



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

**SISTEMA PARA MONITORAÇÃO DA OPERAÇÃO DE CHAVES SECCIONADORAS DE ALTA TENSÃO  
BASEADO NA ANÁLISE DAS CORRENTES DO MOTOR DE ACIONAMENTO**

**Antonio Fernando de Souza \***  
**ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS**

**Jefferson Luiz Brum Marques**  
**UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina**

**RESUMO**

Nesta proposta de trabalho tem-se como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia que possa dar suporte para a determinação remota de quando efetuar manutenção numa chave seccionadora de alta tensão, fazendo análise das curvas da corrente do motor de acionamento verificando suas variações em função dos problemas que possam ocorrer, determinando se esta análise poderá trazer informações importantes para a manutenção da mesma.

O desenvolvimento dessa metodologia está ancorado em ferramentas matemáticas para o processamento e análise de sinais. de sinais. Por fim, apresentam-se alguns registros e análises de resultados dos dados coletados no campo.

**PALAVRAS-CHAVE**

Instrumentação, Chave seccionadora, Motor elétrico, Valor RMS, Telecontrole.

**1.0 INTRODUÇÃO**

Nesta proposta de trabalho tem-se como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia que possa dar suporte para a determinação de quando efetuar manutenção numa chave seccionadora de alta tensão, fazendo a análise das curvas da corrente do motor de acionamento verificando suas variações em função dos problemas que possam ocorrer, determinando se esta análise poderá trazer informações importantes para a manutenção da mesma.

O desenvolvimento dessa metodologia está ancorado em ferramentas de processamento e análise digital de sinais.

O trabalho completo descreve as seccionadoras, seus modelos e tipos de manutenções que elas sofrem, bem como o princípio de funcionamento de motores e embasamentos em informática, onde contem comentários também sobre a formatação COMTRADE e outros assuntos, mas devido ao limite de tamanho de arquivo vale informar que muitos dados e gráficos citados foram suprimidos, o que de certa forma poderá ser enriquecido na apresentação uma vez que se tratam de figuras.

Outro aspecto importante é que se pode determinar se ao fechar, a seccionadora completou o curso plenamente, ou seja, se cumpriu todos os requisitos para garantir uma boa condução nos contatos agora fechados. Este ponto tem sido um gargalo para o telecontrole e a automação das subestações (SE's) que necessitam supervisão local. O fechamento incorreto de chaves causa um aquecimento que diminui sua vida útil. Em casos mais graves pode levar ao total derretimento de suas partes condutoras e conseqüente desligamento do sistema. Uma chave seccionadora de subestação pode estar operando em tensões de 500 kV e correntes de 3.000 Amper. A resistência elétrica ideal de fechamento destas chaves gira em torno de 150  $\mu\Omega$  o que em si já gera uma potência de até 1,35 KW para uma corrente de 3000 A. No caso de um mau fechamento desta chave a resistência cresce causando aquecimento excessivo nos contactos podendo derreter e destruir a chave. O método convencional de monitorar o fechamento completo da chave é através do seu eixo utilizando excêntricos e microchaves. Hoje para que as subestações pudessem ser telecomandadas, utiliza-se um sensor ótico instalado no braço da seccionadora e outro num ponto fixo estratégico, mas que já apresentou alguns problemas tais como a "incidência do sol neles pode atrapalhar sua operação" [17].

## 2.0 MATERIAL E MÉTODOS

Existem várias técnicas que poderiam ser utilizadas para as análises, mas neste trabalho, comentam-se apenas duas; na primeira, a que será a utilizada aqui, coleta-se a corrente elétrica do motor e traça-se um gráfico do seu valor eficaz versus o tempo. Este por sua vez se tornará um padrão para as demais verificações (assinatura). Quando o valor da corrente tiver variações representativas em relação à curva original, supõe-se de possíveis pontos de agarramento com tendências de desajustes e sinalizando ocorrência de defeito. O acompanhamento desta variação é que vai demonstrar a mudança de comportamento da chave seccionadora e dar ao técnico de manutenção condições de determinar quando esta deverá passar por uma manutenção. Neste caso, cada seccionadora terá a sua assinatura específica, muito embora temos observado que equipamentos similares têm apresentado curvas parecidas, ou seja, para cada conjunto de chaves de mesmo modelo e fabricante, poder-se-á considerar uma curva padrão.

