



**XXIII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GAT/10
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - IV

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA- GAT

Identificação em tempo real de oscilações eletromecânicas utilizando sincrofasores

Rodolfo Bialecki Leandro(*)
UFSC

Ildemar Cassana Decker
UFSC

Aguinaldo Silveira e Silva
UFSC

Marcelo Neujahr Agostini
Plan4 Engenharia

Thiago Jeremias
UFSC

RESUMO

Neste trabalho descreve-se a implementação de técnicas de identificação de sistemas e processamento de sinais em um aplicativo computacional utilizado no monitoramento em tempo real de oscilações eletromecânicas em Sistemas de Energia Elétrica (SEE). As metodologias implementadas, o método de Welch e o método de subespaço de estados CCA (*Canonical Correlation Analysis*), empregam apenas medidas de entrada e saída de SEE no processo de estimação. Os resultados obtidos permitem o rastreamento de dois dos principais modos interárea do Sistema Interligado Nacional (SIN), a partir da utilização de sincrofasores do Sistema Nacional de Medição Fasorial Sincronizada em Baixa Tensão – MedFase BT.

PALAVRAS-CHAVE

Oscilações eletromecânicas, sincrofasores, monitoramento em tempo real.

1.0 - INTRODUÇÃO

O problema de estabilidade angular a pequenas perturbações envolve o estudo das oscilações eletromecânicas, fenômenos de ocorrência natural em Sistemas de Energia Elétrica (SEE) originados por diferentes formas de interação entre as máquinas síncronas que compõem esses sistemas [1][2]. O conhecimento preciso das características das oscilações eletromecânicas fornece informações essenciais acerca das condições de estabilidade dos SEE [3]. Dessa forma, a correta identificação e caracterização dessas oscilações é primordial para a manutenção da segurança dinâmica dos sistemas.

Tradicionalmente, para realizar estudos de estabilidade angular a pequenas perturbações, aplica-se análise modal a um modelo do sistema linearizado em torno de um ponto de operação. No entanto, a construção desses modelos matemáticos é de difícil implementação devido ao tamanho e à complexidade dos SEE. Além disso, o resultado de cada análise modal é válido apenas para o ponto de operação escolhido [4].

Frente a essas dificuldades, nas últimas duas décadas, várias técnicas de identificação de sistemas e processamento de sinais vem sendo desenvolvidas para a estimação dos modos de oscilação a partir de medidas de SEE [5]. A principal vantagem dessa abordagem é a independência dos complexos modelos detalhados dos sistemas. A crescente implementação de Sistemas de Medição Sincronizada Fasorial (SMSF) em diversos países, impulsionou o desenvolvimento dessa classe de técnicas baseadas em medidas. Isto porque, devido à sincronização temporal e às altas resoluções (até 60 fasores por segundo), as medidas fasoriais possibilitam a obtenção dos melhores resultados no processo de estimação.

O objetivo deste trabalho é a aplicação de técnicas de estimação baseadas em medidas a sincrofasores, para a identificação em tempo real de modos eletromecânicos no SIN. As técnicas de estimação implementadas neste

(*) LabPlan / EEL / CTC / UFSC – CEP 88.040-900 – Florianópolis, SC, Brasil
Tel: (48) 3721-9731 – Email: rodolfobialeckileandro@gmail.com

Este informe técnico está organizado da seguinte forma. Na seção 2 descreve-se o Sistema Nacional de Medição Fasorial Sincronizada em Baixa Tensão – MedFasee BT, cujos sincrofases foram utilizados no monitoramento de modos eletromecânicos. Na seção 3 apresentam-se as técnicas de estimação baseadas em medidas aplicadas a esses sincrofases. Na seção 4, descreve-se o aplicativo computacional no qual foram implementadas as técnicas de estimação. Na seção 5, apresentam-se os resultados obtidos com o monitoramento de dois dos principais modos interárea do SIN. Por fim, na seção 6, as principais conclusões obtidas com o trabalho são apresentadas.

