

Estudo e implementação de algoritmos para representação de sinais como distribuições tempo-frequência

Study and implementation of algorithms for signal representation as time-frequency distributions

Eider Balena

eidere@hotmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Giovanni Alfredo Guarneri

giovanni@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se os principais problemas que afetam o Sistema Elétrico de Potência (SEP) relacionados com Qualidade de Energia Elétrica (QEE), e tem por objetivo apresentar conceitos sobre distribuições tempo-frequência (TFD). As distribuições tempo-frequência (t - f) são particularmente úteis para analisar sinais variantes no tempo com características não estacionárias, pois possuem boa capacidade de localização temporal do espectro. Foi analisado através da *Short Time Fourier transform* (STFT), três sinais contendo problemas de QEE. Através da função *spectrogram* as localizações aproximadas das perturbações foram determinadas, no entanto, para uma melhor precisão, deve-se estudar e implementar outras distribuições afim de diminuir a dependência da resolução encontrada na (STFT).

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade de energia. Distribuições. Não estacionárias.

ABSTRACT

This paper presents the main problems that affect the Electric Power System (SEP) related to Electric Power Quality (QEE), and aims to present concepts about time-frequency distributions (TFD). The distributions t - f are particularly useful for analyzing time-varying signals with non-stationary characteristics as they have good temporal localization capabilities. However, if better precision is required, we must seek the implementation of other (TFD) techniques in order to decrease the dependence of the resolution found in the Short Time Fourier Transform (STFT).

KEYWORDS: Power quality. Distributions. Non-stationary.

Recebido: 27 ago. 2018.

Aprovado: 04 out. 2018.

Direito autoral:

Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

As mais diversas mudanças ocorreram nos dispositivos e equipamentos desde o início da utilização da energia elétrica. Os equipamentos antes basicamente resistivos ao decorrer do tempo deram lugar a novas tecnologias com características não lineares. Estas evoluções possibilitaram controlar cargas de grandes potências eletronicamente. A utilização crescente destes dispositivos que muitas vezes são causadores de distúrbios eletromagnéticos que deterioram as formas de ondas, e ou a utilização dos mesmos, que são construídos de maneira a operar dentro de alguns parâmetros pré-definidos de tensão, corrente e frequência, fez com que as exigências em relação a energia elétrica fornecida a estes dispositivos também aumentassem (GARCIA, 2013).

O IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) define o termo Qualidade de Energia (QEE) como sendo uma ampla variedade de fenômenos eletromagnéticos que interferem na forma de onda da tensão e corrente em determinada localização e instante de tempo (IEEE, 1995). Os sistemas de potência geralmente são projetados para operar a uma frequência típica de 50 Hz ou 60 Hz e a uma determinada amplitude. Qualquer problema manifestado na tensão, corrente ou frequência podem provocar inúmeras interferências indesejáveis, como acionamento indevido de relés, mal funcionamento de equipamentos sensíveis e até interrupção do fornecimento de energia elétrica (DELMONT FILHO, 2007).

As principais causas que interferem na QEE podem ser decorrentes de falhas internas ou externas. Dentre os eventos internos ao Sistema Elétrico de Potência (SEP) os mais frequentes e conhecidos são: afundamento de tensão, que é caracterizado como uma diminuição da tensão por um curto período; 0,5 ciclo a 1 minuto e magnitude podendo variar entre 0,1 a 0,9 p.u.; elevação de tensão, representada pelo aumento do valor eficaz na tensão por um breve período de tempo; ruído, definido como uma perturbação aleatória superposta ao sinal da grandeza elétrica e geralmente com frequência entre 0 a 2MHz; distorções harmônicas, periódicas e originadas de combinações entre as ondas fundamentais e seus múltiplos inteiros; entre outros (DELMONT FILHO, 2007; ANEEL, 2015).

Para garantir a qualidade da energia entregue o PRODIST aborda alguns parâmetros, pode-se citar: tensão em regime permanente, fator de potência, nível de distorção harmônica, variações de tensão de curta duração, entre outros (BAGGINI, 2008). O monitoramento permanente dessas grandezas do SEP permite uma operação precisa e um fornecimento de energia contínuo. O estudo da QEE visa identificar e classificar problemas decorrentes de falhas internas ou externas que afetam a QEE (PEREIRA, 2016).