Um outro fator que poderia causar a variação da corrente neste sistema, seria uma queda de tensão, e uma queda na corrente. Todavia, a queda da corrente reduz o torque, que, por sua vez, aumenta o escorregamento. Em conseqüência disso as correntes do secundário (considerando rotor gaiola) aumentarão pela maior capacidade indutiva causada pelo maior escorregamento. Finalmente, a corrente secundária reflete-se no primário aumentando a corrente drenada da rede; um exemplo prático para observação é quando se deveria ligar um motor em delta, porém se liga em estrela. O motor irá aquecer muito quando assumir uma carga, pois, apesar de a corrente com o motor em vazio ser mais baixa, quando o mesmo é submetido à carga ocorre o descrito na sentença anterior. Pode ocorrer que a corrente medida seja um pouco diferente da nominal, só que a corrente observada na linha está em apenas uma bobina e não em duas como na ligação delta. Este é um exemplo de grande redução da tensão, mas que serve para ilustrar outras situações. Em geral, pequenas reduções de tensão em acionamentos convencionais não apresentam grandes problemas práticos, e como este é o caso, pequenas variações de tensão provocam muito pouca distorção na corrente [11] e mesmo que provocasse, esta poderia ser considerada linear, e para efeito de análises, não teríamos grandes interferências.

Na segunda técnica, faz-se uma análise de freqüência da corrente do motor de um dispositivo funcionando perfeitamente, com isto tem-se um padrão, depois é só comparar o espectro de freqüências de um determinado dispositivo com este padrão. Este segundo método, já é utilizado [12] e [13] para verificação de defeitos no motor, pois no caso do motor, o defeito seria repetitivo, provocando assim um conjunto de pulsos numa determinada freqüência fixa, aumentando assim conteúdo espectral nestas freqüências. Nesta segunda técnica, nossa resposta talvez seja um pouco mais investigativa, pois o equipamento em estudo não apresenta movimentos repetitivos no seu todo, embora algumas partes tais como cremalheiras e outras engrenagens possam ser verificadas neste caso. Podemos observar que já existe uma patente americana [12], que trata este assunto para uma válvula de gaveta.

Para coletar os dados a serem analisados, tornou-se necessário buscar um sistema eletrônico de coleta. O sistema necessitava de determinada precisão, pois face à grande redução existente entre o motor da seccionadora e o seu mecanismo, as variações de corrente relativas às variações de torque são pequenas, além do que o ambiente de trabalho é muito ruidoso (interferências de 60Hz e harmônicos). Nos primeiros estudos, foi utilizado um equipamento da Eletrosul, fabricado pela YOKE, mas de altíssimo custo (em torno de R\$300.000,00). Devido a este elevado custo, decidiu-se por desenvolver algo que fosse específico para o caso, o que trouxe uma grande vantagem, primeira quanto ao custo e depois porque foi possível projetá-lo de acordo com as necessidades específicas do projeto.

Passa-se a seguir no próximo item a tratar da metodologia aplicada bem como dos desenvolvimentos que foram necessários durante os estudos.

### 2.1 Algoritmos de processamento digital e análise

O protótipo desenvolvido deveria ser portátil de fácil manejo, de baixo custo e com alta resolução. Desta forma, optou-se pela criação de um hardware dedicado, responsável pela coleta, pré-processamento e digitalização da corrente elétrica do motor de acionamento da chave seccionadora. Este dispositivo poderá ser alimentado tanto por uma bateria 9V, como por uma fonte alternativa como citado anteriormente, e é controlado pela porta serial de um microcomputador. O sistema possibilita a pré-visualização da forma de onda da corrente aquisitada. Ao mesmo tempo, armazena o sinal digitalizado em um arquivo cujo nome é especificado pelo operador. Desenvolveu-se para isso um programa baseado no algoritmo de leitura bit-a-bit apresentado na folha de dados do MAX187. Restava, porém um problema relacionado com a precisão temporal durante a aquisição da corrente elétrica do motor.

Eis a questão: O microcomputador disponível funciona baseado em um microprocessador 80586. De modo geral, os microprocessadores da família 80X86, independentemente da sua freqüência de clock, interrompem a operação da CPU para a execução de rotinas externas apenas 18,2 vezes por segundo, ou uma vez a cada 55ms. Entretanto, para que a análise possuísse a precisão necessária, era necessária uma resolução temporal de pelo menos 0,5 ms.

Neste caso, a solução adotada foi: Os circuitos de temporização da família 80X86 são regidos por um oscilador de cristal com frequência de 1,193180 MHz. Cada pulso deste oscilador subtrai uma unidade do valor presente em um registrador de 16 bits denominado divisor e, em seguida, testa se o valor resultante é nulo ou não. Caso seja nulo ocorre a interrupção da CPU e o divisor armazena de novo seu valor inicial.

