

Proposição de um Procedimento de Aplicação da Técnica de Análise da Corrente Elétrica para Manutenção Preditiva de Motores de Indução

Erik Leandro Bonaldi, Dr. Sc.

erik@pssolucoes.com.br

Levy Ely de Lacerda de Oliveira, Dr. Sc.

levy@pssolucoes.com.br

PS Soluções Ind., Com., Repres. e Consult. Ltda.

www.pssolucoes.com.br

INTRODUÇÃO

Nas indústrias em geral, é cada vez mais comum a procura por produtos e serviços de manutenção preditiva. Em muitos casos os prestadores de serviço contratados ou mesmo a equipe de manutenção preditiva da própria unidade industrial cometem equívocos que podem vir a comprometer todo o processo de monitoramento da condição e diagnóstico de falhas nas máquinas monitoradas.

Nesta busca crescente por tecnologia de predição, uma técnica que vem apresentando um sensível aumento de demanda é a técnica de análise de assinatura elétrica, por vezes referenciada por ESA, abreviação em inglês de *Electrical Signature Analysis*.

Dentro desse contexto, o presente artigo visa a contribuir para a disseminação de conceitos que visam a auxiliar as empresas que possuem um grupo de preditiva próprio ou pretendem contratar prestadores de serviço na obtenção de bons resultados na prática de manutenção preditiva em geral e, especialmente, através da utilização de técnicas de análise da corrente elétrica.

Como resultado dos pontos abordados neste artigo, apresenta-se ao seu final um procedimento de medição e análise da corrente elétrica de motores de indução para servir como referência para as empresas que já possuem ou pretendem adotar a análise da assinatura elétrica como ferramenta de análise da condição de máquinas elétricas.

DEFINIÇÃO DE ANÁLISE DA CONDIÇÃO E TROUBLESHOOTING

Como ocorre na análise de vibrações, a análise da corrente deve ser feita dentro do contexto de manutenção preditiva, ou seja, levantamento de históricos e acompanhamento de tendências. Desta forma, deve-se seguir um plano de monitoramento rotineiro com condições pré-estabelecidas de coleta, levando-se em consideração a condição de operação da máquina monitorada, seus dados construtivos e as informações do processo no qual a mesma está inserida. Procedendo-se dessa forma, basta acompanhar os sinais coletados e buscar por variações em suas características, pois quando as falhas se desenvolvem, o padrão do sinal é alterado e se torna possível, na maioria das vezes, identificar o que se alterou no sinal e que tipo de problema tem o conjunto rotativo monitorado.

Se o conjunto monitorado não apresenta falha, e isso inclui a alimentação na análise elétrica, o padrão não muda. Se falhas se desenvolvem, o padrão se altera e a análise espectral aponta a localização do problema. Como a base do sucesso do diagnóstico reside na formação de um bom histórico de sinais, a severidade será definida em função de quão rápido o padrão está variando.

Tendo o histórico formado e bem organizado, o analista levará apenas alguns minutos para emitir o laudo, reforçando o potencial de diagnóstico da técnica. A ferramenta fundamental que facilita enormemente o trabalho do analista é a curva de tendência, pois a mesma apresenta a evolução do problema no tempo e se torna a base de um trabalho de manutenção preditiva bem feito.

Como exemplo, considere o caso real ocorrido em uma empresa brasileira de alumínio. O motor monitorado apresentava as seguintes características construtivas: 440V, 72 A, 60 Hz, 4 pólos, 1780 RPM. Acoplado ao motor por redutor de 1:7.7, encontrava-se um ventilador de 8 pás.

A figura 1 apresenta as componentes de frequência relacionadas à rotação do ventilador antes (espectogramas azul e vermelho) e depois da falha (espectograma verde). É bem evidente que a magnitude dessas componentes aumentou substancialmente (em torno de 43 dB). A presença da falha, como dito anteriormente, altera o padrão do sinal.

O comportamento do motor pôde ser acompanhado por um ano e a curva de tendência é apresentada na figura 2.

