

SMQEE - SISTEMA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

Copyright IEEE
Trabalho nº. PCIC BR 2008 - 12

Renan Bernardes
Engº de Medição e Qualidade de Energia
Schweitzer Engineering Labs, Inc.
R. Ana Maria Souza, 61
Campinas, CEP 13084-758
Brasil
Renan_bernardes@selinc.com

Fernando Ayello
Gerente Depto. Comercial
Schweitzer Engineering Labs, Inc.
R. Ana Maria Souza, 61
Campinas, CEP 13084-758
Brasil
fernando_ayello@selinc.com

Resumo – O artigo divulga um novo conceito em monitoramento da qualidade da energia elétrica, através da aplicação de multimedidores digitais especialmente projetados para aplicação em circuitos com cargas não-lineares, combinados com outros dispositivos eletrônicos inteligentes (IED's) que complementam um sistema que possibilita as indústrias petroquímicas a realizarem uma "inspeção" da energia elétrica adquirida da Concessionária. Os equipamentos podem ser interligados em uma rede de comunicação de alta velocidade fornecendo condição básica para a elaboração de um sistema de monitoramento da qualidade de energia elétrica. Este sistema é uma poderosa ferramenta para avaliar e otimizar custos de consumo, interrupção, manutenção e impactos de poluição em uma instalação elétrica.

Palavras-chave — concessionárias, IED's, indústrias, medidores, monitoramento, qualidade da energia.

I. INTRODUÇÃO

O tema qualidade da energia elétrica – QEE tem sido amplamente discutido pela sociedade tanto em âmbito internacional como nacional graças ao crescimento das cargas eletrônicas nas instalações industriais, setor terciário e residencial e que tem provocado um aumento na sensibilidade dos processos a distúrbios elétricos.

A energia elétrica pode ser vista como uma das matérias primas necessárias para a produção industrial, porém ao contrário das demais matéria primas, não é possível realizar os procedimentos de recebimento ou de inspeção, ou seja, controle de qualidade. As demais matérias primas podem ser rejeitadas pelo Depto de Recebimento caso não estejam conforme padrões especificados, pois caso sejam aceitas, poderão provocar danos ao processo industrial e aumento no custo de produção. O objetivo deste trabalho é apresentar a filosofia básica de um sistema concebido para monitorar a qualidade da energia elétrica e realizar uma verdadeira auditoria da energia elétrica adquirida pelas Concessionárias e subsidiar a indústria a tomar decisões no sentido de reduzir custos e otimizar o processo industrial.

Interessante notar o grau de importância que se dá para determinadas ocorrências no sistema elétrico. Naturalmente, quanto mais grave for a ocorrência, mais interesse em analisar e detectar as causas. Para melhor compreensão do trabalho, dividimos as perturbações em 3 tipos:

A. Grandes perturbações, que causam interrupção no fornecimento de energia em uma grande área:

As grandes perturbações chamam a atenção devido à suas conseqüências, mas pouco pode ser feito após estas

ocorrências, senão analisá-las e tentar obter algum ensinamento para evitar repetição dos problemas.

B. Pequenas perturbações, que causam interrupções em áreas localizadas:

Estas perturbações que podemos chamar como normais ou esperadas, envolvem ocorrências simples e geralmente são eliminadas através da atuação correta do sistema de proteção e interrupção de energia numa área localizada.

Os pequenos distúrbios ocorrem com maior freqüência, e análise e investigações dos mesmos são fundamentais para evitar grandes problemas no futuro. Também é possível otimizar ações corretivas de equipes de manutenção com o aprendizado obtido com a análise dos distúrbios.

C. Perturbações escondidas, que não causam interrupções no fornecimento:

Apresentam as seguintes características:

1. Não envolvem interrupções forçadas de energia;
2. Passam despercebidas pela operação do sistema;
3. Não envolvem atuação de relés de proteção;
4. Em médio ou longo prazo, irão afetar as atividades de manutenção;
5. Ocorrem de forma repetitiva.