Para analisar sinais não estacionários, característicos do SEP surgiu a necessidade de estudar e desenvolver novas ferramentas ou técnicas para o processamento de sinais, pois a Transformada de Fourier (FT) não é adequada para trabalhar com sinais com estas características (PEREIRA, 2016). Essas técnicas devem possuir a capacidade de fornecer informações no domínio do tempo e da frequência simultaneamente. As distribuições tempo-frequência (TFD) são particularmente úteis para analisar sinais variantes no tempo com características não estacionárias, estudar e apresentar as principais técnicas de decomposição tempo-frequência, explorando suas características e parâmetros

que podem ser extraídos, é de grande importância nas pesquisas relacionadas a problemas de QEE (COHEN, 1989).

Baseado nessas premissas o interesse principal no desenvolvimento deste trabalho é implementar um algoritmo para representação desses sinais. Esse algoritmo será implementado dentro de um *framework* desenvolvido especificamente para a análise de qualidade de energia em registros oscilográficos. Os *frameworks* utilizam de projetos com padrões já definidos com o intuito de facilitar o reuso do código pelo usuário. Este conceito é muito utilizado em engenharia de *software*, que tem por objetivo desenvolver sistemas de qualidade a um custo reduzido (GIMENES E HUZITA, 2005).

METODOLOGIA

A análise de sinais pode ser realizada em diferentes domínios: tempo, frequência e escala. A representação de um sinal no domínio da frequência é obtida pela FT, ferramenta matemática amplamente utilizada em diversos campos da engenharia, foi desenvolvida por Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), cuja principal motivação era encontrar a equação que rege o comportamento do calor. Com o espectro de Fourier é possível conhecer quais frequências estão presentes em um sinal, mas não é possível saber quando essas frequências ocorrem no tempo, o que implica em perda de informação. Isso torna a transformada de Fourier inadequada para sinais não estacionários no tempo (COHEN, 1995). Outra técnica para se obter um diagrama tempo-frequência é o espectrograma, conhecido também como *Short Time Fourier Transform* (STFT), técnica muito utilizada por sua rapidez e simplicidade.

Na STFT, o sinal é dividido em pequenos segmentos, denominados de janelas, dentro das quais o sinal é considerado aproximadamente estacionário. Isso permite aplicar a Transformada Discreta de Fourier (DFT) a cada um dos segmentos de forma separada, determinando assim seu espectro. As janelas podem ser deslocadas e sobrepostas uma sobre outra no decorrer do tempo. O tamanho da janela também pode ser ajustado em busca de uma melhor resolução conjunta. No entanto, uma vez fixado o seu tamanho, a resolução no tempo e na frequência permanecem constantes em todo plano tempo-frequência (COHEN, 1995).

Matematicamente, isto é descrito da seguinte forma:

$$STFT \{x(t)\} = X(t-\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\omega(t-\tau)e^{-j\omega\tau}d\tau \quad (1)$$

Onde: $\omega(t)$ é a função janela, normalmente uma janela de Hann ou janela gaussiana com centro em zero, $x(t)$ é o sinal a ser transformado e $X(\tau, \omega)$ é a transformada de Fourier de $x(t)\omega(t-\tau)$.