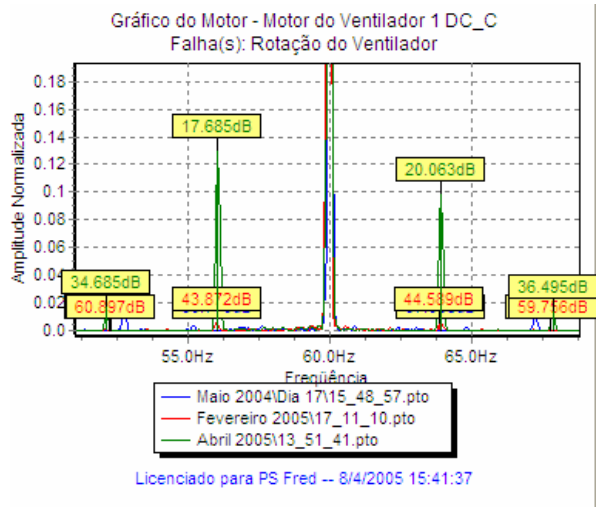


Figure 1: Componentes referentes à frequência de rotação do ventilador

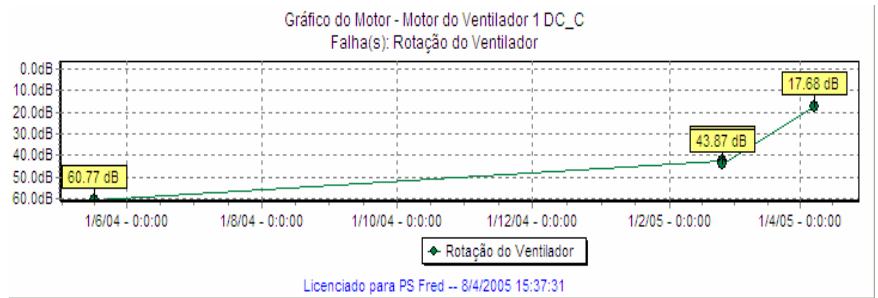


Figure 2: Curva de tendência da frequência de rotação do ventilador

O diagnóstico para este caso foi a presença de folga no redutor, desalinhamento ou desbalanceamento do ventilador. Realizada a intervenção, foi detectada folga no elemento redutor, que foi substituído e uma nova medição realizada. Seja a apresentação do resultado na figura 3:

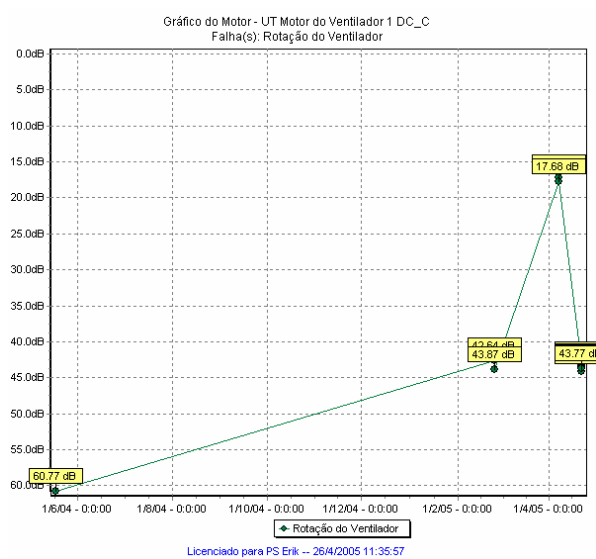


Figura 3: Curva de tendência incluindo a medição após a substituição do redutor

A abordagem da análise da condição segundo o contexto da manutenção preditiva é a forma recomendável de se proceder e de se obter os melhores resultados. Contudo são muito comuns casos em que a própria empresa solicita coletas e análises pontuais. Nesses casos, uma coleta é efetuada e tenta-se inferir qual o problema da máquina. Esse processo é conhecido como *troubleshooting* e para ser executado corretamente deve envolver a aquisição maciça de informação e dados. Normalmente várias técnicas devem ser empregadas conjuntamente (análise elétrica, vibração em vários pontos, termografia etc), o que torna esse processo bastante custoso e demorado, normalmente um dia ou mais para se medir apenas uma máquina. Além desses fatores de tempo de execução e custo, o resultado da análise depende muito da experiência do consultor ou do analista. Embora, um analista experiente possa identificar alguns tipos de falta com este tipo de abordagem, sem o histórico da máquina fica muito difícil se decidir o que fazer com toda a informação coletada. Por exemplo, a máquina pode estar operando por vários anos na condição levantada pelo *troubleshooting*. Como não se tem o histórico da máquina, pode-se efetuar uma parada desnecessária e desperdiçar recursos financeiros sem necessidade.

CONCEITOS IMPORTANTES SOBRE MANUTENÇÃO PREDITIVA

Considerando-se as idéias expostas na seção anterior, ao se decidir pela aquisição de produtos ou serviços de preditiva, a empresa deve ter em mente:

- i) A manutenção preditiva depende de condições semelhantes de velocidade e carga para coletas numa mesma máquina para gerar os resultados esperados. Isso não quer dizer que não se pode medir em diferentes condições de carga e velocidade, mas sim que se deve comparar medições em condições similares.
- ii) As informações construtivas do motor e conjunto acoplado devem ser levantadas com cuidado e devem ser exatas.
- iii) Deve haver uma troca de informações com o operador da máquina para se levantar características do funcionamento da máquina e do processo no qual ela está inserida.
- iv) O monitoramento da condição é o de melhor custo-benefício a longo prazo. Resultados como aumento de informação para tomada de decisão serão percebidos imediatamente, contudo o retorno financeiro será mais claro ao se incorporar procedimentos de monitoramento da condição de máquina elétricas no dia-a-dia da planta industrial.

