os parâmetros α (alfa: Ganho) e β (beta: Offset), podem ser alterados em quaisquer instantes que for necessário para que possam ser identificados outros tipos de defeitos no comutador.

4.0 - CONCLUSÃO

Após a validação do desempenho do Sistema de Monitoramento de Comutadores em laboratório e em campo, as versões finais encontram-se instaladas nas subestações Fontinelli e Saudade, localizadas na cidade de Barra Mansa/RJ e já integrada ao sistema e também BIT da Light, podendo o supervisor ser acessado e operado remotamente.

O uso do Sistema de Monitoramento de Comutadores junto a reguladores de tensão e transformadores de potência deverão trazer ganhos técnicos e econômicos às empresas concessionárias com maior previsão quando das necessidades de manutenções.

O trabalho apresentado oriundo de um projeto de P&D regulado pela ANEEL na fase Cabeça de Série da cadeia de inovação deverá ter andamento na fase de Lote Pioneiro, quando protótipos em formatos industrial e comercial deverão ser construídos e aplicados de forma a se verificar com maior precisão a performance de operação dos mesmos em outras condições operativas e de defeitos, tornando-o um produto capaz de atender o Setor Elétrico Nacional.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Norma ABNT. NBR 8667-1. Comutadores de Derivação. Parte 1: Testes e Ensaios. Dezembro/2012
- (2) Norma ABNT. NBR 8667-2. Comutadores de Derivação. Parte 2: Guia de Aplicação. Dezembro/2012.
- (3) J. Suñé, L. A. Heredia, A. T. de Brito, C. Dupont, C. G. Gonz  alves, C. C. dos Santos, E. L. S. Brito, G. Amorim, H. H. S. Bezerra, J. C. Carneiro, J. S. Santelli, J. R. da Silva, M. A. Marin R. Jasinski, R. Carraro, R. Evaristo, R. M. Teixeira, A. Moriama, A. Meira, A. C. B. Bissacot, B. Salum, C. Severino, F. A. F. Amorim, J. Baldauf, J. C. Mendes, M. A. Sens, P. Moraes, R. Asano Jr, R. Censi e R. Ferrari, “*Guia de Manuten  o para Transformadores de Potência*, ” em *Proc. 2013 XXIV Seminário Nacional de Produ  o e Transmissão de Energia Elétrica*, pp. 135-139
- (4) C. Gao and M.A. Redfern, “A review of voltage control tech-niques of networks with distributed generations using onloadtap changer transformers” in *Proc. 2010 International Universities Power Engineering Conference*, pp. 1–6 de 2010.
- (5) Check-list de Manuten  o Periódica em Comutadores, CPFL, agosto 1990.
- (6) LabView (2016, dezembro 12) [On line]. Disponível em: [Http://www.ni.com/newsletter/51141/pt/](http://www.ni.com/newsletter/51141/pt/)

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Aurélio Martins Barbosa

Barra do Piraí, RJ - 1977

Guiricema, MG – 2010

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (2005). Atualmente é Gerente de Manutenção e Operação na LIGHT Serviços de Eletricidade S/A. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência.

Adelfo Braz Barnabé

Maria da Fé, MG - 1964

Itajubá, MG – 2013

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá (1987) e especialização em Engenharia de Segurança do trabalho pela Universidade Estadual de Campinas (1996). Atualmente é Diretor de Engenharia do Centro de Gestão de Tecnologia - CGTI e Diretor Técnico na JB Engenharia. Especializou-se em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho, Micro centrais Hidrelétricas, Subestações, Técnicas em Alta Tensão, Projetos de Sistemas de Aterramento, Coordenação de Isolamento, Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, Gerenciamento de Riscos, Análise Funcional de processos e Gerência entre os anos de 1987 e 2002. Tem experiência prática nas áreas de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão e Distribuição da Energia.

Laurence Lavezzo Marques

Catanduva, SP - 1986

Campinas, SP – 2012

Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade São Francisco, atualmente é Sócio-Diretor da Quantum Tecnologia e Inovação, colaborador do Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação - CGTI pertencendo ao Grupo Bueno e Mak, onde trabalha na área de engenharia de projetos. Tem experiência na área de manutenção predial, atuou na recertificação da NBR ISO9001:2008 em empresa de grande porte no setor de prestação de Serviços. Foi responsável pelo setor de garantia de peças junto ao cliente em empresa do setor automotivo onde também adquiriu experiência em engenharia de produto atuando diretamente com estrutura de produto. Tem experiência em projetos da cadeia de inovação de pesquisa e desenvolvimento.

Alexandro Santa Rosa

São Paulo, SP - 1990

Campinas, SP - 2015

Graduado em Engenharia Elétrica pela Faculdade Anhanguera Educacional, atualmente faz parte do quadro societário da Quantum Tecnologia e Inovação, colaborador do Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação CGTI pertencendo ao Grupo Bueno & Mak, onde atua na área de pesquisa e desenvolvimento executando a gestão técnica/financeira de projetos de engenharia.

Felipe Fontoura de Paula

Campinas, SP - 1994

Campinas, SP – 2016

Formado em Engenharia de Automação e Controle (2016), atuando como Gestor Administrativo/Financeiro de projetos de P&D-Pesquisa e Desenvolvimento no Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação (CGTI).

Tiago Matsuo

Florianópolis, SC - 1986

Florianópolis, SC – 2010

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2010). Atualmente é gerente de engenharia - AQX Instrumentação Eletrônica S.A. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Geração da Energia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: monitoramento, pequenas centrais hidrelétricas, aquisição de dados, uhe e pch.

Bruno de Borba

Florianópolis, SC - 1988

Florianópolis, SC – 2011

Mestrando no curso de Mestrado Profissional em Mecatrônica pelo Instituto Federal de Santa Catarina, especialista em Qualidade e Engenharia de Software pela Univali (2014), graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2011). Atualmente é engenheiro - AQTech Engenharia e Instrumentação S.A. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Geração de Energia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: engenharia de software, monitoramento, pequenas centrais hidrelétricas, aquisição de dados, uhe e pch. Participou de diversos projetos de pesquisa e desenvolvimento em cooperação com grandes empresas de geração de energia do setor elétrico brasileiro, acumulando resultados de sucesso em suas execuções.