Em condições normais, o valor inicial armazenado no divisor é 0. Como este valor é decrementado antes de ser lido, a interrupção devida a um valor nulo é lançada a cada 216 (65.536) ciclos do oscilador de 1,193180 MHz. Em outras palavras, ocorrem  $1.193.180/65.536 = 18,2$  interrupções por segundo. Simplificadamente falando, a resolução temporal de 0,5ms é obtida alterando-se o valor do divisor para 596 (0X254 em hexadecimal).

Foi desenvolvido então um fluxograma do programa de aquisição desenvolvido nas linguagens C e Assembly. O sinal é amostrado a uma taxa de 2000 amostras por segundo. Esta frequência de amostragem é obtida coletando-se o valor da corrente a cada ciclo de 0,5 ms.

O período de amostragem é implementado através de rotina independente da plataforma, desenvolvida especialmente para garantir amostras do sinal de entrada entre períodos de 0,5 ms. Esta rotina é responsável pela geração dos disparos de início de conversão do circuito integrado MAX187, através do pino 7 (CS). Após o término da conversão, o CI MAX187 coloca o pino 6 (DOUT) em nível lógico 1, indicando o fim da conversão. Após então, inicia-se a transferência da palavra de 12 bits (começando pelo MSB – Most Significant Bit). A transferência de cada bit é sincronizada pelo sinal de clock presente no pino 8 (SCLK). Conforme dito anteriormente, as rotinas de transmissão/recepção via porta serial do microcomputador não são utilizadas.

## 2.2 Tratamento dos dados adquiridos

Os sinais adquiridos, precisam ser convertidos na formatação da norma IEEE C37.111-1991 de dados chamada de COMTRADE [10], a qual permite trabalhar com os números de maneira mais ágil, bem como dá ao sistema uma lógica universal. Para tal conversão, é necessário converter os números da formatação serial RS232 adquiridos em ASCII para tipo arquivo texto (\*.txt), e somente depois realizar a conversão dos mesmos em COMTRADE. O fato do conversor A/D não admitir números negativos leva a executar uma somatória de um sinal DC o qual chamamos de “Level Shift” e que agora precisa ser descontado; esta operação é executada via software antes de calcular o valor eficaz do sinal. Para tal, desenvolveu-se um programa em Delphi que executa estas operações. Nos laboratórios da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), foi desenvolvido um software em MATLAB, porém devido à Eletrosul não possuir licença para este software, fica-se impedido de usá-lo.

## 3.0 RESULTADOS

Após montar o protótipo e realizar alguns testes com sinais a partir de um gerador de sinais em laboratório para teste em bancada, coletaram-se em campo dados reais de abertura e fechamento de chaves seccionadoras. A seguir podem ser observados os resultados obtidos, bem como suas análises.

### 3.1 Testes realizados no campo

#### 3.1.1 Seccionadora de 230kV modelo spig da subestação de Palhoça

Foi o primeiro teste real de funcionamento do sistema no campo, exposto às interferências possíveis. O sistema funcionou como esperado, as interferências foram poucas e pode-se observar uma constância nas formas de onda de corrente elétrica do motor das chaves seccionadoras inspeccionadas. Foi desenvolvido o seguinte trabalho de coleta de dados: Primeiro mediu-se a corrente do motor durante o fechamento e a abertura da chave seccionadora que embora, aparentemente, não apresentava nenhum problema, mas deveria passar por manutenção tipo “12 anos”. Neste tipo de manutenção, a seccionadora é substituída por outra idêntica revisada em oficina eletromecânica, ficando apenas a base, também denominada de “revisão completa”. Após a manutenção realizou-se uma nova medição durante um comando de fechamento e abertura, para comparação com os dados obtidos antes da manutenção. Os resultados são mostrados na Figura 1