- v) À medida que o histórico vai sendo formado, níveis de alarme são ajustados com maior precisão, melhorando o processo de diagnóstico e permitindo relatórios cada vez mais concisos e confiáveis.
- vi) A existência de um procedimento de medição e análise é essencial para o sucesso da implantação de um programa de preditiva.

Visando a incorporar todas essas idéias, a PS Soluções criou um procedimento de análise da assinatura da corrente do motor. A idéia é que esse procedimento sirva de guia para que cada empresa possa adequar esse procedimento à sua realidade e extrair resultados cada vez mais positivos da análise elétrica.

PROCEDIMENTO DE APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE MCSA – (PS SOLUÇÕES)

1 - OBJETIVO

Definir e padronizar os critérios de coleta e análise para manutenção preditiva através da técnica de Análise da Assinatura da Corrente de Motores de Indução Trifásicos.

2 - DEFINIÇÕES:

- 2.1. **MCSA:** “Motor Current Signature Analysis”, ou seja, trata-se da técnica de análise da corrente de uma das fases do motor de indução trifásico (MIT).
- 2.2. **Transdutor de corrente:** será o termo genérico usado para sensores de efeito hall, Rogowsky ou transformador de corrente (TC).
- 2.3. **Carga acoplada:** será o nome dado a todo dispositivo acoplado diretamente, ou por meio de um sistema de transmissão, ao eixo do motor.
- 2.4. **Excitação dinâmica:** termo utilizado para se definir avarias ligadas a desalinhamento, desbalanceamento ou folga presentes no motor, sistema de transmissão ou carga.
- 2.5. **TC de Medição:** é um instrumento elétrico que mede correntes elevadas no primário e transforma em correntes bem menores no secundário tendo uma exatidão superior a de um TC de proteção.
- 2.6. **Filtro Passa-baixas:** permite apenas que as frequências menores que a frequência de corte passem para o próximo estágio que se segue ao filtro.
- 2.7. **Baseline:** padrão de sinal colhido do equipamento monitorado no início do processo de formação de histórico e utilizado como referência para identificação de alterações na sua condição.

3 – PROCEDIMENTO:

3.1. APLICABILIDADE

3.1.1. Antes de iniciar o monitoramento de um conjunto rotativo, o usuário deve observar em qual tipo de configuração o mesmo se enquadra. A PS Soluções estabelece três tipos de configurações possíveis:

Tipo I: Motores com pequenas variações de carga

São motores acoplados às cargas que na maioria dos casos sofrem pequenas flutuações durante o processo de aquisição de sinais. São exemplos desse tipo de carga: bombas, compressores a parafuso, ventiladores, etc..

Tipo II: Motores com grandes variações de carga

São motores acoplados às cargas que sofrem grandes desvios durante a aquisição de sinais. Neste caso a técnica pode não ser aplicável ou alguns cuidados especiais devem ser tomados. São exemplos desse tipo de carga: bobinadeiras, correias transportadoras, moinhos e pontes.

Tipo III: Casos Especiais

São considerados casos especiais, motores que se enquadram no tipo I, mas apresentam sinais extremamente ruidosos ou características peculiares que prejudicam a análise. Além disso, motores que apresentem configurações muito distantes da configuração recomendada no item 3.2 também devem respeitar as recomendações apresentadas para o tipo III.

Importante: A cada tipo de configuração corresponde uma estratégia de monitoramento recomendada pela PS Soluções.

3.1.2. Feito o enquadramento do conjunto rotativo conforme descrito no item anterior, cabe ao usuário seguir as recomendações de estratégias de monitoração para cada um dos tipos de configuração apresentados.

Tipo I: para esta configuração a estratégia de monitoramento é bastante simples e pode ser denominada de estratégia padrão de monitoramento. Ou seja, cabe ao usuário:

1. Levantar corretamente todas as características construtivas do motor, sistema de transmissão e carga acopladas.
2. Definir o intervalo de medições do motor com o intuito de se levantar o histórico do mesmo. É através desse histórico que o analista estará apto a identificar os desvios que vierem a acontecer no conjunto.
3. De posse do cadastro correto do conjunto rotativo e de um histórico que permita comparações entre sinais atuais e sinais anteriores, o usuário deve ficar atento para o estabelecimento dos níveis de alarme e acompanhar a tendência da falha.
4. Pontos fora da curva devem ser desconsiderados e recomenda-se que se faça ao menos 03 (três) aquisições seguidas de cada motor para reduzir o impacto de aleatoriedades presentes no sinal.