Os dois primeiros tipos de perturbações citadas (ítems I.A e I.B), provocam interrupção da energia elétrica e são facilmente perceptíveis. Por outro lado, estas perturbações escondidas não são detectadas por pessoas e sistemas supervisórios convencionais, mas devem ser investigadas pois:

- Afetam a vida útil de equipamentos elétricos;
- Podem ocasionar paradas de produção, mesmo sem ter havido uma interrupção da energia;
- Fornecem pistas valiosas para evitar uma perturbação mais grave que envolva interrupção, perda de produção ou queima de equipamentos.

Estas perturbações devem ser investigadas por especialistas através de recursos adequados, com possibilidade de armazenamento histórico das perturbações.

Podemos citar exemplos de excessivo nível de harmônicos em um transformador, sucessivas ocorrências de afundamentos de tensão em um alimentador de média tensão e elevado número de partidas de um elemento de sobrecorrente de neutro num circuito. As razões podem ser descobertas antes de haver uma maior conseqüência e medidas preventivas podem ser tomadas.

Com o conhecimento adquirido através da análise destas perturbações escondidas, é possível evitar futuras interrupções e também efetuar melhor planejamento, como

expansões que poderiam ser realizadas com o aproveitamento de alimentadores e equipamentos existentes, melhorando a eficiência e utilização dos mesmos.

Portanto, a exemplo do que ocorre com outras matérias primas, se a energia elétrica for de boa qualidade, não haverá custos adicionais para a indústria. O Sistema de Monitoramento da Qualidade de Energia Elétrica aqui proposto pode ser utilizado para um contínuo melhoramento do processo de abastecimento de energia elétrica e conseqüente redução nos custos acima referidos, pois ajuda a identificá-los, avaliá-los e corrigi-los.

De modo geral, os artigos para a conferência PCIC BR são criados com o programa Microsoft Word. Os artigos devem ser formatados no estilo descrito e mostrado nesse documento. Os artigos devem ser submetidos no seu formato final em papel branco formato A4. Os artigos e figuras serão aceitos em CD e disquetes para a publicação, entretanto, uma cópia eletrônica será necessária para o processo de avaliação do artigo. O tamanho do artigo, incluindo o apêndice, deve ter um máximo de 10 páginas, quando escrito no formato descrito a seguir.

II. DEFINIÇÕES

Um Sistema de Monitoramento da Qualidade de Energia Elétrica – SMQEE é um sistema que centraliza e estrutura adequadamente as informações provenientes de vários pontos da instalação elétrica, obtendo-se informações relevantes exatamente no instante em que os problemas ocorrem.

O SMQEE é formado por dispositivos eletrônicos inteligentes distribuídos ao longo dos circuitos elétricos desde a alta até a baixa tensão, localizados em pontos estratégicos. Tais dispositivos devem possuir alta capacidade de processamento dos dados para satisfazer as exigências funcionais.

O sistema consiste de vários dispositivos eletrônicos inteligentes (IED's), uma ou várias estações de trabalho remotas (microcomputadores), software amigável e rede de comunicação. É necessário centralizar e estruturar as informações para que se possa interpretá-las com relativa facilidade, em um sistema voltado para monitorar a qualidade da energia. Desta maneira, é possível detectar e registrar ocorrências de distúrbios tanto na rede da Concessionária, quanto no próprio sistema do usuário, detectar e registrar formas de onda em casos de distorções harmônicas acima de certos níveis, monitorar adequadamente o perfil de carga de um determinado alimentador e sua participação no pico de demanda máxima, registrar medições do consumo de energia de vários circuitos, bem como obter tabelas de medidas de diversos tipos de grandezas elétricas para cada ponto de interesse.

III. MULTIMEDIDORES DIGITAIS

A. Introdução

Os multimedidores digitais são a base do SMQEE e devem cumprir requisitos específicos para o correto monitoramento da qualidade de energia elétrica. Medidores convencionais baseados na frequência 60 Hz, não são aplicáveis em circuitos com cargas não lineares. Para obterem os benefícios esperados pelo SMQEE, devem ser atendidos os seguintes pontos:

1. Medições RMS verdadeiras (true RMS) - incluindo até pelo menos a 50ª harmônica, onde é

interessante realizar a comparação entre os valores "true RMS" versus fundamental.