2.0 - O SISTEMA NACIONAL DE MEDIÇÃO FASORIAL SINCRONIZADA EM BAIXA TENSÃO – MEDFASEE BT

O sistema MedFasee BT, constituído por 23 PMUs (*Phasor Measurement Units*) instaladas em universidades das 5 regiões geográficas brasileiras, permite realizar o monitoramento do desempenho dinâmico do SIN em tempo real. As PMUs, cujas localizações são mostradas na Figura 1, adquirem as grandezas elétricas da rede de baixa tensão na forma de fasores sincronizados no tempo à taxa de 60 fasores por segundo. Os pacotes de dados são então enviados pela Internet ao concentrador de dados fasoriais (PDC – *Phasor Data Concentrator*) instalado na UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), em Florianópolis. O PDC organiza, armazena e disponibiliza os dados fasoriais para aplicações *off-line* e em tempo real. Um exemplo de aplicação em tempo real é o monitoramento de oscilações eletromecânicas no SIN, apresentado neste trabalho.



3.0 - ESTIMAÇÃO DE MODOS ELETROMECÂNICOS BASEADA EM MEDIDAS

As técnicas de estimação de modos de oscilação baseadas em medidas constituem uma importante alternativa à abordagem clássica de estimação, dependente da complexa modelagem matemática de SEE. Entre as técnicas de estimação baseadas em medidas estão os métodos de identificação de sistemas e as técnicas de processamento de sinais.

Os métodos de identificação de sistemas consistem na utilização de séries de dados (entradas e/ou saídas) de um sistema para a construção de um certo modelo parametrizado a partir do qual pode-se reproduzir a série de dados. Essas técnicas admitem perdas em precisão nos resultados em troca de grandes ganhos em simplificação na obtenção dos modelos [6].

Além da identificação de sistemas por meio de modelos parametrizados obtidos através de dados do sistema, técnicas de processamento de sinais compõem o arcabouço de métodos de estimação de modos eletromecânicos baseados em medidas. Com essas técnicas é possível realizar análises de correlação ou estimação espectral [7], permitindo a obtenção de características importantes acerca dos modos eletromecânicos dominantes do sistema em análise.

Neste trabalho, duas metodologias são aplicadas na estimação de modos eletromecânicos de SEE. O método espectral de Welch e o método de identificação por subespaço de estados CCA. Nas subseções a seguir, apresentam-se os algoritmos implementados para a utilização desses métodos.

3.1 Método de Welch

O método de Welch apresentado em [8] consiste em um algoritmo para o cálculo da densidade espectral de sinais pela aplicação do algoritmo de FFT. Para isso, são executados três passos:

1. Considerando $y(j)$ uma sequência de N amostras de uma saída do sistema, com $j = 0, \dots, N-1$. Seccionar essa sequência em segmentos de comprimento L , com seus inícios separados por D amostras, sendo $D \leq L$. Ou seja, admite-se sobreposição entre segmentos adjacentes, conforme ilustra a Figura 2. Considerando K segmentos tem-se:

$$y_1(j) = y(j), \quad j = 0, \dots, L-1; \quad (1)$$

$$y_2(j) = y(j+D), \quad j = 0, \dots, L-1. \quad (2)$$

Finalmente:

$$y_K(j) = y(j + (K-1)D), \quad j = 0, \dots, L-1. \quad (3)$$

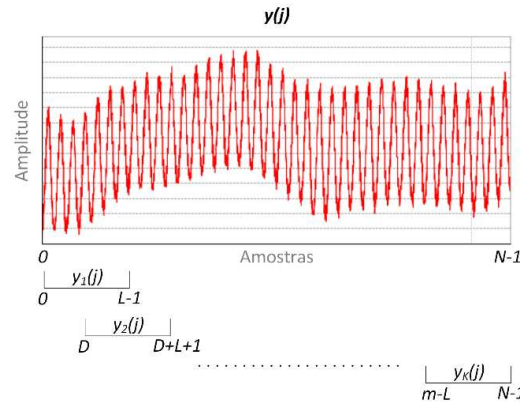


Figura 2 – Segmentação no sinal.

