

Sistema de Gerenciamento de Comandos da Teleproteção para Avaliar a Condição dos Equipamentos

F. Crispino, L. Ogiboski, L. A. Murakami e L. C. Magrini

Resumo—Este trabalho apresenta uma metodologia para avaliação do sistema de teleproteção com aplicação de técnicas de controle estatístico de processos. O sistema desenvolvido foi instalado em uma linha de transmissão na CTEEP, onde foi implementado um sistema de aquisição de informações de relés de proteção e equipamentos de teleproteção. As informações são coletadas automaticamente, sincronizadas por GPS e armazenadas em uma base de dados. O objetivo do sistema é obter informações para serem processadas por meio de técnicas de controle estatístico de processos para avaliar a atuação e condições do sistema de teleproteção, auxiliando o gerenciamento da manutenção da teleproteção.

Palavras-chave -- OPLAT, Proteção de Sistemas de Potência, Manutenção Preditiva, Linhas de Transmissão.

I - Introdução

Teleproteção pode ser caracterizada como a transmissão de comandos entre equipamentos de proteção localizados nas duas extremidades de uma linha de transmissão de energia, permitindo atuações rápidas e seletivas dos elementos de proteção baseados em lógicas de proteção. Considerando comandos de proteção e disjuntores, a teleproteção pode transferir, por exemplo, comandos de trip, comando de abertura ou comandos de permissivos (bloqueio/desbloqueio) de abertura/fechamento do disjuntor. Teleproteção é uma solução que tem o objetivo de combinar atuações da proteção em alta velocidade com sua seletividade necessária. Pode ser considerada também um sistema de proteção onde um terminal da linha de transmissão recebe informações de um terminal remoto sobre a ocorrência de uma falta em sua zona de operação, usando como meio de transmissão a própria linha de transmissão (power line carrier), fio piloto, micro-

ondas, satélite ou fibra ótica [1].

Os canais usados para transferir sinais de teleproteção devem operar fortes requisitos de segurança, confiabilidade e com tempos de transmissão em harmonia com o esquema de proteção [2]. A segurança do canal está baseada, principalmente, na não geração ou transferência de um sinal de trip falso. Isto significa que o canal deve ter a capacidade de filtrar interferências e ruídos quando os comandos não são efetivamente transmitidos. O nível de segurança pode ser expressado numericamente pela probabilidade de um comando falso ser gerado por um ruído de certa duração de tempo. Os requisitos de confiabilidade exigem que o canal sempre forneça um sinal de trip quando um comando é recebido. O canal também deve ter capacidade para tolerar interferências e ruídos durante a transmissão de comandos. Esta capacidade é expressa numericamente pela probabilidade de um comando transmitido ser detectado dentro de um intervalo de tempo específico. Ruídos podem interferir em um canal e causar atrasos na transmissão de um comando real ou obstruir o receptor de reconhecer um sinal de comando real. O tempo de operação de um canal de teleproteção deve ser tão curto quanto possível enquanto possa manter suas características de segurança e confiabilidade. O tempo de operação da teleproteção é o tempo gasto entre a mudança de estado de uma entrada do equipamento (transmissor) e a correspondente mudança de estado na saída do equipamento de teleproteção (receptor).

Muitos fatores podem afetar a confiabilidade do canal de comunicação de teleproteção. O canal pode ser confiável se o valor do sinal no terminal remoto está acima da sensibilidade do receptor e a relação sinal ruído (SNR) está bem acima do valor mínimo [3]. Os principais fatores que afetam a confiabilidade estão relacionados aos seguintes elementos:

- Potência de transmissão do sinal;
- Relação sinal ruído (SNR);
- Caixa de sintonia;
- Cabo coaxial;
- Bobinas de bloqueio;

□ Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL.

F. Crispino é pesquisador da FDTE – Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (e-mail: fcrispino@fdte.org.br).

L. Ogiboski é pesquisador da FDTE – Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia e doutorando na Universidade de São Paulo – Departamento de Energia e Automação Elétrica (e-mail: logiboski@usp.br).