Observou-se que embora tenha sido trocada a seccionadora (manutenção tipo “12 anos”), o gráfico apresentou as mesmas características, o que denota que existe uma curva característica para este modelo de seccionadora. Outro aspecto a observar é que a seccionadora ficou consideravelmente mais leve após a manutenção, pois os valores de corrente eficaz nos pontos máximos e mínimos diminuíram em aproximadamente 200mA em média. Ao se colocar os valores num mesmo gráfico, Figura 1, este fato se torna visual, pois a nova curva fica literalmente abaixo da outra, o que mostra uma queda do torque médio. É interessante observar que embora os valores de torques durante quase todo o percurso da chave após manutenciada diminuíram, o torque exatamente no momento de engate nos contatos também reduziu, porém em menor escala de proporção, do que nos outros momentos, ou seja, observa-se um bom engate no contato. Além disto, o formato do gráfico no ponto de fechamento dos contatos é o mesmo nas duas curvas, mostrando que o engate no contato foi igual e que poderemos neste caso determinar em situações futuras se a chave seccionadora completou seu curso corretamente, e inclusive se fechou corretamente com detalhes do tipo “temos boa pressão nos contatos?” O que visualmente não se pode observar, mas na Figura 1 vê-se claramente que a redução do valor da corrente não foi proporcional, ou seja, manteve-se uma determinada pressão nos contatos.

Colocando os dois gráficos sobrepostos, teremos mais condições de analisar os mesmos comparativamente, é o que foi feito na Figura 1, e neste caso pode-se observar uma igualdade muito grande nas características das mesmas, porém uma bem abaixo da outra.

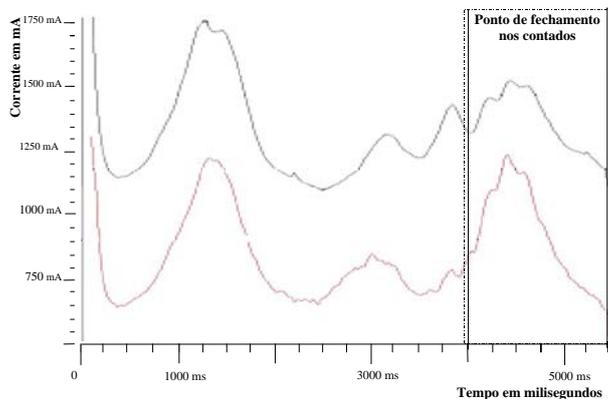


FIGURA 1 – Curva torque da CS SPIG antes(preto) e após(vermelho) manutenção

### 3.1.2 Verificação durante ajuste de chave seccionadora

Com o objetivo de verificar a capacidade de percepção do sistema de um defeito, foi realizada uma leitura durante a manutenção (ajustes) de uma seccionadora de outro modelo, e verificou-se que durante seu fechamento, antes dos ajustes finais, a mesma estava desajustada no momento do fechamento dos contatos. Observou-se através da forma de onda que era possível determinar um agarramento no final do seu curso, ponto exato em que a mesma engata no contato. A chave seccionadora foi ajustada de forma a não mais forçar os contatos, pois o fim de curso estava levemente desajustado e reduziu significativamente o desgaste no contato.

### 3.1.3 Ajuste CS 733 LAELC da se JOI 230 kV

A referida chave foi montada, porém apresentou alguns desajustes. Neste trabalho teve-se o acompanhamento do técnico especialista do fabricante para confirmação dos pontos de ajustes. Foram realizadas algumas medições e análises antes de realizar os ajustes, já sabendo dos defeitos (a chave estava desajustada), pois os mesmos eram visuais. Realizou-se mais de uma medida de cada caso e pode-se observar a constância dos dados. Nos gráficos obtidos pode se observar que ainda havia problema no ajuste fato este que mostra a constância dos dados, e por isto, na maioria das vezes foi executado desta forma.

Com o auxílio do técnico especialista do fabricante, executaram-se todos os ajustes necessários. Após os mesmos, o fechamento visualmente “in loco” parecia correto, as três fases estavam da mesma forma. Porém pelos gráficos, pode-se observar como o método aplicado auxiliou nos ajustes finais quando já visualmente não mais se observava qualquer defeito. Vide Figura 3.

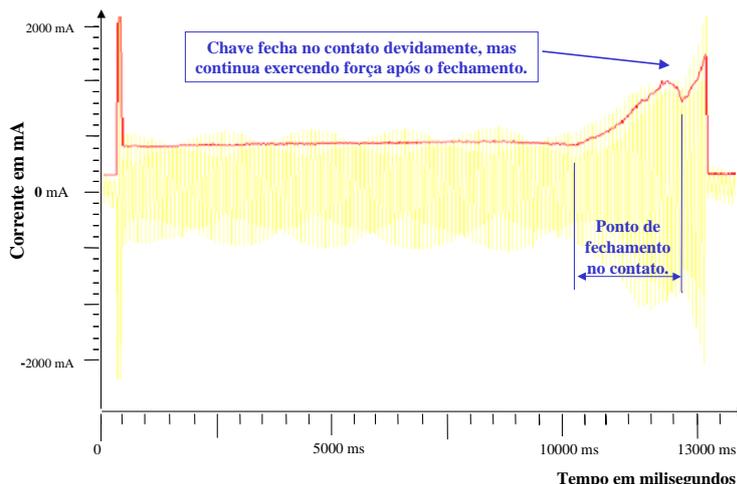


FIGURA 3 – Gráfico do primeiro comando da CS 671 após os ajustes iniciais.