2. Para cada um dos segmentos calcula-se um periodograma modificado. Isto é, seleciona-se uma janela de dados com coeficientes $w(j)$, sendo $j = 0, \dots, L-1$; e formam-se as sequências $y_1(j)w(j), \dots, y_K(j)w(j)$. Então, obtêm-se as transformadas de Fourier $A_1(n), \dots, A_K(n)$ dessas sequências, onde $n = 0, \dots, \frac{L}{2}$, por:

$$A_k(n) = \frac{1}{L} \sum_{j=0}^{L-1} y_k(j) w(j) e^{-\frac{2\pi i j n}{L}}, \quad (4)$$

onde $i = (-1)^{\frac{1}{2}}$. Finalmente, os K periodogramas modificados são obtidos pela seguinte equação:

$$I_k(f_n) = \frac{1}{U} |A_k(n)|^2, \quad k = 1, \dots, K; \quad (5)$$

onde

$$f_n = \frac{n}{L} \quad (6)$$

e

$$U = \frac{1}{L} \sum_{j=0}^{L-1} w^2(j) \quad (7)$$

Para uma janela retangular, por exemplo, $U = 1$.

3. Por fim, a estimativa da densidade espectral é obtida como a média dos periodogramas conforme:

$$\hat{P}(f_n) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{K-1} I_k(f_n) \quad (8)$$

Neste trabalho, a frequência considerada como dominante é aquela que apresenta maior amplitude entre todas as frequências representadas no periodograma.

3.2 Métodos de subespaço de estados

O nome “métodos de subespaço” remete ao fato de que as informações utilizadas por esses métodos na identificação de sistemas são obtidas a partir dos espaços linha e coluna de certas matrizes compostas por medidas de entrada e saída dos sistemas [6]. Os métodos de subespaço de estados têm como principais vantagens a simplicidade e a robustez das técnicas matemáticas utilizadas em seus algoritmos, e a forma de representação em espaço de estados muito conveniente para propósitos de controle do sistema estudado [9].

Os principais passos do algoritmo de identificação por subespaço de estados empregado neste trabalho são apresentados a seguir [6][10].

1. Tomando $M+1$ amostras de l saídas, formar a sequência de vetores de saída y_0, y_1, \dots, y_M , onde $y_k \in \mathbb{R}^{l \times 1}$ para $k = 0, \dots, M$. As matrizes bloco de Hankel estendidas são formadas como:

$$Y_p \equiv \begin{bmatrix} y_0 & y_1 & \dots & y_{j-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{i-1} & y_i & \dots & y_{i+j-2} \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{l \times j} \quad (9)$$

$$Y_f \equiv \begin{bmatrix} y_i & y_{i+1} & \dots & y_{i+j-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{2i-1} & y_{2i} & \dots & y_{2i+j-2} \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{l \times j} \quad (10)$$

onde l (número de linhas de blocos) é um inteiro selecionado previamente ao menos maior que a ordem escolhida para o modelo n , e j é calculado por $j = M - 2i + 2$.

2. Calcular a projeção

$$O_i \equiv \frac{Y_f}{Y_p} \quad (11)$$

3. Calcular a decomposição em valores singulares da projeção ponderada

$$W_1 O_i W_2 = USV^T \quad (12)$$

onde W_1 e W_2 são matrizes de peso que dependem do método de subespaço de estados escolhido. Para o método CCA, empregado neste trabalho, W_1 é igual a $\Phi^{-\frac{1}{2}} [Y_f^T Y_f]$ (onde $\Phi [Y_f^T Y_f]$ é a matriz de covariância da matriz Y_f) e W_2 é uma matriz identidade.

4. Definir a ordem n do sistema como igual ao número de valores singulares significantes na matriz S . Particionar a decomposição em valores singulares da seguinte maneira

$$W_1 O_i W_2 = USV^T = [U_1 \ U_2] \begin{bmatrix} S_1 & 0 \\ 0 & S_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^T \\ V_2^T \end{bmatrix} \quad (13)$$

onde $U_1 \in \mathbb{R}^{l \times n}$, $U_2 \in \mathbb{R}^{l \times (l-n)}$, $S_1 \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $S_2 \in \mathbb{R}^{(l-n) \times (j-n)}$, $V_1^T \in \mathbb{R}^{n \times j}$ e $V_2^T \in \mathbb{R}^{(j-n) \times j}$.