L. A. Murakami é engenheiro de telecomunicações da CTEEP (e-mail: lmurakami@ctEEP.com.br).

L. C. Magrini é pesquisador da FDTE – Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (e-mail: magrini@fdte.org.br).

- Capacitor de acoplamento;
- Defeitos em isoladores;
- Condutores da linha de transmissão;

O projeto de um sistema OPLAT (Ondas Portadoras em Linhas de Alta Tensão) inclui, principalmente, uma bobina de bloqueio, bobina de dreno com interrupção de arco e equipamento de comunicação. Deve haver um sistema idêntico na outra extremidade da linha de transmissão. Um terminal básico de um sistema OPLAT pode ser visualizado na Fig. 1 [4].

Atualmente, os procedimentos de teste dos canais de comunicação de teleproteção na CTEEP são realizados, manualmente, a cada dois anos. Isto implica em atividades de duas equipes de manutenção posicionados nas duas extremidades da linha de transmissão. A comunicação entre as equipes é feita através de rádios ou telefones celulares, de forma a coordenar adequadamente os procedimentos de teste de cada dispositivo de teleproteção. Desse modo, qualquer suposto problema no canal de comunicação do sistema de teleproteção pode ser verificado. O trabalho exige a indisponibilidade do enlace, fato que obriga a realização dos testes em horários alternativos, possibilitando a introdução de falhas humanas na realização dos testes.

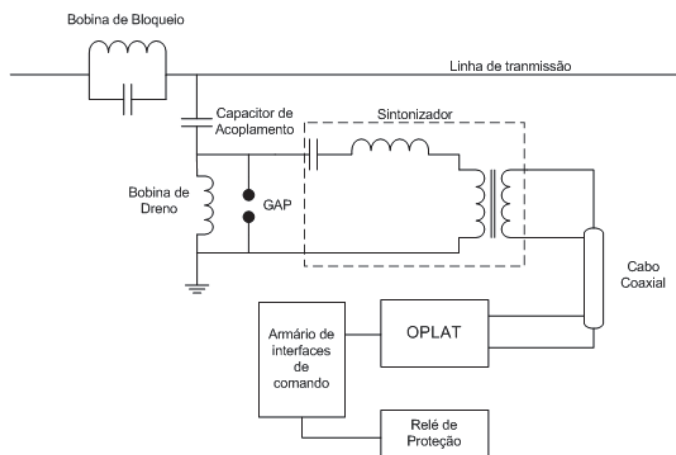


Fig. 25 - Terminal básico de um sistema OPLAT

O acoplamento dos equipamentos terminais à linha de transmissão pode ser fase-terra, fase-fase ou trifásico. O acoplamento dos equipamentos terminais à linha de transmissão pode ser fase-terra, fase-fase ou trifásico. No acoplamento fase-fase praticamente duplica-se o custo quando comparado ao acoplamento fase-terra, entretanto possui menor atenuação, maior segurança contra perdas de comunicação no sistema OPLAT e menores interferências. Acoplamentos trifásicos possuem menor atenuação e menor interferência, porém devido ao seu alto custo de implantação, só é utilizado em enlaces críticos ou em linhas extremamente longas [5].

Quando duas linhas de transmissão são paralelas é possível utilizar uma fase de cada circuito, realizando o equivalente do acoplamento fase-fase, ou ainda utilizar duas fases de cada circuito, realizando o equivalente ao acoplamento duplo fase-fase. A vantagem deste esquema é que o aterramento de uma

das linhas converte o sistema de acoplamento para o modo fase-terra [6].

Na fig. 2 é mostrado o diagrama padrão do sistema de teleproteção da CTEEP.