Observa-se que a chave fecha normalmente nos contatos, mas após engatar, continua forçando nos mesmos por um pequeno período de tempo. Foi então atuado no micro switch elétrico de fechamento promovendo o desligamento do motor num prazo de tempo menor (um pouco antes do ajustado), e observa-se a seguir pelo gráfico do comando final que realmente o micro estava desajustado.

Este fato evidencia a importância do método proposto neste trabalho que possibilita a análise gráfica, bem como a fidelidade do mesmo. Mesmo não possuindo uma primeira curva desta seccionadora, e muito menos de outra do mesmo modelo, o método já ajudou na solução de problemas até então não detectados.

É importante esta constatação, pois a cada comando poderia ser inserido um pequeno desajuste, o que com o passar do tempo, poderia apresentar um problema maior, além de um desgaste excessivo do motor.

#### 3.1.4 Verificação do estado das chaves seccionadoras CS673 138kV

Foram realizados vários comandos de abertura e fechamento nas chaves seccionadoras e utilizado o método que aqui já denominamos de ASCM (Análise da Seccionadora pela Corrente do Motor) para análise durante os testes da CS 673, o primeiro comando elétrico, a mesma desligou no meio do curso indevidamente. Surgiu então a dúvida se o problema era proveniente de defeito de intertravamento elétrico ou algum travamento mecânico. Observa-se então pela análise dos gráficos da Figura 4 que a falha se deu após um aumento significativo da corrente do motor:

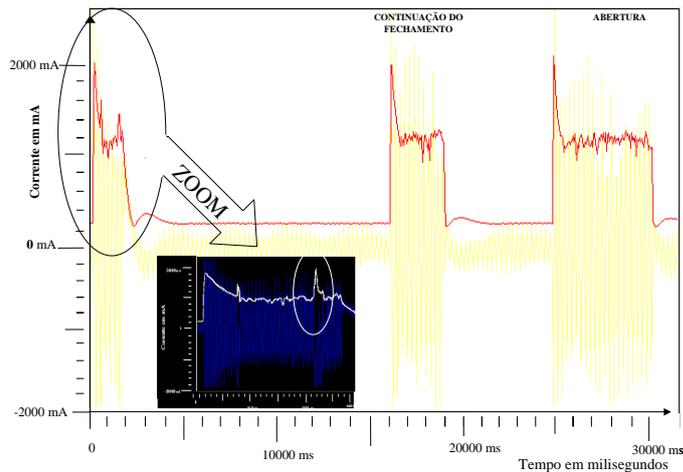


FIGURA 4 – Gráfico do primeiro comando na CS673 SE JOI.

Pode-se observar que na parada no meio do curso de fechamento houve um aumento de corrente significativo, maior até mesmo que a corrente de partida.

OBS: A coleta dos dados foi na entrada da alimentação geral e pode estar coletando também o consumo dos relés quando atacam. Observe que ao final de cada comando existe uma pequena curva que são referentes ao consumo dos relés realizando as comutações finais. Chega-se então aos possíveis defeitos:

- Poderia ter ocorrido um pequeno travamento das engrenagens internas dos redutores, pois a presença de pó e principalmente de insetos mortos nas engrenagens era considerável.
- Poderia também ter ocorrido uma queda de tensão que viesse a provocar este desligamento devido à perda do contato de selo elétrico do relé, e durante esta queda de tensão, teríamos um aumento significativo de corrente sem atuação do relé térmico, mas aqui ficam os seguintes questionamentos:
  - a) Que queda de tensão poderia ocorrer a ponto de desenergizar um relé e aumentar tanto a corrente do motor?
  - b) Como poderíamos ter este fato numa subestação, onde podemos afirmar que temos uma barra infinita?
  - c) Porque não foi necessário executar o reset do relé térmico do motor?