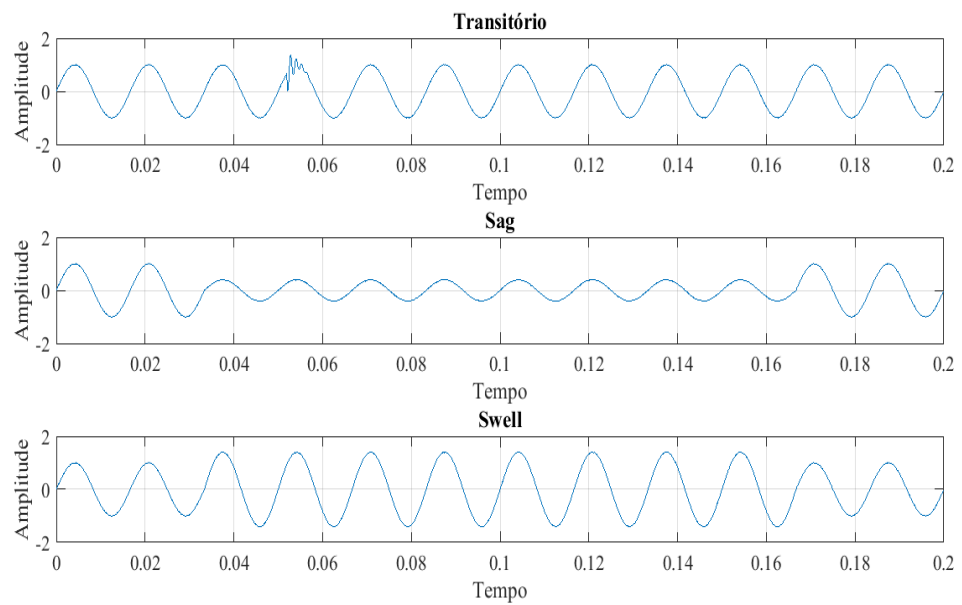
A magnitude ao quadrado da STFT dá origem a função *spectrogram*:

$$Spectrogram = \{x(t)\} = |X(\tau, \omega)|^2 \quad (2)$$

Devido ao grande número de sinais com problemas de QEE este estudo estará limitado a três tipos de sinais com características não estacionárias: (I)

sinais com transitórios; (II) sinais com *SAG*se (III) com *SWELL*s. *Sags* e interrupções de curta duração podem reduzir o desempenho dos equipamentos ou até desligá-los. Esses distúrbios afetam o funcionamento de sistemas de controle, inversores de frequência e equipamentos de tecnologia da informação (BAGGINI, 2008).

Figura 1 – Sinais contendo problemas de QEE



Fonte: Autoria própria (2018).

Os sinais de energia elétrica fornecidos pelos sistemas de distribuição são idealmente uma forma de onda senoidal com o valor de frequência fundamental. Os sinais sintéticos de qualidade de energia são combinações do sinal senoidal puro com distúrbios, como transitórios oscilatórios e impulsivos, variações de tensão, desequilíbrios de tensão, distorções, flutuações de tensão, variação de frequência e ruído. Para verificar a eficácia da técnica implementada na identificação de perturbações foram utilizados três sinais com forma de onda senoidal com amplitude de 1p.u. e frequência de 60Hz contendo os seguintes distúrbios: *sag*, *swell* e transitório oscilatório.

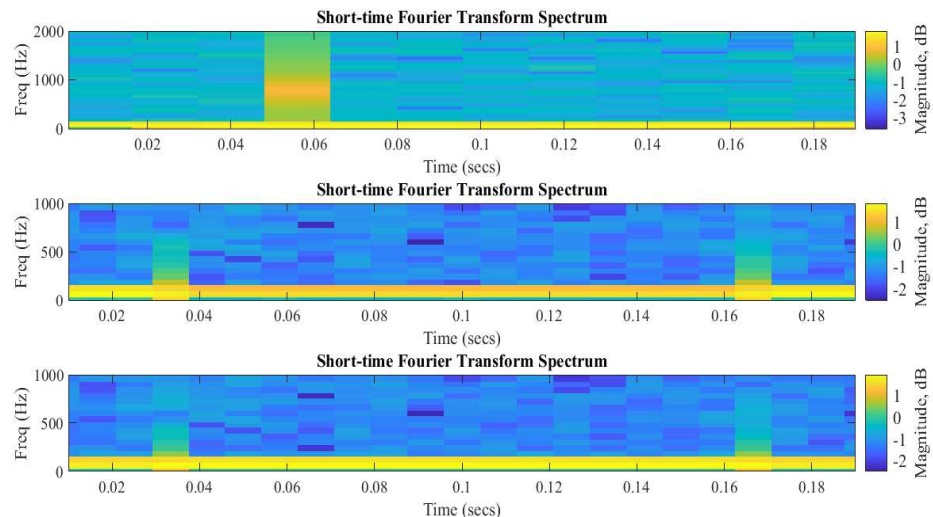
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para obtermos informações aceitáveis no estudo de fenômenos relacionados à QEE, precisamos de uma ferramenta que possa obter as informações em ambos os domínios, tempo e frequência, estas informações são muito importantes na caracterização dos fenômenos. Desta maneira é possível visualizar o comportamento de cada componente de frequência do sinal no decorrer do tempo. Para um melhor entendimento dos distúrbios a análise de componentes espectrais é de fundamental importância.