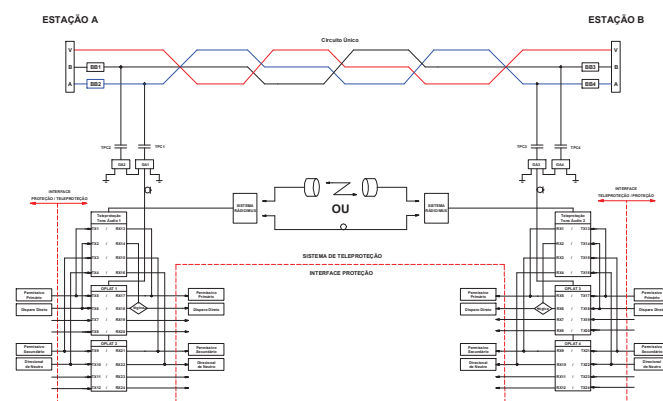


Fig. 26 - Diagrama padrão do sistema de teleproteção da CTEEP.

II - Infraestrutura de Coleta e Acesso aos Dados

A infraestrutura para a aquisição dos dados dos equipamentos de teleproteção foi integrada ao sistema existente na CTEEP para aquisição de dados da proteção, chamado de SICAR (sistema integrado de coleta automática dos registradores dos dispositivos de proteção e registradores digitais de perturbações), proporcionando assim uma base única de informações dos equipamentos de proteção e de teleproteção. O sistema foi instalado na linha de transmissão Bauru – Araraquara de 440 kV.

A - Arquitetura do sistema de aquisição dos dados de teleproteção e de proteção

Na infraestrutura de comunicação estão associados equipamentos de processamento locais (computadores industriais), denominados Concentradores Locais, que gerenciam os processos de coleta e administração de cada dispositivo. Esse sistema denominado sistema de coleta de dados da proteção (SICAR) foi replicado para os equipamentos de teleproteção.

Nos concentradores locais foram instalados os softwares de cada fabricante com seus respectivos scripts funcionais que permitem o total gerenciamento do dispositivo de teleproteção. Foram instalados em painéis independentes, conversores óptico/serial para conectar a porta serial dos equipamentos de teleproteção (ETL540 e NSD570) a um Terminal Server que é gerenciado por um Concentrador Local. Os dados obtidos dos equipamentos de teleproteção bem como os dados dos relés de proteção são tratados e armazenados em uma base de dados MySQL. A Fig. 3 apresenta a arquitetura de coleta de dados.

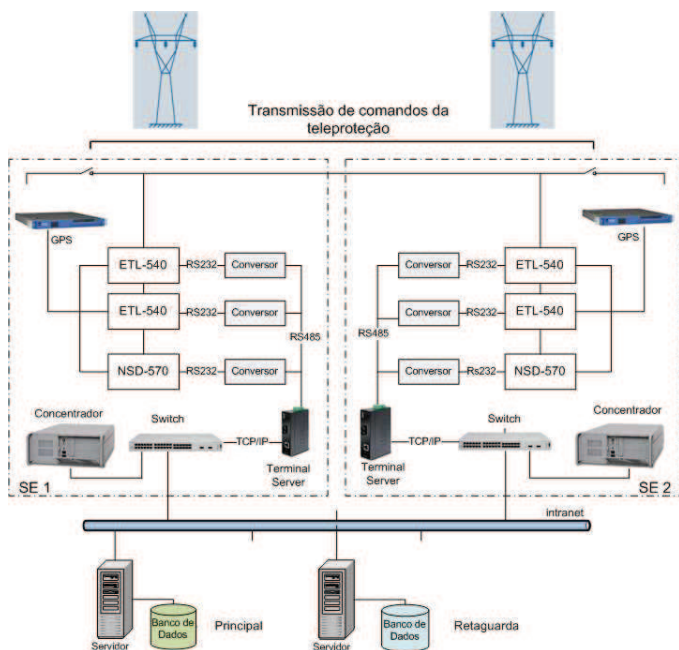


Fig. 27 – Arquitetura de coleta de dados do sistema.

B - Coleta de dados

Os dados coletados de ambos os equipamentos de proteção e teleproteção são devidamente sincronizados. As informações são coletadas em intervalos de tempos específicos e também, imediatamente, após a ocorrência de um evento de trip na proteção que gera um comando na teleproteção.