2. Inclusão de novas grandezas - medidas que tradicionalmente não eram especificadas e utilizadas nas instalações elétricas, como distorção harmônica, potência de distorção harmônica, fator K, fator de crista, flutuação de tensão e desequilíbrios de tensão e corrente, devem ser considerados para efeito da inspeção de recebimento da energia elétrica;
3. Excelente precisão mesmo para condições de alta distorção harmônica – imprescindível para realização de medições de energia para faturamento e rateio de custos entre departamentos dentro da indústria.

B. Características Gerais

Os multimedidores devem ser obrigatoriamente utilizados de forma fixa nos circuitos mais importantes, tais como entrada da concessionária, barramentos importantes e alimentadores com cargas especiais como fornos a arco ou de indução, conversores etc. A instalação provisória dos multimedidores, mesmo para períodos relativamente grandes (um mês), não é confiável, pois o fenômeno que se pretende monitorar pode não ocorrer neste intervalo.

C. Instrumentação Geral

As medições gerais de um multimedidor podem ser subdivididas em 4 grandes blocos, conforme segue:

1) *Leituras Operacionais em Tempo Real em RMS:* Seriam as grandezas elétricas normalmente utilizadas para fins operacionais tais como correntes, tensões, potência ativa, reativa e aparente, fator de potência e frequência.

2) *Leituras de Demandas em RMS:* Consiste de um grupo de medidas específico para monitoramento de demanda nos circuitos. As medições de demanda podem ser efetuadas por modelo térmico, por intervalos ou ainda ser sincronizada por pulso externo proveniente de relógio da concessionária. As leituras de demanda de corrente, potência ativa, reativa e aparente, bem como fator de potência médio trifásico total e demandas coincidentes e previsão de demanda devem ser fornecidas pelos multimedidores. Além disso, o medidor deverá realizar o controle da demanda consumida, através do descarte de carga ou controle de gerador de backup da indústria.

3) *Leituras de Energia:* São medições de energia acumulada. Os multimedidores também possibilitam uma medição de energia acumulada condicional (podendo ser ativada, interrompida ou reiniciada via entrada digital ou comunicação serial) ou ainda energia acumulada incremental (onde se poderia definir um momento da partida e intervalo de tempo). As seguintes leituras de energia estariam disponíveis: energia ativa, energia reativa, energia aparente e leituras bidirecionais das energias ativa e reativa.

4) *Qualidade de Energia:* Os multimedidores devem ainda fornecer várias grandezas que possibilitem o monitoramento da qualidade da energia elétrica de um circuito, em conformidade com as normas vigentes do IEC (Internacional Electrotechnical Commission) e da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Os principais parâmetros a serem medidos e registrados conforme a ANEEL seriam:

- o Tensão em regime permanente incluindo cálculo do DRP (duração relativa de tensão precária) e DRC

(duração relativa de tensão crítica) conforme resolução 505 da ANEEL;

- o Monitoramento das VTCDs (variações de tensão de curta duração);
- o Distorção harmônica total e individual, considerando até componentes de 50ª harmônica;
- o Flutuação de Tensão (Pst e Plt);
- o Desequilíbrio de tensão;
- o Fator de Potência;
- o Variação de Frequência.

D. Monitoramento de Distúrbios

Os multimedidores devem ter capacidade de monitoramento contínuo de fenômenos. Para isto, é imprescindível que haja recursos de visualização de formas de onda para análise dos problemas. Podem ser solicitados pelo operador do SMQEE (via software aplicativo) ou em resposta a uma condição de alarme detectada pelo próprio multimetedor ou ainda por um disparo externo. A figura 1 mostra o gráfico gerado pelo multimetedor durante um afundamento de tensão monofásico monitorado. São mostradas as tensões e correntes nas 3 fases, desta maneira é possível notar que o afundamento em questão ocasionou o desligamento da carga, pois as correntes foram a zero.

O usuário pode definir o número de ciclos a serem armazenados antes e depois do disparo e o multimetedor deve ser capaz de enviar através da rede de comunicação para a estação central, para posterior análise.

