

Capítulo 1

Introdução

Esta tese trata de um novo algoritmo capaz de detectar e classificar os distúrbios múltiplos que afetam a qualidade de energia em sistemas elétricos industriais com fornos elétricos a arco.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho é desenvolver um algoritmo baseado na Transformada Wavelet, para detecção e classificação de distúrbios múltiplos provocados pela operação de fornos elétricos a arco, a fim de reduzir custos e melhorar a qualidade da energia elétrica consumida nos sistemas aos quais estão inseridos. Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Apresentar os princípios de funcionamento dos fornos elétricos a arco, do ponto de vista das cargas elétricas especiais;
- Estudar o comportamento do arco elétrico, bem como a análise de potências pelos métodos tradicionais e o conceito de potências instantâneas;
- Estudar os parâmetros que caracterizam a qualidade de energia em sistemas elétricos, principais distúrbios e sua classificação, com foco nas cargas elétricas especiais;
- Propor um algoritmo baseado na Transformada Wavelet para determinação e classificação de distúrbios múltiplos, tomando como base o modelo de um forno elétrico a arco industrial.

1.2 MOTIVAÇÃO

Uma das cargas mais complexas que um sistema elétrico pode alimentar é o Forno Elétrico a Arco (FEA). Devido à própria natureza do arco elétrico, o forno a arco apresenta-se ao sistema de potência como uma carga que incorpora aspectos severos e desfavoráveis em termos de comportamento elétrico, porém é um dos principais equipamentos responsáveis pela fabricação do aço líquido a ser processado no lingotamento contínuo da aciaria de uma usina siderúrgica.

Nos sistemas de potência, a operação das cargas elétricas especiais, tais como os fornos elétricos a arco, acarreta em geral uma série de influências indesejáveis, perturbando outros consumidores, além do próprio consumidor gerador dos distúrbios.

De um modo geral, os sinais de tensão presentes em sistemas elétricos com fornos a arco apresentam como característica ruídos múltiplos de curta duração, cuja identificação do instante de sua ocorrência, através de ferramentas computacionais normalmente disponíveis, tem-se mostrado pouco eficiente.

Os distúrbios gerados durante o processo de fabricação do aço são de interesse das concessionárias de energia elétrica responsáveis pelo fornecimento e distribuição aos demais consumidores, motivando dessa forma o aprofundamento dos estudos com foco no desenvolvimento de novas ferramentas para a análise de tais fenômenos que afetam diretamente a Qualidade de Energia (QE), constituindo-se, portanto em assunto atual e de grande importância.

A qualidade da energia, em geral, é afetada por distúrbios do tipo: afundamento (“*sag*”), elevação (“*swell*”), cintilação (“*flicker*”), etc. Esses distúrbios acontecem em um espaço de tempo muito curto (milesegundos), dificultando sua detecção, classificação e correção através de técnicas tradicionais. A Transformada Wavelet (TW) apresenta como característica uma pequena onda com energia concentrada no tempo, servindo de ferramenta para a realização de análise de fenômenos transitórios, não estacionários ou variantes em um curto intervalo de tempo, característicos dos fornos elétricos a arco.

O método ora proposto neste trabalho foi avaliado em sinais de tensão teóricos e em sinais reais medidos em um forno elétrico a arco instalado em um sistema industrial, tais sinais apresentam distúrbios múltiplos, dificultando a análise

pelos métodos tradicionais.

A motivação para o desenvolvimento desse método é a necessidade de detecção e da classificação dos distúrbios múltiplos que ocorrem em um intervalo de tempo muito pequeno, característicos da operação de fornos elétricos a arco.

Para o desenvolvimento e validação do novo método, coletaram-se os sinais de tensão de um forno a arco, no instante de operação de maior rendimento, ou seja, onde ocorre o menor consumo de energia. Os sinais apresentam como característica, distúrbios múltiplos que dificultam a análise da QE pelos procedimentos atuais, como por exemplo, a análise de Fourier, haja visto a limitação desse método para identificação de eventos de curta duração no tempo.

1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os equipamentos eletrônicos modernos podem ser afetados pelos distúrbios no seu sistema de alimentação, pois possuem controles baseados em microprocessadores e dispositivos eletrônicos sensíveis. Como exemplo, uma variação para 80 a 85% na tensão de alimentação dos Controladores Lógicos Programáveis (CLP), que são usados para controlar diversos tipos de dispositivos, como por exemplo inversores de frequência, podem ocasionar falhas e desligamento nos equipamentos que estão controlando (DOUGLAS, 1993).

O desenvolvimento de algoritmos de detecção e classificação de distúrbios na área de qualidade de energia que utilizam a Transformada Wavelet (TW) tem crescido e se aperfeiçoado (HEYDT e GALLI, 1997). As técnicas apresentadas mostram diversos problemas de “Qualidade de Energia” (QE), principalmente através da utilização de funções características denominada de Wavelet-mãe. Dentre as diversas Wavelet-mãe, a que mais se aproxima da característica dos sinais elétricos presentes nos sistemas elétricos de potência é a daubechie 4 (db4), que será utilizada no tratamento dos sinais do sistema em análise.

Os aspectos relacionados à QE foram abordados por Carpinelli et al. (1999) e Delmont Filho (2003). Os conceitos apresentados, em relação à qualidade de energia, foram simulados e utilizados na análise da forma de onda de tensão coletada em um determinado sistema elétrico industrial.