Os principais dados obtidos do sistema de teleproteção são:

- Potência do sinal de recepção do canal piloto;
- Potência do sinal de recepção (*Automatic Gain Control*);
- Relação do sinal ruído (SNR);
- Data e hora com precisão de milissegundos do envio ou recebimento de quatro tipos de comandos (21P, 50BF, 67N e 21A);
- Data e hora com precisão de milissegundos, do início e fim dos alarmes (perda de link, falha de hardware e warning).

Os principais dados obtidos dos relés de proteção são:

- Data e hora do envio da solicitação do comando ao sistema de teleproteção;
- Data e hora do desligamento da linha de transmissão;
- Tempo total entre a solicitação e o desligamento da linha de transmissão;
- Tipo de comando enviado;
- Parâmetros da linha de transmissão;
- Identificação dos equipamentos de proteção.

II - Controle estatístico de Processos

Controle Estatístico de Processos é uma aplicação de

técnicas estatísticas que são utilizadas principalmente na área de controle de qualidade. O método inclui coleta, armazenamento e interpretação de dados, além da realização de comparações e verificação de desvios. Seu objetivo é controlar o processo e a qualidade de produtos e serviço sugerindo ações para melhoramentos. Gráficos de controle, que são as ferramentas mais básicas e também as mais utilizadas, tem a função de monitorar a variabilidade e avaliar a instabilidade de um processo [7].

Qualquer processo de produção está sujeito a variações, por mais que ele pareça ser perfeito. Um produto ou serviço sempre está sujeito a variabilidade. No Controle Estatístico de Qualidade, a variabilidade tem causas aleatórias, inerentes ao processo (ou comuns) e causas especiais (ou identificáveis). Quando um processo é dito sob controle estatístico, ele opera apenas sob as causas inerentes, que são essencialmente causas inevitáveis e que raramente podem ser eliminadas. Quando o processo opera sob causas especiais (ou identificáveis) ele é dito estar fora do controle estatístico. Estas causas devem ser descobertas e corrigidas para que o processo volte ao controle.

O conhecimento sobre o processo determina o intervalo entre as amostragens e o tamanho de cada subgrupo racional amostrado. A estratégia é ter ao mesmo tempo uma alta probabilidade de detecção das causas de possíveis anomalias no processo e uma baixa probabilidade de falsos positivos, isto é, de se detectar um problema que na realidade não existe.

Além disso, a velocidade de detecção de mudanças no comportamento do processo é uma característica importantíssima, uma vez que possibilita a tomada de ações corretivas. Um conceito importante é o de ARL (*Average Run Length*), que é definido como o número médio de amostras necessárias para se detectar uma mudança ocorrida no processo, ou seja, é a quantidade de amostras necessárias para que o gráfico de controle sinalize que o processo está fora de controle.

A - Gráficos de Controle

Os gráficos de controle estatístico são recursos gráficos que através de uma amostra sequencial revelam quando um processo se altera e necessita de ação corretiva. Além disso, oferecem exposição visual dos dados que representam um processo. O foco principal do gráfico de controle é separar causas de variações identificáveis de causas de variações aleatórias. O grande objetivo do controle estatístico de processos é eliminar a variabilidade. Nesta linha, os gráficos de controle são ferramentas efetivas para redução sistemática dessa variabilidade nas características de qualidade do processo ou produto representado pelas variáveis monitoradas graficamente [8].

Os gráficos de controle também podem ser usados para estimar parâmetros de um processo e, através desta informação, determinar sua capacidade. Os estudos de capacidade de processos têm como objetivo verificar se um processo está estatisticamente sob controle e atende as especificações de engenharia. As principais finalidades da análise de capacidade são a previsão do ponto em que o

processo manterá as tolerâncias e redução da variabilidade em um processo.

Para geração dos gráficos de controle os valores de médias e desvio padrão das variáveis que representam o processo em análise devem ser calculados primeiramente.

Para a construção do gráfico de controle de Shewhart (também chamado de X-bar e gráfico de controle R) deve ser considerado que o processo tem uma distribuição normal de n amostras e assim sua média das amostras é calculada por (1).