Em relação a variações de tensão de curta duração (VTCDs), deve-se capturar e registrar formas de onda de pelo menos 60 ciclos com resolução de 64 amostras por ciclo simultaneamente em todos canais de corrente e tensão. As magnitudes em RMS de cada canal são continuamente monitoradas e assim utilizados para detectar estas condições de VTCDs como os afundamentos e elevações de tensão.

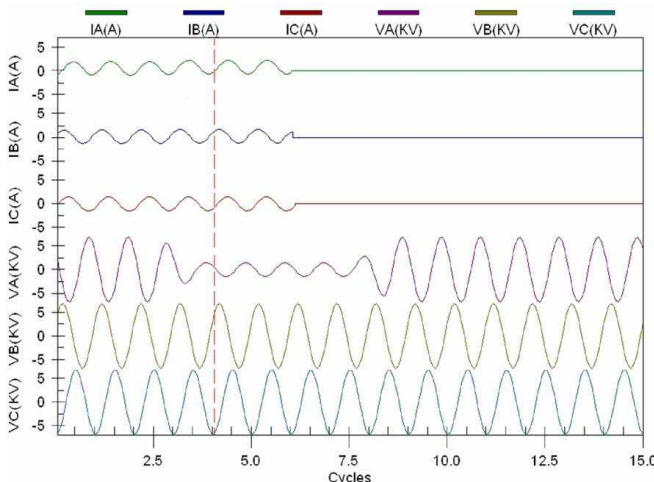


Fig.1. Afundamento de tensão registrado pelo medidor, onde são mostradas as correntes e tensões nas 3 fases

Tais fenômenos têm se tornado cada vez mais frequentes em instalações elétricas de plantas industriais. Assim, é possível diagnosticar problemas nos equipamentos causados por sub ou sobretensões momentâneas, identificar áreas vulneráveis e finalmente tomar ações corretivas.

A interrupção em um processo industrial devido a condições anormais na tensão de fornecimento resulta em altos custos de operação, que podem ser manifestadas por

perda de produção, danos em equipamentos, redução na qualidade do processo produtivo, bem como retardos devido a excessivos tempos para restabelecimento do processo produtivo.

Todo um processo produtivo pode ser dependente da sensibilidade de um único equipamento ou parte dele, tais como acionamentos de velocidade variável, controladores lógicos programáveis, microcomputadores, contadores e redes de comunicação de dados que são susceptíveis a distúrbios no sistema de energia.

Após a interrupção ou desligamento do sistema de energia elétrica, seria extremamente difícil determinar as causas do distúrbio, principalmente se forem originadas em circuitos remotos (outros pontos da instalação ou na rede da concessionária), sem a existência de um SMQEE. A figura 2 mostra a ocorrência de um afundamento de tensão em uma indústria devido a um curto circuito em outro alimentador, na rede da concessionária. Também é mostrado o gráfico da tensão na entrada da indústria em pu (por unidade).

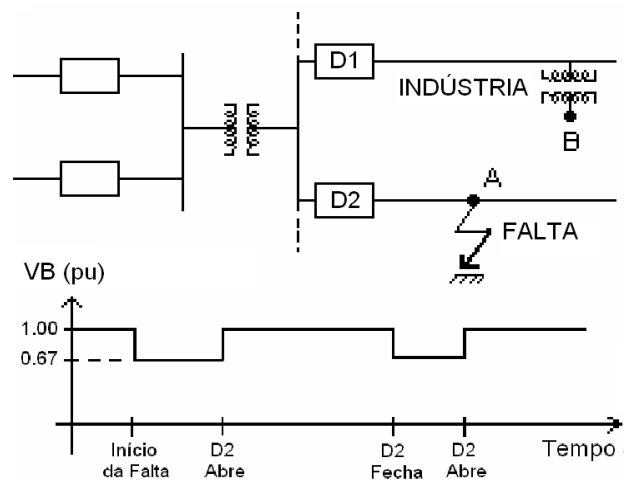


Fig. 2. Afundamento de tensão na Indústria (ponto B) devido à distúrbio na rede da Concessionária