5. Calcular a matriz de observabilidade estendida por meio de

$$\Gamma_i = W_1^{-1} U_1 S_1^{-\frac{1}{2}} \quad (14)$$

6. Obter as matrizes A e C a partir da matriz de observabilidade estendida

$$C = \Gamma_i (1:l, :) \quad (15)$$

$$A = \Gamma_i (1:l, :) \quad (16)$$

onde Γ_i e $\bar{\Gamma}_i$ são iguais a matriz de observabilidade estendida Γ_i , sem as últimas l linhas e sem a primeiras l linhas, respectivamente; e o símbolo $()$ representa a pseudoinversa de uma matriz.

7. O interesse está nos autovalores da matriz de estados A , a partir dos quais são obtidos os modos de oscilação comuns aos sinais formados pelos vetores de saída y_0, y_1, \dots, y_M . Assim, considerando um autovalor λ , representado por um par de complexos conjugados na forma:

$$\lambda = \sigma \pm j\omega \quad (17)$$

A frequência de oscilação, em Hertz, do modo é obtida a partir da componente imaginária do autovalor, por meio de [1]:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (18)$$

A taxa de amortecimento do modo pode ser encontrada utilizando [1]:

$$\zeta = \frac{-\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2}} \quad (19)$$

Após a aplicação do algoritmo de identificação por subespaço de estados, deve-se definir, entre os modos estimados, qual é o modo dominante do sistema. Neste trabalho, a caracterização do modo dominante estimado pelo método CCA é feita por meio do cálculo do Índice de Dominância Modal (IDM) [11].

4.0 - APLICATIVO DE MONITORAMENTO DE MODOS ELETROMECHANICOS EM TEMPO REAL

Um aplicativo computacional foi implementado em linguagem C# para realizar o monitoramento em tempo real de modos eletromecânicos de SEE através da análise de sincrofasores. Os principais processos desempenhados pelo aplicativo são descritos a seguir. A Figura 3 apresenta um diagrama ilustrativo do funcionamento global do aplicativo desenvolvido.

1. **Aquisição de dados:** a aquisição de um fluxo de dados fasoriais em tempo real é o primeiro processo realizado pelo aplicativo de monitoramento. Os pacotes de dados recebidos são organizados de acordo com a norma IEEE C37.118-2/2011 [12]. O protocolo de comunicação empregado é o UDP (*User Datagram Protocol*), indicado para aplicações em tempo real pois não se atém a tratamento de erros e à espera de pacotes perdidos.
2. **Interpretação/Organização:** os dados enviados pelo PDC e recebidos pelo aplicativo são extraídos dos pacotes, interpretados e organizados por terminal de medição para o monitoramento das grandezas fasoriais.
3. **Monitoração de grandezas fasoriais:** o monitoramento de grandezas fasoriais pode ser feito por meio de gráficos no tempo e gráficos polares. Com os gráficos no tempo pode-se monitorar módulos de tensões e correntes, diferenças angulares, frequências e potências ativas e reativas (quando há medição de corrente no terminal).
4. **Identificação de modos de oscilação:** a identificação de modos de oscilação é feita utilizando os sinais temporais traçados na etapa de monitoramento de grandezas fasoriais. Primeiramente, realiza-se o pré-processamento dos dados com etapas de remoção de *outliers*, remoção de média, filtragem e *downsampling*.

Após o pré-processamento, o método de subespaço de estados CCA e o método de Welch são aplicados aos sinais para a estimação dos modos. Se os modos dominantes calculados por ambos os métodos, tiverem frequências similares, o resultado é validado e apresentado ao usuário. Caso contrário, o resultado é omitido, o processo segue normalmente para a análise de uma nova janela de dados.