Tipo II: em motores do Tipo II é importante, primeiramente, se analisar se é possível estabelecer um ponto de operação no qual pode-se adquirir o sinal do motor sem grandes flutuações de carga. Estabelecido este ponto de operação o procedimento de análise se reduz ao descrito na configuração de Tipo I. Se mesmo com flutuação de carga, verificar-se a viabilidade de se acompanhar o desenvolvimento de falhas em motores do Tipo II, cabe a equipe de preditiva a definição dos parâmetros a serem observados no momento da análise, deixando bem claro quais os cuidados necessários na análise e quais os critérios que foram adotados.

Tipo III: em motores do tipo III, recomenda-se em um primeiro momento se estudar qual é a origem do ruído, aleatoriedades ou peculiaridades presentes no sinal e que podem vir a prejudicar a análise. Essas dificuldades podem ter sua origem na rede de alimentação, ausência de carga, projeto do motor, condição de operação, etc. Identificada a origem do problema, recomenda-se verificar se é possível identificar padrões de falhas e a evolução das mesmas. Sendo possível inserir novos critérios de análise se necessário. Se não for possível a

identificação de padrões de falha considerar o conjunto inapropriado para monitoramento com a técnica em questão.

3.1.3. Independente do enquadramento, é sempre importante se ter em mente que a análise de corrente é de vital relevância no monitoramento de máquinas de difícil acesso. Constituindo muitas vezes no único meio viável de monitoramento em se considerando a segurança dos funcionários e a localização da máquina.

3.2. CONFIGURAÇÃO RECOMENDADA

3.2.1. Motor:

Tipo do Motor: Motor de Indução Trifásico

Tipo do Rotor: Gaiola de Esquilo

Potência: sem restrição

Tensão: sem restrição

3.2.2. Tipo de carga:

Aplicável à: cargas de pouca variação como bombas, compressores a parafuso, ventiladores e etc..

Cuidados especiais: cargas variáveis como bobinadeiras, correias transportadoras, moinhos e pontes.

3.2.3. Tipo de alimentação do motor:

Fonte Senoidal: sem restrição;

Soft-Starter: medição efetuada após a partida;

Inversor de Frequência: frequência constante durante o tempo de coleta;

3.2.4. Potência exigida do motor:

Maior ou igual a 50% de carga \Leftrightarrow 55% da corrente nominal

Quanto mais próximo da nominal melhor a análise. Contudo não é inviável realizar análises abaixo do mínimo recomendado acima.

3.3. FALHAS MONITORADAS

- 3.3.1. As falhas monitoradas estão relacionadas principalmente às excitações dinâmicas, tenham elas origem no motor, sistema de transmissão ou na carga acoplada.
- 3.3.2. Desequilíbrios elétricos no estator são refletidos pelo terceiro harmônico da assinatura da corrente em motores com controle de torque. Em malha aberta, a técnica de detecção de assimetrias estatóricas baseada na coleta de corrente de duas ou três fases é mais recomendada.
- 3.3.3. Problemas relacionados à deterioração de rolamentos devem ser tratados com extremo cuidado uma vez que o efeito dessa deterioração deve ser sentido pelo eixo do motor para então impactar em perturbações no campo elétrico. Por esta razão, a análise de vibração consegue um diagnóstico mais precoce e deve ser usada sempre que possível para este fim.

3.4. CASOS ESPECIAIS

- 3.4.1. **Medição em secundário de TC:** a coleta de sinais de corrente via secundário de TC's de medição é possível desde que o TC de medição não funcione como um filtro passa-baixas e elimine a informação de avaria que o analista busca para garantir a integridade de seu motor.
- 3.4.2. **Outras situações não contempladas pelo procedimento em questão:** devem ser analisadas caso a caso e incorporadas ao procedimento através de revisões.

CONCLUSÕES

Considerando o que foi exposto ao longo do artigo, o mais importante em uma análise preditiva é o levantamento das características da máquina monitorada, o estabelecimento da condição de coleta e a criação de um *baseline* para futuras comparações. Só depois dessas tarefas concluídas é que se deve se preocupar com a coleta e análise dos dados.

O aumento do interesse das empresas pela técnica de análise da corrente elétrica é cada vez maior e, por esta razão, torna-se interessante criar a cultura correta para a

implantação da mesma. Por esta razão, o procedimento de coleta e análise desenvolvido pela PS Soluções foi adaptado e incorporado ao artigo.

Finalmente, vale ressaltar que quanto maior o conhecimento e o domínio da técnica pela equipe de preditiva melhores são os resultados obtidos.