A capacidade de monitoramento de distúrbios dos multimedidores pode ser usada para:

1. Identificar interrupções, afundamentos e elevações de tensão, subtensões e sobretensões para posterior avaliação;
2. Comparar a sensibilidade de equipamentos instalados no sistema de energia com as referidas normas;
3. Distinguir entre falha de um equipamento e problemas no sistema elétrico;
4. Diagnosticar eventos misteriosos, tais como, falhas em equipamentos, desligamento de contadores, etc.
5. Auxiliar na determinação da causa do problema (usuário ou concessionária);
6. Desenvolver soluções para os problemas de sensibilidade de tensão;
7. Distinguir precisamente uma condição de interrupção da energia de uma condição de afundamento de tensão;
8. Fornecer dados na especificação de equipamentos;
9. Discutir a filosofia dos ajustes das proteções da concessionária;
10. Justificar aquisição de equipamentos condicionadores de energia.

IV. OUTROS IED'S

O SMQEE completo deve ser composto por conjuntos de IED's e não apenas de multimedidores. A combinação dos multimedidores com os IED's do sistema permite o monitoramento de todos os pontos do mesmo.

A integração de medidores e relés de proteção permite associar algumas perturbações com a atuação do sistema de proteção. Por exemplo, é possível associar um afundamento de tensão devido a um curto-circuito na rede da Concessionária com a queima de um motor na baixa tensão, caso tenham ocorrido no mesmo instante de tempo.

Os relés de proteção também possuem funções de monitoramento de grandezas e particularidades específicas para cada equipamento, contribuindo assim para o monitoramento da QEE do sistema. A tabela I mostra um resumo com os tipos de IED's que auxiliam no monitoramento dos principais problemas que envolvem QEE nos equipamentos dos sistemas elétricos.

TABELA I – Resumo dos fenômenos e equipamentos com os respectivos responsáveis pelo monitoramento

Distúrbio / Equipamento Monitorado	IED responsável pelo monitoramento
VTCDs – Variações de Tensão de Curta Duração	Multimedidor
VTLDs – Variações de Tensão de Longa Duração	Multimedidor
Grandezas em Regime Permanente	Multimedidor
Circuitos secundários dos TPs e TCs	Relés de proteção / Multimedidor
Transformadores, Disjuntores, Motores, Geradores	Relés de proteção / Multimedidor
Serviços auxiliares: Banco de baterias, retificador, trafo aux.	Relés de proteção Processador I/O
Cálculo e integralização dos Índices de QEE (Conforme ANEEL) DRP, DRC, FP, DHTV, Pst, Plt, Deseq.	Multimedidor/ Plataformas Computacionais IHM

Por exemplo, para a proteção de alimentadores em geral, o relé é capaz de realizar o monitoramento do sistema de alimentação auxiliar corrente contínua, fornecendo alarme para sub ou sobretensão DC. Também monitora o disjuntor, verificando o desgaste dos contatos por pólo, bem como as bobinas deste equipamento.

Para um transformador de potência, admite-se que o próprio relé diferencial também realize monitoramento térmico, monitore o fator de envelhecimento e perda de vida útil do transformador.

Para um importante motor de indução trifásico, um relé de proteção avançado pode agregar funções indiretamente relacionadas a QEE como, por exemplo, relatórios de tendências incluindo capacidade térmica, perfil de carga, tensão média e recursos de oscilografia. Para geradores, o relé realiza o monitoramento térmico.

A figura 3 ilustra um sistema elétrico de uma indústria siderúrgica, considerando a combinação dos medidores e relés de proteção para monitoramento dos equipamentos.