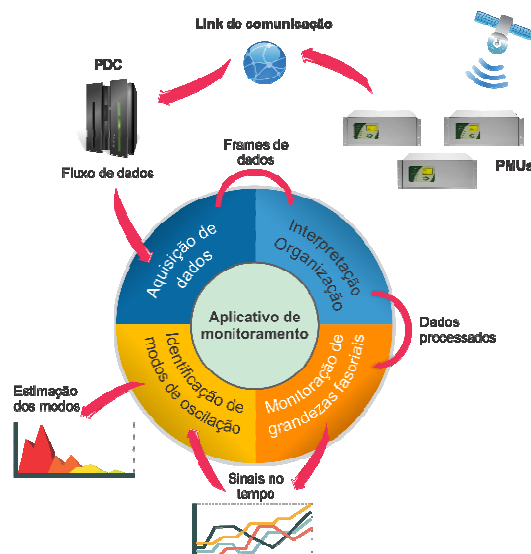


Figura 3 - Diagrama ilustrativo do aplicativo de monitoramento [13].

5.0 - RESULTADOS DE APLICAÇÃO

O aplicativo descrito na seção anterior foi utilizado no monitoramento de dois modos interárea do SIN, o modo Norte-Sul e o modo Acre/Rondônia-SIN. O modo Norte-Sul é resultado da interação entre as áreas Norte/Nordeste e Sul/Sudeste/Centro-Oeste e apresenta frequência na faixa de 0,2 a 0,4 Hz. O modo Acre/Rondônia-SIN representa a interação do subsistema formado pelos dois estados em relação ao restante do SIN, com frequência na faixa de 0,4 a 0,7 Hz [14].

Para a aplicação das técnicas no monitoramento dos modos, faz-se necessária a escolha prévia de alguns parâmetros. Empregam-se, para ambos os métodos, janelas deslizantes com 10 minutos de dados. Escolhem-se ainda como parâmetros para o método CCA: ordem igual a 12 para os modelos estimados e número de linhas de blocos (i) das matrizes de Hankel igual a 120. Para o método de Welch divide-se cada janela deslizante de 10 minutos de dados em 20 segmentos, com sobreposição de 50% entre segmentos adjacentes.

5.1 Modo Norte-Sul

O modo Norte-Sul foi monitorado entre às 17:00 e às 18:00 do dia 4 de março de 2015. Na análise foram utilizados os sinais de diferenças angulares entre as tensões de sequência positiva dos terminais UFSC (Florianópolis - SC) e UFPE (Recife - PE) com relação ao terminal UFC (Fortaleza - CE). Os sinais utilizados no monitoramento são apresentados na Figura 4.

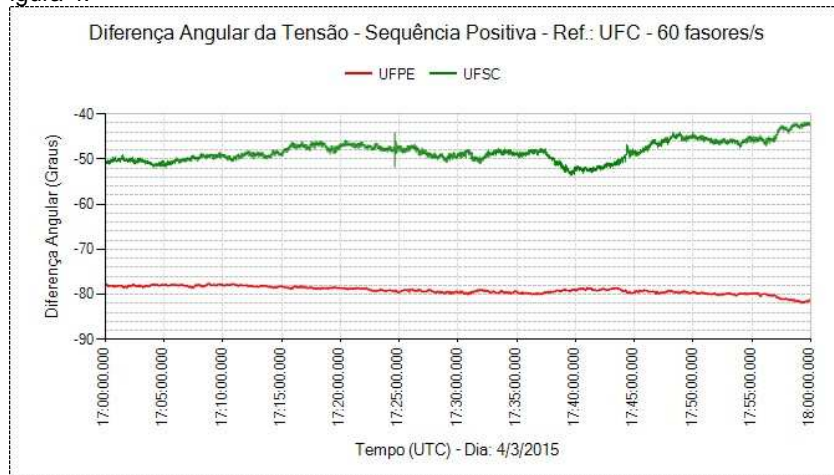


Figura 4 - Sinais utilizados no monitoramento do modo Norte-Sul.