Os sinais foram analisados fazendo-se uso da STFT (espectrograma), como o objetivo de verificar como a energia do sinal está distribuída no plano t-f. Na Figura 1 mostra-se em detalhe as perturbações. Na Figura 2 pode-se ver o espectrograma para uma janela de largura 0,166 s com sobreposição de 128

amostras para sinal contendo *sag* e *swell*, em que é possível identificar os instantes aproximados em que ocorrem as componentes de maior frequência.

Figura 2 – Espectrograma dos sinais contendo problemas de QEE



Fonte: Autoria própria (2018).

O tom de cor de cada retângulo representa a magnitude da transformada, onde cores mais “quentes” representam maior amplitude das componentes de frequência. Percebe-se que as perturbações foram detectadas para os três casos, mostrando os instantes de tempo aproximados da ocorrência das perturbações. Para o transitório as componentes de maior frequência ocorrem entre 0,05 e 0,066 s e para o *sag* e *swell* entre 0,029 e 0,0375 s, no entanto a escolha da janela mais adequada para analisar os sinais é uma tarefa difícil, sendo necessário, em muitos casos, executar vários testes sobre o sinal analisado. O fato de a largura da janela ser ajustada uma única vez durante a análise faz com que a resolução sobre as frequências seja a mesma durante todo intervalo de tempo analisado.

CONCLUSÕES

Mesmo a STFT sendo uma das ferramentas mais utilizadas na análise de sinais não estacionários, seu uso fica limitado a sinais naturais, em que o conteúdo espectral muda lentamente. Em sinais cujo conteúdo espectral está mudando muito rapidamente é difícil encontrar uma janela de tempo curto apropriada, já que pode não haver nenhum intervalo de tempo para o qual o sinal seja considerado estacionário. A redução na janela de tempo implicaria na redução da resolução da frequência. Nestes casos a STFT não é suficiente para extrair informações com precisão adequada. Nos instantes em que as frequências são mais altas uma maior aproximação é conveniente, necessitando variar o tamanho da janela nestes instantes para determinar com maior exatidão o tempo ou a frequência. Desta forma, caso uma maior precisão seja necessária é aconselhável estudar outras técnicas para se obter diagramas de tempo-frequência que minimizem a dependência da resolução encontrado na STFT.



REFERÊNCIAS

GARCIA, V. V. **Caracterização de eventos transitórios da qualidade de energia elétrica utilizando sistemas inteligentes e processamento de sinais**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2013.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **Standard 1159-1995: Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality**. IEEE Standard 1159-1995, 1995.

DELMONT FILHO, O. **Um algoritmo para detecção, localização e classificação de distúrbios na qualidade de energia elétrica utilizando a transformada wavelet**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015.

BAGGINI, A. **Handbook of Power Quality**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2008. 1-618 p. ISBN 9780470754245. Disponível em <http://doi.wiley.com/10.1002/9780470754245>.

PEREIRA, S. **Transformada wavelet aplicada a análise automática de oscilografias de curta duração em unidades geradoras**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, 2016.

COHEN, L. **Time-frequency distribution - A review**. Proceedings of the IEEE, v.77, n.7, p. 941-981, jul 1989.

GIMENES, I. M. S.; HUZITA, E. H. M. **Desenvolvimento baseado em componentes: conceitos e técnicas**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2005.

COHEN, L. **Time-frequency Analysis**. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1995. 315 p. ISBN 0135945321.