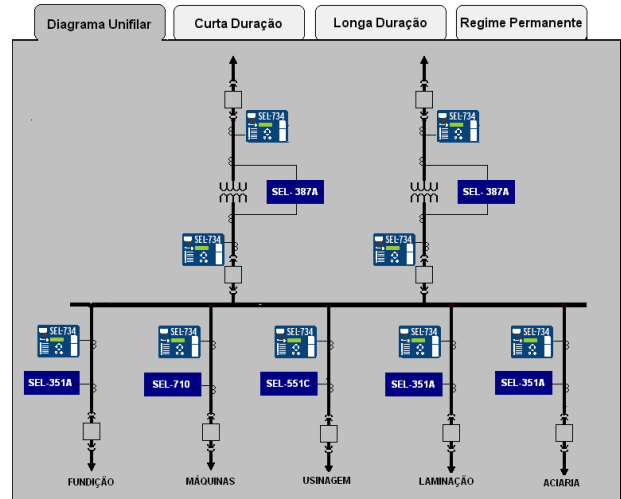


Fig. 3. Arquitetura para uma indústria siderúrgica típica considerando os multimedidores e os relés de proteção

Outro importante IED de um SMQEE é a plataforma computacional central, na qual se realiza concentração, cálculos e manipulação dos dados de todos IED's do sistema. Esta plataforma é responsável também pela interface com o software aplicativo do SMQEE.

V. SOFTWARE APLICATIVO DO SMQEE

O SMQEE deve ser capaz de suportar uma quantidade ilimitada de estações de trabalho (microcomputadores) e utilizar uma LAN (Local Area Network) ou WAN (Wide Area Network) de alta velocidade. Cada plataforma computacional conectada a LAN / WAN deverá ter igual acesso às informações fornecidas pelos IED's ao longo da instalação, para se obter de forma centralizada os valores de medição das grandezas elétricas, registro de eventos e de dados analógicos, alarmes, visualização das formas de onda, etc. Cada estação de trabalho deverá ser independente das outras, com seu próprio software, de forma a permitir que os usuários recolham as informações de acordo com suas necessidades. Deve ser possível operar em um ambiente Cliente / Servidor de forma a permitir repartição dos dados e sua visualização em qualquer plataforma computacional da rede, onde cada um possa ter acesso a todas informações existentes nos IED's.

A tela de uma típica IHM (Interface Homem Máquina) do SMQEE deve fornecer a visualização fácil e prática das grandezas medidas e registradas, divididas de acordo com classificação da IEEEE em sua recomendação Std 1159 de 1995. A figura 4 ilustra tela do software contendo os eventos de curta duração, longa duração e regime permanente. É possível obter maiores informações sobre os eventos e alarmes, tais como instante de ocorrência, duração e severidades.

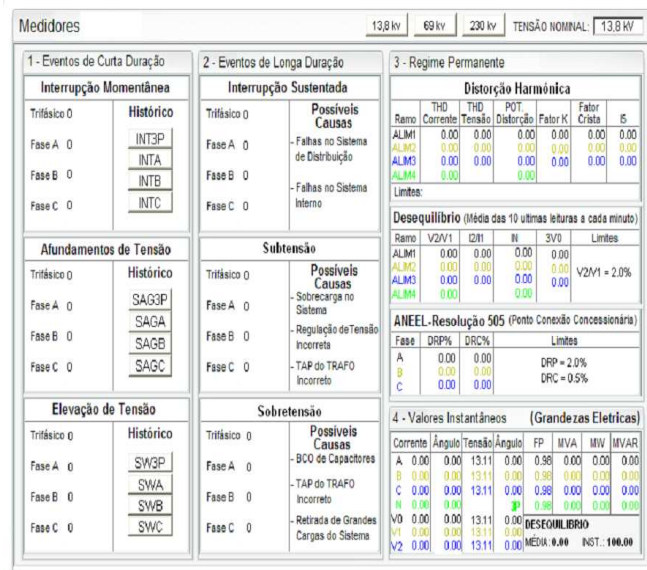


Fig. 4. Tela Ilustrativa do SMQEE, indicadores mostrados conforme o Módulo 8 do Prodist

Os valores armazenados no banco histórico de dados podem ser manuseados e visualizados de maneira prática e objetiva, de acordo com o interesse do usuário. É possível visualizar relatórios das medições, verificar quando foram registrados determinados eventos e quais alarmes foram gerados em intervalos de tempo solicitado pelo usuário. Também é possível visualizar gráficos das grandezas armazenadas no banco de dados.

Tarefas adicionais como reset automático e transferência de dados para outros aplicativos, entre outras, podem ser executadas.