A frequência estimada para o modo dominante nesta análise ao longo do período monitorado é apresentada na Figura 5. Os valores estão dentro da faixa de frequências esperada para o modo Norte-Sul (entre 0,2 e 0,4 Hz), com média igual a 0,34 Hz e desvio padrão inferior a 0,01 Hz. No fim do período de análise alguns pontos desviam-se significativamente da tendência observada nas vizinhanças. Essa característica é inerente aos métodos de subespaço de estados, podendo ser explicada pelo efeito da não-estacionariedade do sistema elétrico.

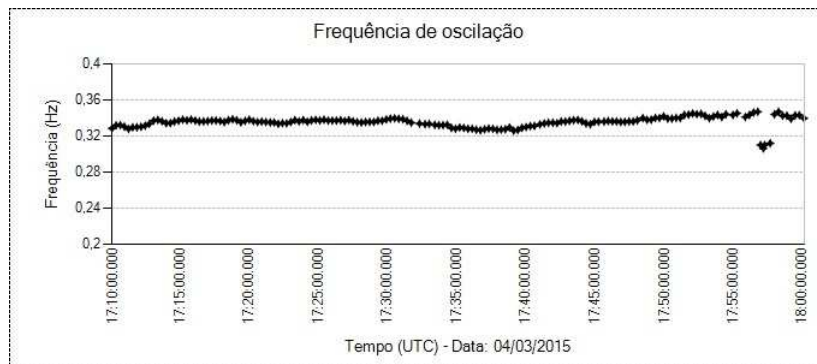


Figura 5 - Frequência estimada do modo Norte-Sul.

A taxa de amortecimento estimada para o modo Norte-Sul é apresentada na Figura 6. O valor médio das estimativas é igual a 11% e o desvio-padrão é inferior a 2%. Assim como no gráfico da frequência, alguns pontos dispersos são observados na parte final do gráfico.



Figura 6 - Taxa de amortecimento estimada do modo Norte-Sul.

5.2 Modo Acre/Rondônia-SIN

O modo Acre/Rondônia-SIN foi monitorado durante o período das 18:00 às 19:00 do dia 9 de março de 2015. Para tanto, foram utilizados os sinais de frequência medidos nos terminais UFAC (Rio Branco – Acre) e UNIR (Porto Velho – Rondônia), apresentados na Figura 7.

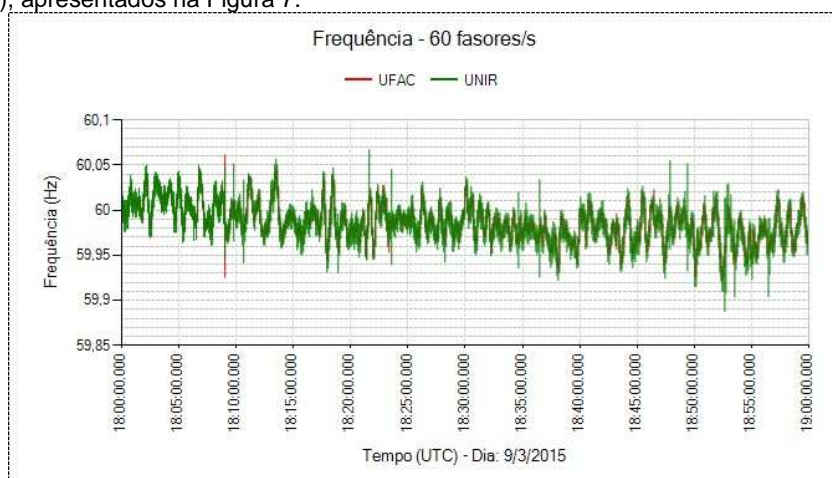


Figura 7 - Sinais utilizados no monitoramento do modo ACRO-SIN.

Os valores estimados para a frequência do modo dominante nesta análise podem ser visualizados no gráfico da Figura 8. O valor médio das estimativas é igual a 0,5 Hz, com desvio-padrão inferior a 0,01 Hz. Novamente, assim como no monitoramento do modo Norte-Sul, os valores estimados encontram-se na faixa de frequências esperada para o modo. Além disso, a evolução dos valores ao longo do período está bem definida, com reduzida dispersão.