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

Considerando um conjunto de m amostras, a estimativa de μ pode ser obtida usando (2).

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m X_j \quad (2)$$

Uma vez que o desvio padrão do processo é desconhecido, ele pode ser calculado através da amplitude de suas amostras ($R = X_{\max} - X_{\min}$). Portanto, a média das amplitudes das amostras é calculada por (3).

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m R_k \quad (3)$$

Assim, os limites de controle do gráfico de Shewhart serão (4)-(6).

$$LCL = \bar{\bar{X}} - \frac{a}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R} \quad (4)$$

$$CL = \bar{\bar{X}} \quad (5)$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} + \frac{a}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R} \quad (6)$$

O parâmetro a é medido em múltiplos de desvio padrão, cujo valor depende do valor desejado ARL. O valor da constante d_2 depende do tamanho da amostra e seus valores podem ser encontrados em tabelas estatísticas.

A principal desvantagem do gráfico de controle de Shewhart é que ele só considera a informação dada no último ponto plotado e ignora todas as informações na sequência de pontos anteriores. Assim, ele é menos eficaz na detecção de pequenas alterações no processo.

Os gráficos de controle de soma acumulada (Cumulative Sum, CUSUM) são alternativas viáveis aos gráficos de controle de Shewhart. Estes gráficos guardam informações acumuladas de toda a sequência de pontos e por isso, são mais sensíveis para detectar pequenos desvios da média de um processo com um número médio de amostras menor do que fariam os tradicionais gráficos de Shewhart. A estatística CUSUM é calculada pela equação (7).

$$C_i = \sum_{j=1}^i (X_j - \mu_0) = (X_i - \mu_0) + C_{i-1}, \quad i \geq 1 \quad (7)$$

Onde, μ_0 é o valor desejado para a média do processo, x_i é a média das amostras e C_i é a soma acumulada das amostras.

Os desvios positivos (que estão acima do alvo) são acumulados na estatística C^+ e os desvios negativos (que estão abaixo do alvo) são acumulados na estatística C^- . Estes desvios são chamados de CUSUMs unilaterais superior e CUSUMs unilaterais inferior. Eles podem ser calculado usando (8) e (9).

$$C_i^+ = \max[0, X_i - (\mu_0 + k) + C_{i+1}^+] \quad (8)$$

$$C_i^- = \max[0, (\mu_0 - k) - X_i + C_{i+1}^-] \quad (9)$$

Onde, k é a metade do desvio padrão das amostras.

A carta CUSUM não é um gráfico de controle porque não existem limites estatísticos de controle. Em geral, mudanças na média do processo são observadas por uma mudança na inclinação da carta CUSUM.

Outro tipo de carta é chamado de controle da média móvel exponencialmente ponderada (Exponentially Weighted Moving Average, EWMA). Onde foi originalmente utilizado em trabalhos de econometria. Nas cartas EWMA, as amostras são acumuladas e ponderadas exponencialmente. Isto aumenta o desempenho e velocidade na detecção da falha. A equação que define o gráfico de controle EWMA é apresentado em (10).

$$Z_i = \lambda X_i + (1 - \lambda) Z_{i-1} \quad (10)$$

Onde λ é um parâmetro (peso) que determina a relevância entre os dados mais antigos com valor $0 \leq \lambda \leq 1$, e o valor inicial é geralmente $Z_0 = \mu_0$ (média das amostras). O valor de λ é obtido através de tabelas ou gráficos, baseado no valor de ARL desejado. Por exemplo, se $\lambda = 0,2$, o peso atribuído para a última amostra é 0,2, e o peso para as amostras precedentes são 0,16, 0,128, 0,1024, e assim por diante. Para $\lambda = 1$, o EWMA se transforma em um gráfico do tipo Shewhart. Para valores de λ próximos de zero, a observação recente tem pouco peso e o gráfico se aproxima do CUSUM.