VI. EXEMPLOS

Alguns exemplos de detecção e solução de problemas graças à instalação do SMQEE são citados abaixo:

1. Queima de motores de indução em circuitos de baixa tensão, devido à ocorrência de elevação de tensão na entrada da indústria;
2. Sobrecarga no neutro de um alimentador, onde foi detectada a necessidade de troca de cabos e elaboração de procedimentos para a equipe de manutenção em determinadas áreas;
3. Isolador trincado numa rede de distribuição aérea, interna da fábrica, provocando fuga à terra de baixo valor. Foram feitos desligamento programado e troca do componente;
4. Galho de árvore próximo à rede podendo ocasionar curto circuito (ilustrado na figura 5);
5. Sobreaquecimento excessivo e conseqüente queima de transformador de média para baixa tensão devido a cargas não lineares (ilustrado na figura 5);
6. Utilização do banco de dados histórico, com dados reais, para subsidiar expansões futuras e proporcionando redução de investimentos;



Fig.5. Árvores próximas à rede e transformador após explosão

O SMQEE sendo aplicado em uma indústria poderá alertar sobre os problemas reais do dia a dia e que passam despercebidos e fornecer meios para se propor medidas alternativas para minimizar custos de operação e manutenção da planta. Além disto, o SMQEE pode ser utilizado para otimizar investimentos.

A estimativa de todos prejuízos financeiros ocasionados por distúrbios nas indústrias pode ser calculada conforme mostrado na tabela II. Nesta tabela, estão mencionados todos os custos referentes ao tempo perdido em uma parada do processo de produção, à qualidade do produto fabricado entre outros.

TABELA II
Exemplo de Avaliação Financeira relacionada à Qualidade da Energia – Custos envolvidos

Trabalho não realizado
Força de trabalho ociosa
Perdas de produção
Lucro cessante
Produção extra / Hora Extra
Custos administrativos e operacionais
Multas por entrega atrasada
Custo de reparo dos equipamentos danificados
Equipamentos e peças danificadas
Custo de mão-de-obra (manutenção)
Custo de reposição das peças (transporte, estoque)
Produtos danificados
Custo do retrabalho
Mão-de-obra
Substituição de materiais

VII. CONCLUSÕES

O SMQEE é uma ferramenta que pode proporcionar inúmeros benefícios para diversos setores, que dependem da energia elétrica para que possam dar continuidade ao processo de produção ou serviços. Com a instalação de um SMQEE, os principais benefícios seriam:

- Reduzir custos de consumo energia;
- Verificar a sensibilidade dos equipamentos;
- Reduzir custos de interrupções forçadas;
- Detectar distúrbios provenientes da Concessionária;
- Detectar e avaliar custos de consumo e de interrupção de energia;

- Otimizar a produção através de adequado monitoramento de equipamentos importantes, como motores elétricos e transformadores;
- Alocação de custos interdepartamentais baseados no consumo de energia;
- Avaliar impactos de poluição;
- Melhorar eficiência e utilização de equipamentos;
- Subsidiar ações de planejamento de expansão da instalação.

VIII. REFERÊNCIAS

[1] E. Schweitzer “Industrial Application of the SEL-734 Meter” SEL White Paper, Maio de 2005.

[2] ANEEL, PRODIST - Módulo 8, “ Qualidade da Energia Elétrica”, atualizada em fevereiro de 2007

[3] IEEE – Std 1159 “IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality” IEEE Standards Board, Junho de 1995.

IX. CURRÍCULOS

Fernando Ayello Engenheiro eletricista pela UNITAU em 1981, Mestre em Ciências de Engenharia Elétrica pela EFEI em 1985. Atualmente é Gerente Regional de Marketing e Vendas da SEL (Schweitzer Engineering Laboratories, Comercial Ltda.).

Renan Bernardes Engenheiro eletricista pela UNIFEI em 2007. Realizou estágio na CPFL (Cia Paulista de Força e Luz) na área de qualidade de energia e atualmente é engenheiro de medição e qualidade de energia da SEL (Schweitzer Engineering Laboratories, Comercial Ltda.).