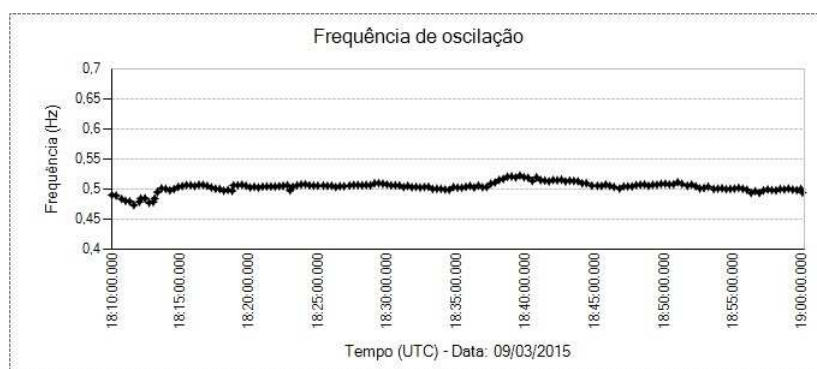


Figura 8 - Frequência estimada do modo Acre/Rondônia-SIN.

Na Figura 9, apresentam-se os valores estimados para a taxa de amortecimento do modo Acre/Rondônia-SIN. A taxa de amortecimento varia consideravelmente no período analisado, aproximadamente entre 6 a 18%, com valor médio igual a 12,5 % e desvio-padrão um pouco superior a 3%.



Figura 9 - Taxa de amortecimento estimada do modo Acre/Rondônia-SIN.

6.0 - CONCLUSÃO

Neste trabalho foi descrita a implementação computacional de técnicas de identificação de sistemas e processamento de sinais para o monitoramento em tempo real de oscilações eletromecânicas em SEE. Dois métodos foram implementados, o método espectral de Welch e o método de subespaço de estados CCA. Os dados empregados para aplicação das técnicas foram os sincrofasores do Sistema Nacional de Medição Fasorial Sincronizada em Baixa Tensão – MedFasee BT.

O aplicativo foi empregado em duas análises, para o monitoramento dos modos interárea Norte-Sul e Acre/Rondônia-SIN, durante o período de uma hora em condições normais de operação. Os resultados permitiram acompanhar a evolução dos valores de frequência de oscilação e taxa de amortecimento com clara definição ao longo dos períodos analisados. Os valores médios de frequência encontrados para os modos Norte-Sul e Acre/Rondônia-SIN foram de 0,34 Hz e 0,5 Hz, com desvios-padrão inferiores a 0,01 Hz. Para o modo Norte-Sul a taxa de amortecimento teve valor médio igual a 11% com desvio-padrão inferior a 2%. Para o modo Acre/Rondônia-SIN o amortecimento variou mais, entre 6 a 18%, tendo valor médio igual a 12,5% e desvio-padrão um pouco superior a 3%.

Sobretudo pelos baixos níveis de dispersão nos resultados, o aplicativo desenvolvido apresenta-se como uma ferramenta muito útil na determinação das condições operativas de uma ou mais áreas de sistemas elétricos. As informações de frequência e taxa de amortecimento fornecidas como resultado podem ajudar aos operadores a prevenir situações de risco à segurança dinâmica dos sistemas elétricos.