Os limites de controle para o gráfico EWMA são (11)-(13).

$$LCL = \mu_0 - L \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda[1 - (1 - \lambda)^{2i}]}{2 - \lambda}} \quad (11)$$

$$CL = \mu_0 \quad (12)$$

$$LCL = \mu_0 + L \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda[1 - (1 - \lambda)^{2i}]}{2 - \lambda}} \quad (13)$$

Onde L determina o tamanho dos limites, normalmente configurado em 3. De forma alternativa, tabelas estatísticas podem ser usadas para a sua determinação [9].

A - Construção dos Gráficos de Controle

Para a construção dos gráficos de controle de Shewhart, inicialmente foi verificada a hipótese de distribuição normal de probabilidades para todas as variáveis analisadas. Para isso

utilizou-se o método de kolmogorov-Smirnov [7].

As constantes a e d_2 , usadas para a determinação dos limites superior e inferior, foram definidas através de tabelas estatísticas como a Tabela I.

TABELA I
PARÂMETROS PARA OS CÁLCULOS DOS LIMITES DAS CARTAS DE CONTROLE ESTATÍSTICO

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d2	1,13	1,69	2,06	2,33	2,53	2,70	2,85	2,97	3,08
D4	3,27	2,57	2,28	2,11	2,00	1,92	1,86	1,82	1,78
D3	*	*	*	*	*	0,08	0,14	0,18	0,22
A2	1,88	1,19	0,80	0,69	0,55	0,51	0,43	0,41	0,36
C4	0,798	0,886	0,921	0,940	0,952	0,959	0,965	0,969	0,973
E2	2,66	1,77	1,46	1,29	1,18	1,11	1,05	1,01	0,98

Para o gráfico de controle de CUSUM, foram definidos parâmetros h e k para atingir um ARL de 370.

TABELA II
VALORES DE k E h QUE GERAM ARL = 370 SUGERIDOS PARA O ALGORITMO CUSUM

k	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5
h	8,01	4,77	3,34	2,52	1,99	1,61

De acordo com a Tabela II, os valores de k e h são calculados com confiabilidade idêntica a do gráfico de Shewhart, isto é, com probabilidade de 0,27% de produzir um erro tipo I, ou seja, a probabilidade de o gráfico apresentar um sinal de alarme sem que a média tenha se alterado.

Os parâmetros adotados para a construção dos gráficos de controle EWMA foram $L = 3,0$ e $\lambda = 0,10$.

Os gráficos foram construídos para controles diários, com médias de 5 horas, controles semanais, com médias de 10 horas e controles mensais, com médias de 24 horas.

III - Resultados

O principal objetivo do controle estatístico de processos (SPC) é detectar, o mais cedo possível, a presença de causas de variações que afetam a qualidade de um processo. Isso é feito por meio do monitoramento do comportamento estatístico de suas principais variáveis. Os ajustes dos parâmetros das cartas de controle estatístico são etapas importantes para a construção das cartas de controle estatístico. A estimativa do número de falsos alarmes detectados pelas cartas de controle estatístico é função dos valores dos parâmetros.

Os dados dos equipamentos de teleproteção e proteção, coletados automaticamente e armazenados em uma base de dados, foram analisados para determinar a sua variabilidade que, por sua vez, determinam os limites das cartas de controle estatístico.

Por meio de uma interface web, os usuários podem gerenciar os equipamentos de teleproteção, alterar os seus parâmetros de controle e visualizar as cartas de controle estatístico.

Com relação ao gerenciamento dos equipamentos de teleproteção, os usuários podem verificar as configurações e analisar alarmes gerados dos equipamentos de teleproteção,

bem como analisar os dados de um evento em particular dos equipamentos de proteção.

Na interface de análise das cartas de controle estatístico, os usuários podem verificar e observar a evolução dos sinais monitorados e obter um conjunto de informações relativas ao estado do sistema de teleproteção.

O aplicativo desenvolvido permite analisar as cartas de controle para a relação sinal ruído (SNR), tempo de transmissão e potencia de transmissão. Para esses sinais foram comparados os gráficos de controle de X-bar, Amplitude, CUSUM e EWMA.