Estes questionamentos levaram a uma análise do esquema elétrico. Ao analisar o esquema elétrico, verificou-se a existência de um relé chamado “UVR” (relé de subtensão) que atua desligando o sistema por subtensão, e aí neste caso não necessita de reset, onde concluiu-se que foi o ocorrido, ou seja, a sujeira observada nas engrenagens provocaram algum travamento mecânico, causando um aumento instantâneo e significativo da corrente elétrica do motor como observa-se no detalhe do gráfico da Figura 4, causando um afundamento da tensão, percebida pelo relé UVR, que desligou o motor. Após limpeza, a CS-673 opera normalmente

Concluindo, observa-se que após a falha e limpeza, todos os comandos foram aceitos normalmente e os dados então parecem normais, indicando um bom estado da chave.

Foi então proposto prorrogar a manutenção desta chave por mais 2 anos, e que é imprescindível modificar a caixa do comando de forma a impedir entrada de pó e objetos estranhos diretamente nas engrenagens engraxadas.

#### 3.1.5 Verificação do estado da chave seccionadora CS671 138kV

Foram executados alguns comandos de abertura e fechamento nesta chave seccionadora e percebe-se um agarramento durante todo o percurso, pois a análise gráfica pelo método ASCM nos mostra que as curvas embora sejam parecidas com as da chave 673, possuem valores muito acima. Neste gráfico observou-se claramente que existia um agarramento em um dos mancais principais, pois todo o conjunto possuía uma corrente muito elevada,

quando comparada com a CS 673. A CS673 trabalha entre 1200 e 1250 mA, já esta trabalha entre 1800 e 2000mA.

Desacoplou-se a chave e executou-se nova medida a fim de verificar se o agarramento estava na chave propriamente dita ou na caixa de comando e redução. E conforme o gráfico obtido, verificou-se que o sistema continuava pesado, o que indicava problemas na caixa de comando e redução. Pelo gráfico pode-se observar claramente que continuava um agarramento pois ainda possuía uma corrente muito elevada, quando comparada com a CS 673. Concluiu-se então que a chave 671 estava com o comando pesado demais e a caixa de comando deveria ser substituída., não necessitando uma manutenção em toda a chave. Uma vez substituída a caixa de comando, foi proposto prorrogar a manutenção preventiva desta chave por mais 2 anos.

Verificou-se mais uma vez que o método ASCM mais uma vez auxiliou na descoberta de defeito não perceptível a olho nu no caso da CS673.

### 3.1.6 Verificação do estado da chave seccionadora CS731 230kV

Executou-se um comando de abertura nesta chave que parecia operar normalmente, porém a partir da análise da Figura 5, observa-se que existe uma sobrecarga excessiva no final deste comando. No campo (in loco), observou-se que embora o fim de curso abrisse normalmente, o contactor de comando de abertura continuava atracado. Após pequena busca, verificou-se que o contactor estava com um remanescente de magnetismo que o mantinha atracado mesmo depois de retirada de tensão em sua bobina. Foi trocado o mesmo, e a chave passa então a operar normalmente. Este tipo de defeito apenas foi observado após a análise do gráfico obtido de comando à distância da mesma.

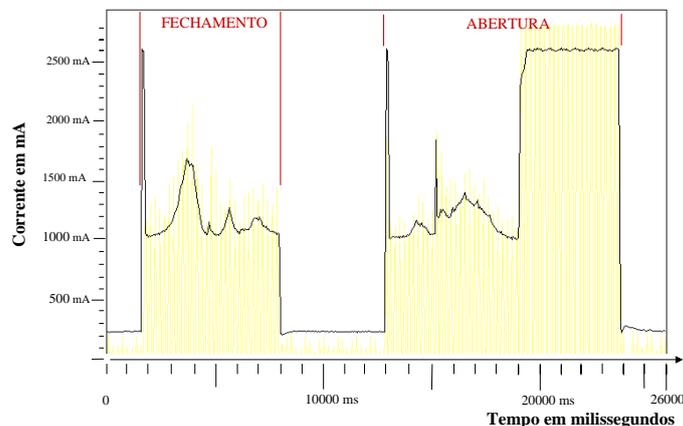


FIGURA 5 - Gráfico do comando de fechamento seguido de abertura da CS731 SE Palhoça.

Pelos novos dados gráficos obtidos já podemos observar que o comando passa a ser normal. Vale lembrar que este tipo de defeito seria normalmente observado à distância, caso tivéssemos este sistema interligado numa rede, além de que, caso não fosse identificado este defeito, com certeza o tempo de remanescência do contactor iria aumentar gradativamente e conseqüentemente provocar o desarme do relé térmico, ou até mesmo a queima do motor.