7.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio de CNPq, CAPES, ONS e CTEEP. Este trabalho faz parte dos desenvolvimentos do projeto de P&D intitulado “Sistema piloto para avaliação automática de segurança dinâmica baseado em regiões de segurança e medição fasorial sincronizada”, parceria entre LabPlan/UFSC, HPPA e CTEEP.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KUNDUR, P. Power System Stability and Control. New York: McGraw-Hill Professional, 1994.
- [2] DOSIEK, L. A. Estimating power system electromechanical modes and mode shapes using modern system identification techniques. Tese (Ph.D.) – University of Wyoming, Laramie, WY, 2010.
- [3] WIES, R. W. Estimating low-frequency electromechanical modes of power system using ambiente data. Tese (Ph.D.) - Unievrsty of Wyoming, Laramie, WY, 1999.
- [4] LIU, G. Oscillation monitoring system based on wide area phasor measurements in power systems. Tese (Ph.D.) – Washington State University, Pullman, WA, 2010.
- [5] PRIOSTE, F. B.; SILVA, A. S.; DECKER, I. C. Monitoring oscillations modes of the brazilian interconnected power system using ambient data. In: PowerTech, 2011 IEEE Trondheim. Trondheim, 2011. p. 1-7.
- [6] OVERSCHEE, P. v. Subspace Identification for Linear Systems: Theory – Implementation – Applications. Boston: Springer, 2011.
- [7] PROAKIS, J. G. Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications. 3rd. edition. Upper Saddle River : Prentice Hall, 1995.

- [8] WELCH, P. D. The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short , modified periodograms. IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics, v. 15, n. 2, p. 70 – 73, jun. 1967.
- [9] IEEE PES Task Force on Modal Identification of Electromechanical Modes. Identification of Electromechanical Modes in Power Systems. Jun. 2012.
- [10] ZHOU, N.; PIERRE, J.; HAUER, J. Initial results in power systems identification from injected probing signals using a subspace method. IEEE Transactions on Power Systems, v. 21, n. 3, p. 1296 – 1302, ago. 2006.
- [11] AGUIRRE, L. Quantitative measure of modal dominance for continuous systems. In: Proceedings of the 32nd. IEEE Conference on Decision and Control, vol. 3, p. 2405 – 2410, dec. 1993.
- [12] IEEE Standard for Synchrophasor Data Transfer for Power Systems. IEEE Std C37.118.2-2011 (Revision of IEEE Std C37.118-2005), p. 1 – 53, dez 2011.
- [13] LEANDRO, R. B. Identificação em tempo real de oscilações eletromecânicas utilizando sincrofasores. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2014.
- [14] ZIMMER, V. et. al. Análise do desempenho dinâmico do SIN durante grandes perturbações utilizando sincrofasores. In: XIII Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica – SEPOPE. Foz do Iguaçu, PR, 2014.

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Rodolfo Bialecki Leandro é graduado em Engenharia Elétrica e mestre em Sistemas de Energia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2011 e 2014, respectivamente). Atualmente, atua como pesquisador junto ao Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica (LabPlan – UFSC) desenvolvendo aplicações para sistemas de medição fasorial sincronizada.



Ildemar Cassana Decker é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Católica de Pelotas (1980), mestre (1984) e doutor em Sistemas de Energia Elétrica (1993) pela Universidade Federal de Santa Catarina e pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, respectivamente. Desde 1985 é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina. Suas áreas principais de interesse são métodos computacionais para análise e controle de sistemas de energia elétrica e o desenvolvimento e aplicação de sistemas de medição fasorial sincronizada.

Aguinaldo Silveira e Silva possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná (1977), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1982) e doutorado em Doutorado - University of Manchester Institute of Science and Technology (1990). Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Santa Catarina. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Medição, Controle, Correção e Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: sistemas de potencia, estabilidade para pequenas perturbações, medição fasorial, projeto de controladores e programação orientada a objetos.



Marcelo Neujahr Agostini é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, 1996) e doutor em Sistemas de Energia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 2002). Participa do Projeto MedFasee desde 2002, projeto pioneiro no desenvolvimento da tecnologia de medição fasorial no Brasil. Áreas principais de interesse: medição fasorial sincronizada, modelagem e dinâmica de sistemas elétricos, modelagem orientada a objetos, engenharia de software e computação de alto desempenho aplicadas a sistemas elétricos.



Thiago Jeremias é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2009) e mestre pela mesma instituição (2012). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em medição fasorial sincronizada. Atualmente ocupa o cargo de Engenheiro Eletricista na CELESC Distribuição na área de Engenharia e Planejamento do Sistema Elétrico, na divisão de Eficiência Energética.