No trabalho apresentado por Gaouda et al. (2000), a TW foi utilizada como ferramenta para análise de sinais, capaz de detectar e localizar variações de curta duração de tempo em sistemas de distribuição de energia. A detecção e localização dos diferentes eventos de QE foram feitas através da técnica de Análise de Multiresolução (AMR). Baseado no método desenvolvido foi possível medir a magnitude e duração do sinal durante a ocorrência dos diversos eventos de variação curta.

Farias (1997) e Penna (2000) apresentaram um método que analisa a forma de onda da tensão fazendo a detecção, localização e classificação de possíveis distúrbios em um determinado barramento de um sistema elétrico. A técnica da TW foi utilizada como base para os estudos, tendo a db4 como sendo a Wavelet-mãe utilizada para análise.

Robertson, Camps e Mayer (1996) também utilizaram a TW como base para uma nova técnica aplicada a resultados obtidos através de estudos de transitórios eletromagnéticos. A proposta foi de utilizar a TW para detectar e analisar um sinal característico de uma fase de tensão de uma linha de transmissão trifásica com situações de falta e chaveamento de capacitores.

Abdel-Galil et al. (2004) e Duque et al. (2004) propuseram uma nova definição para a classificação dos distúrbios que afetam a qualidade de energia, baseada no aprendizado indutivo, através de árvores de decisão. Também, neste trabalho, a Transformada Wavelet foi utilizada para detectar as características únicas e peculiares de cada distúrbio. As árvores de decisão são obtidas baseando-se nos resultados produzidos pela análise Wavelet.

O algoritmo desenvolvido mostrou ter um grande potencial de desenvolvimento futuro em sistemas de monitoramento automático de distúrbios. No entanto, a análise se manteve a níveis teóricos, não sendo exposta a sinais reais de um sistema elétrico.

No trabalho apresentado por Duque et al. (2004), é mostrada uma técnica de processamento de sinal digital em tempo real. Os resultados foram obtidos através de sinalizações indicando que o método proposto é eficaz em detectar com precisão uma grande variedade de distúrbios em um sinal de tensão, indicando ainda uma maneira de avaliar a Distorção Harmônica Total (DHT) presente em tais sinais.

Em Hsun-Tsu e Wu Chi-Jui (2002), Montanari et al. (1994) e Tang et al., (1994) foi desenvolvida a análise de carga comparando fornos elétricos AC e DC.

Também foi apresentada a teoria para a elaboração das curvas de carregamento, visando obter o comportamento operacional de um forno através da obtenção do modelo de arco do sistema sob análise, correlacionando-o com sua corrente de operação ótima.

Em outro trabalho, He e Starzyk, (2006), propuseram a classificação dos fenômenos relacionados à QE, a partir de um sistema de auto-aprendizado. A inovação está na utilização da Wavelet-mãe mais simples, levando a resultados com o mesmo nível de precisão das técnicas que utilizam Wavelet-mãe complexas. A combinação das idéias do sistema desenvolvido e a TW podem ser utilizadas em outros problemas como, por exemplo, análise de dados financeiros, reconhecimento automático de alvos, etc.

A partir da revisão apresentada, este trabalho propõe um novo método baseado na TW, aplicado na análise de distúrbios múltiplos, na forma de onda de tensão, provocados pela operação de fornos elétricos a arco instalados em um sistema industrial.

Os sinais utilizados para a validação do algoritmo desenvolvido foram coletados no instante de maior rendimento operacional de um forno elétrico industrial, ou seja, no ponto de menor consumo de energia.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

A Tese está estruturada em quatro capítulos, conforme descrito a seguir:

O primeiro capítulo apresenta os objetivos, motivação e revisão bibliográfica sobre a aplicação da TW na análise de qualidade de energia em fornos elétricos a arco.

O segundo capítulo apresenta o princípio de funcionamento dos fornos elétricos a arco, com os detalhes relativos às perturbações que os mesmos causam em redes elétricas. É feita a análise do arco elétrico, através de simulações no software ATP, visando analisar o comportamento do arco durante as fases de operação do forno.

É apresentado o cálculo das curvas de carregamento, bem como os sinais reais de tensão coletados em campo durante uma das fases de operação do forno a

arco, e que será analisado pela nova técnica desenvolvida. O comportamento do arco elétrico e a análise das potências tradicionais e em condições de tensões e correntes distorcidas, também são mostrados neste capítulo.

Ainda no segundo capítulo os diversos parâmetros que caracterizam a qualidade de energia elétrica tais como afundamentos de tensão (*"sag"*) e elevação de tensão (*"swell"*), fator de potência, desequilíbrio, cintilação (*"flicker"*) e harmônicos são abordados. Foi feita uma análise de potências trifásicas em sistemas com ondas não senoidais, com base em uma formulação tradicional, levando em conta o conteúdo harmônico, e também utilizando conceitos de potência instantânea.

O capítulo 3 apresenta os conceitos fundamentais relacionados à TW, base teórica para o algoritmo desenvolvido. Neste capítulo descreve-se a metodologia utilizada para localizar e classificar distúrbios múltiplos. A validação dos resultados do método desenvolvido foi feita, aplicando-o a sinais teóricos e aos sinais de tensão coletados em um forno a arco industrial.

O quarto capítulo apresenta as conclusões obtidas mostrando as vantagens do método desenvolvido, bem como as propostas para trabalhos futuros.

Ao final são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas como base para o desenvolvimento deste trabalho.