## 4.0 DISCUSSÕES

O sistema desenvolvido neste trabalho poderá ser usado nas manutenções de chaves seccionadoras das subestações de energia elétrica, pois o mesmo mostrou que em sua simplicidade, traz benefícios importantes.

A metodologia inicial “análise da assinatura do valor eficaz”, mostra uma simplicidade muito grande na análise, o que permite que qualquer técnico possa usar estas ferramentas, e este foi o motivo da insistência nesta metodologia a qual foi aqui denominada de “Assinatura da Corrente Elétrica do motor de acionamento”.

Muitas vezes foi possível observar que o defeito seria normalmente constatado à distância, caso este sistema fosse interligado numa rede, além de que alguns defeitos identificados utilizando a técnica de “Análise da Assinatura da Corrente Elétrica do motor de Acionamento” com certeza demorariam a serem evidenciados a partir dos procedimentos convencionais usados atualmente, e com o passar do tempo poderia aumentar gradativamente e conseqüentemente provocar uma falha mais grave.

Verificou-se também que em vários casos, o processo permitiu atacar apenas no ponto defeituoso, diminuindo o tempo de manutenção e aumentando o intervalo da manutenção preventiva; em alguns casos a manutenção preventiva da referida chave foi prorrogada em dois anos. Entende-se que com os resultados aqui obtidos, a manutenção preventiva no caso de chaves seccionadoras, poderia ser repensada.

O fato de usar a corrente elétrica do motor e não sua potência, por exemplo, permitiu uma percepção maior das ocorrências, pois quando ocorre uma variação de torque, tem-se a necessidade de variação de potência, mas esta

fica limitada à capacidade do sistema em fornecer a mesma, ou seja o aumento da corrente elétrica pode promover uma queda de tensão no sistema, neste caso, a variação de potência seria de certa forma muito pequena, e poderia ser disfarçada nos levando a pensar que fosse um simples peso mecânico característico daquele equipamento naquele ponto. Entretanto, na análise a partir da corrente elétrica do motor de acionamento, consegue-se observar o fato real com precisão.

Outro ponto importante são os tempos de amostragem, o sistema proposto trabalha com 2000Hz, ou seja, uma leitura a cada 0,5ms. Assim, a frequência escolhida permite observar com precisão qualquer variação brusca de corrente, dando condições de se analisar os fatos como ilustrados nos testes realizados, apresentados no Capítulo 3.

A alta taxa de amostragem associada à precisão da leitura necessária obrigou a desenvolver um sistema de coleta de dados, pois os disponíveis no mercado eram de custo elevado. Com o desenvolvimento do sistema de instrumentação podem-se observar as necessidades de cada ponto do sistema e assim desenvolver um sistema praticamente dedicado, com possibilidade de expansão para outras finalidades tais como (e.g., análises de outros equipamentos tais como comutadores de taps de transformadores, disjuntores, correias transportadoras, e outros equipamentos acionados por motores elétricos), ao contrário do que aconteceria caso tivesse sido adquirido um sistema comercial.

Como sugestão seria interessante que a metodologia e o formato COMTRADE hoje normalizado apenas na IEEE, fosse investigado para normalização também em nossas normas brasileiras.

## 5.0 CONCLUSÕES

- As chaves seccionadoras possuem características (variação de torque mecânico em função do ponto em que se encontra) próximas, quando se tratam de um mesmo modelo.
- A análise de variação de torque em motores elétricos se mostra mais sensível (pequenas variações são mais evidentes), quando se analisa a variação a corrente elétrica ao invés da potência elétrica consumida por este motor.
- A frequência de amostragem e as resoluções necessárias para as análises, são fatores muito importantes quando se pensa em realizar testes comparativos, pois as variações neste caso, devido à grande redução mecânica são extremamente pequenas mas podem ser bruscas.
- A metodologia implementada neste trabalho permite obter informações importantes relacionadas à operação de chaves seccionadoras de alta tensão, as quais podem, utilizando técnicas de processamento digital de sinais mais sofisticadas (e.g. análise espectral), associadas a técnicas de inteligência artificial, fornecer o ponto exato do defeito.

## 6.0 TRABALHOS FUTUROS

- Após estas análises, todos os dados coletados poderão ser utilizados para estudar e desenvolver outros métodos de análise como a análise no domínio de frequência.
- Este método e esta ferramenta desenvolvida poderão ser expandidos para análises de outros equipamentos tais como comutadores de taps de transformadores, disjuntores, correias transportadoras, e outros equipamentos acionados por motores elétricos.
- Desenvolver metodologias baseadas em técnicas de inteligência artificial para a análise automática dos tipos e localização dos defeitos.
- Monitoração remota do estado bem como da operação da chave seccionadora.