Nas figuras 4, 5 e 6 são mostradas as cartas de controle Xbarra, Amplitude e EWMA para a relação sinal ruído (SNR).

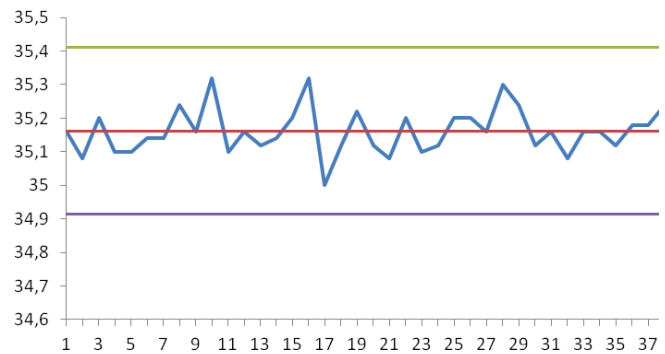


Fig. 28 – Gráfico de controle XBarra para a relação sinal ruído (SNR)

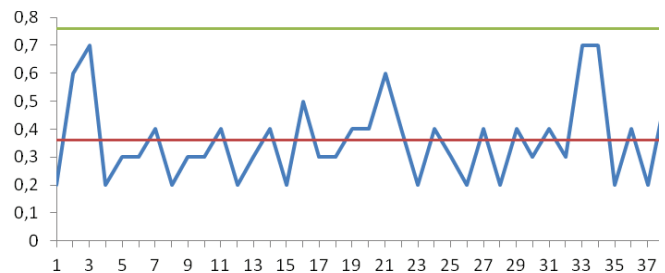


Fig. 29 - Gráfico de controle de amplitudes para a relação sinal ruído (SNR)

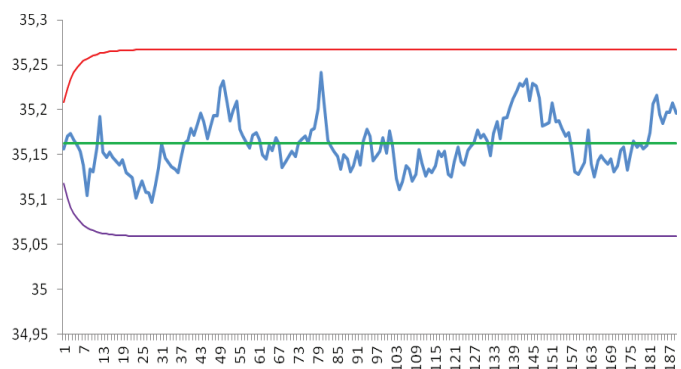


Fig. 30 - Gráfico EWMA para a relação sinal ruído (SNR)

Para as cartas de controle de Shewhart, a avaliação da estabilidade do processo pode assumir mais de uma regra de decisão. A ocorrência de um valor além do limite de controle

no gráfico X-bar é caracterizado como não estável, mas é auxiliado por uma série de procedimentos e regras para determinar se o processo está sob controle. Entre as mais importantes regras está o teste denominado de Teste de Sequência, (*runs tests*), onde o padrão formado pelos pontos grafados determina se o processo está sob controle.

Para o gráfico de controle EWMA, os limites superior e inferior determinam a estabilidade do processo em análise.

Os limites de engenharia para os sinais avaliados estão muito acima dos limites definidos nas cartas de controle estatístico, obtendo assim um alto índice de capacidade.

Os receptores de um sistema de teleproteção são projetados com margem suficiente para continuar operando corretamente mesmo sob grandes quedas no nível de sinal e aumentos substanciais no nível de ruídos. Além disso, a atenuação causada por faltas na linha deve ser superado por alguns canais que são necessários para operar durante condições de falta [5].

Entretanto, a interpretação e análise das cartas de controle estatístico de processos podem identificar padrões. O resultado pode indicar problemas no sistema de teleproteção, mesmo se os níveis não indiquem comprometimento da confiabilidade do sistema.