## 7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ONS e ELETROSUL - CPST Contrato De Prestação De Serviços De Transmissão nº 011/99. Contrato celebrado entre ONS e ELETROSUL. Brasília 31 de Agosto de 1999. 26p.
- (2) ONS - *Procedimento de Rede*. Disponível em <http://www.ons.org.br/ons/procedimentos/index.htm> (24/11/2002). Acompanhamento da manutenção – submódulo 16.1 0 - (Março 2002).
- (3) ELETROSUL - *Apostila do Curso de Disjuntores e Seccionadores De Furnas*. Apostilas internas da Eletrosul. (Jan/ 1985).
- (4) ELETROSUL - *Apostila do Curso de Subestações da Eletrosul*. Apostilas internas da Eletrosul. (Set/1983).
- (5) MANUAL DE INSTRUÇÕES DE FABRICANTES. (Brush Power, Harvey Hubbel, Spig, Iafa, Aeg-Telefunken, Alcace, Asea, Brown Boveri, Camargo Correa, Ceme, Delle Alsthom, Galileo, Gould, Harvey Hubbell, Laelc-Inducon Ind & Com, Line, Lorenzetti, Marini & Daminelli)
- (6) INSTRUÇÃO DE MANUTENÇÃO – *Chaves Seccionadoras ≤ 69kV – II/CS/001*. Normas internas da Eletrosul. (Fev/1981).
- (7) INSTRUÇÃO DE MANUTENÇÃO – *Chaves Seccionadoras ≥ 69kV – II/CS/002*. Normas internas da Eletrosul. (Out/1985).
- (8) ABNT - NBR 6935 –10. *Secionador, chaves de terra e aterramento rápido*. (JAN/1985).
- (9) REASON SISREP – *Software desenvolvido pela Reason*. Disponível em <http://www.reason.com.br/produtos/sisrep.htm>,

- (10) IEEE - *Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems* – IEEE C37.111-1991 Normas para armazenamento de dados em sistemas elétricos. (1991)
- (11) BARBI, Ivo - *Teoria Fundamental do Motor de Indução* – Editora da UFSC, ELETROBRÁS. Florianópolis (1985), 234p.
- (12) FUPAI - Márcio Tadeu de Almeida (Escola Federal de Engenharia de Itaju) *Apostila curso Análise de Vibração na Manutenção Preditiva de Motores Elétricos* (Julho/2001).
- (13) HAWARD, D.Haynes Kiongston and EISSEMBERG, David M. and RIDGE Oak, both of team. - *Motor Current Signature Analysis Method For Diagnosing Motor Operated Devices* United States Patent [19]. (1988)
- (14) ALSTOM – *Catálogo de serviços*. Disponível em <http://www.technology.alstom.com/en/programmes/system.htm> com o sistema de análise de estado de chave seccionadoras.
- (15) MARQUES, Jefferson Luiz Brum, PhD (IEB/UFSC) & BRAZ, Gustavo Prado - APOSTILA EEL7300 – *Eletrônica Aplicada Conteúdos Para A Prática*. EE (IEB/UFSC), (Florianópolis, Set 2002) - 134 pag..
- (16) SPURLING, Kerry and ELKIN, Poul - *Automation Simplifies Substation Operations* da revista. “Transmission & Distribution World (June 1999)”.
- (17) ELETROSUL - *Trabalho interno executado pela Eletrosul no telecontrole das subestações* . Apostilas internas da Eletrosul. (Jan/1998).
- (18) SMITH, Steven W. - *The Scientist And Engineer's Guide To Digital Signal Processing* Site (www.DSPguide.com) (2002)
- (19) OPPNHEIM, Alan V. and WILLSKY, Alan S. With YOUNG, Yan T. - *Signals And Systems*.
- (20) JOÃO Bosco Macino de Oliveira et al Kunsch ANÁLISE MAGNÉTICA DE MOTORES C.A. (ESPECTRO DE CORRENTE)
- (21) Haynes et al., *Motor Método de Análise de Assinatura Atual por Diagnosticar Motor Operado Dispositivos*, Estados Unidos Patente Número 4,965,513.
- (22) Apostila do curso MÁQUINAS ELETRICAS - 1171 A 2o. Semestre 2002 - Prof. Dr. Paulo R. de Aguiar – Engenharia Elétrica da UNESP.