Esses problemas podem ser devido a, por exemplo, um isolador trincado ou um cabo desfiado. Nesta condição o sistema sinaliza a necessidade de verificação do sistema de teleproteção. A eliminação do problema fará a carta de controle retornar a seus valores normais. Caso esses problemas não possam ser eliminados, as cartas de controle devem ser ajustadas para os novos valores.

IV - Conclusões

Este artigo apresentou o desenvolvimento de um sistema, baseado em técnicas de controle estatístico de processos, para auxiliar na avaliação das condições operacionais de um sistema de teleproteção via OPLAT. Para atingir o objetivo, foi desenvolvido um sistema automático para coletar e armazenar dados das principais variáveis usadas em equipamentos de teleproteção e proteção. O sistema foi testado em uma linha de transmissão de 400kV.

O gráficos de Shewhart, CUSUM e EWMA mostraram ser ferramentas úteis para aquisição e análise de dados com objetivo de avaliar as condições de uma sistema de teleproteção.

A partir dos resultados apresentados, é possível concluir que o processo de seleção de parâmetros de um gráfico de controle afeta significativamente o funcionamento do algoritmo. Portanto, o processo de otimização dos parâmetros, antes da aplicação de um algoritmo, é particularmente importante.

Foi observado que sistemas de teleproteção são comumente projetado com grande margem de potencia de transmissão, o que os tornam altamente confiáveis. A utilização das cartas de controle estatístico permite determinar o comportamento dos sinais de teleproteção e detectar mudanças anormais. O comportamento do sistema é uma informação importante,

mesmo se as mudanças não afetarem a confiabilidade do sistema de teleproteção. Apesar do sistema de teleproteção ser super dimensionado, o controle estatístico ajuda a identificar variações anormais, que neste caso devem ser investigadas para encontrar possíveis problemas no sistema.

V - Referências

- [1] Y. Serizawa, F. Fujikawa, W. Osawa, e S. Kodama, "Examination on the applicability of IP-related communications to teleprotection systems", in *Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, 2009*, 2009, p. 1–4.
- [2] M. Khademi, "Reliability of telecommunications for bulk power system teleprotection", *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 12, nº. 2, p. 601–606, 1997.
- [3] M. P. Sanders, J. Appleyard, I. Huddleston, J.D., T. Lanigan, R. E. Ray, M. Simon, J. A. Zipp, M. J. McDonald, E. Derencinovic, D. Jamison, W. G. Lowe, S. D. Rowe, J. Soehren, P. R. Drum, S. Khan, B. A. Pickett, T. Seegers, e S. Ward, "Special considerations in applying power line carrier for protective relaying - IEEE power systems relaying committee special paper - relaying communications subcommittee, working group H9, 1-5-04", in *Protective Relay Engineers, 2004 57th Annual Conference for*, 2004, p. 247 – 281.
- [4] G. A. Franklin, "Using Modal Analysis to Estimate Received Signal Levels for a Power-Line Carrier Channel on a 500-kV Transmission Line", *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 24, no. 4, p. 2446 – 2454, out. 2009
- [5] "IEEE Guide for Power-Line Carrier Applications", *IEEE Std 643-2004 (Revision of IEEE Std 643-1980)*, p. 0_1 –134, 2005.
- [6] J. W. Hohn, J. A. Zipp, E. A. Baumgartner, R. O. Burnett, P. R. Drum, D. R. Hemming, I. Huddleston, J.D., J. W. Ingleson, J. R. Latham, B. D. Nelson, R. W. Ohnesorge, A. H. Pattman, E. T. Sage, e E. A. Udren, "Power line carrier practices and experiences", *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 10, nº. 2, p. 639 –646, abr. 1995.
- [7] J. S. Oakland, *Statistical Process Control, Sixth Edition*, 6º ed. Butterworth-Heinemann, 2007.
- [8] G. M. Smith, *Statistical Process Control and Quality Improvement*, 5º ed. Prentice Hall, 2003.
- [9] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, 6º ed. Wiley, 2008.