



Influência da Variação de Parâmetros e Entradas Desconhecidas na Localização de Falhas via Observadores de Estado

Gilberto Pechoto de Melo

UNESP – Ilha Solteira. Departamento de Engenharia Mecânica. Avenida Brasil Sul, 56. CEP: 15385-000

gilberto@dem.feis.unesp.br

Davi Silveira de Abreu

UNESP – Ilha Solteira. Departamento de Engenharia Mecânica. Avenida Brasil Sul, 56. CEP: 15385-000

daviabreu@ieg.com.br

Jorge Henrique Marano

UNESP – Ilha Solteira. Departamento de Engenharia Mecânica. Avenida Brasil Sul, 56. CEP: 15385-000

jorgemarano@bol.com.br

Resumo: *Nos últimos anos, novas técnicas de detecção e localização de falhas foram desenvolvidas devido a grande preocupação das indústrias com a segurança de seus sistemas, a fim de evitar falsos alarmes e paradas desnecessárias dos sistemas mecânicos em operação. Neste trabalho é apresentada uma metodologia para a detecção e localização de falhas em sistemas mecânicos com variações de parâmetros utilizando observadores de estado, o qual pode reconstruir estados não medidos ou valores provenientes de pontos de difícil acesso em um sistema, montando-se um banco de observadores para supervisionar o processo. Além disso, são apresentadas duas metodologias para a identificação de entradas desconhecidas, o Método das Séries de Fourier e o Método Direto de Identificação. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, tanto na análise de variação de parâmetros como na identificação de forças de excitação.*

Palavras chave: *observadores de estado, variações de parâmetros, entradas desconhecidas, detecção e localização de falhas.*

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, uma das maiores preocupações da indústria é a de manter seus equipamentos em funcionamento sem que ocorram paradas repentinas. Devido essa preocupação constante, observa-se nos últimos tempos o desenvolvimento de novas técnicas de detecção e localização de falhas em sistemas mecânicos submetidos a carregamentos dinâmicos. A fim de garantir o funcionamento dos sistemas mecânicos com segurança, estes devem ser supervisionados e monitorados para que as falhas sejam sanadas o mais rápido possível, pois se não, os distúrbios em operação normal podem levar a uma deterioração da performance do sistema ou até mesmo a situações perigosas. As ferramentas para análise teórica dos sistemas dinâmicos atuais são bastante sofisticadas a ponto de poderem simular modelos complexos em computadores modernos, entretanto, existem grandes dificuldades na predição do comportamento dinâmico de certos componentes estruturais e na diagnose de falhas devido à inexatidão do modelo teórico ou mesmo pela dificuldade de medição de algumas variáveis do sistema.

A técnica de detecção de falhas utilizando observadores de estado pode reconstruir os estados não medidos ou os valores provenientes de pontos de difícil acesso no sistema. Sendo assim, pode-se detectar falhas nestes pontos sem o conhecimento de suas medidas, podendo monitorá-los através da reconstrução de seus estados. As metodologias utilizando observadores de estado existentes são na sua maioria destinadas a resolver problemas de controle e detecção de possíveis falhas em sensores e instrumentos (Howell, J., 1994).

Há aproximadamente duas décadas que o problema de detecção de falhas tem sido estudado por pesquisadores, onde basicamente se tem utilizado técnicas através de observadores de estados em sistemas de controle e/ou métodos de estimação de parâmetros. Pode-se mencionar algumas das mais utilizadas metodologias: Observadores de Luenberger (Luenberger, D. G., 1964 e Luenberger, D. G., 1971), Observadores Dedicados, Detecção através de Filtros (Chen, J. & Patton, R. J., 1996), Consistência de Espaço, Observadores Robustos para Entradas Desconhecidas (Melo, G. P., 1964).

A técnica dos observadores de estado consiste em desenvolver um modelo para o sistema em análise e comparar a saída estimada com a saída medida. Os modelos matemáticos, que na prática representam o comportamento dos sistemas não estão livres de perturbações desconhecidas (Inouye, Y. & Suga, Y., 1994; Valcher, M. E., 1999 e Kudva, P. et. al., 1980) e variações nos próprios parâmetros (Huh, K. & Stein, J. L., 1995). Na maioria dos projetos de observadores de estado, os parâmetros do sistema são conhecidos ou podem ser identificados através de alguns métodos específicos encontrados na literatura. Em casos onde os parâmetros não são conhecidos com exatidão ou estão sujeitos a mudanças durante o funcionamento do sistema, a resposta do observador pode fornecer uma estimativa incorreta dos estados reconstruídos provocando erros de regime permanente, que levam a falsos alarmes na detecção e localização de falhas.

Nos últimos anos, o problema da variação de parâmetros e a influência de entradas desconhecidas no projeto de observadores de estado tem sido estudado por inúmeros pesquisadores.

2. OBSERVADORES DE ESTADO

O observador foi primeiramente proposto e desenvolvido por Luenberger (1964) e mais adiante aperfeiçoado por ele próprio em 1966. A teoria dos observadores tem sido estendida por várias pesquisas para incluir sistemas variando no tempo, sistemas discretos e sistemas aleatórios.

Desde de 1964, os observadores têm formado uma parte integral de numerosos projetos de sistemas de controle dos quais uma pequena porcentagem tem sido informada de forma explícita. A simplicidade de seu projeto e de sua resolução faz do observador um componente atrativo do projeto geral, principalmente pelo fato de reconstruir estados não medidos.

2.1. Método dos Observadores de Estado

Freqüentemente, em sistemas de controle é necessário construir estimativas das variáveis de estado que não são disponíveis através de medida direta. Se caso o sistema for linear, seu vetor estado pode ser aproximadamente reconstruído, construindo um observador onde ele próprio é um sistema linear governado por saídas disponíveis e entradas do sistema original.

Portanto, é fisicamente e economicamente inviável, em vários sistemas de controle, a instalação de todos os transdutores que serão necessários para medir todas as variáveis de estado. Ao analisar a metodologia dos observadores de estado, verifica-se que os mesmos possuem a capacidade de reconstruir os estados inacessíveis ou inviáveis, no entanto, a condição necessária para esta reconstrução é que todos os estados sejam observáveis (Luenberger, 1964; Luenberger, 1966 e D'Azzo & Houpis, 1988).

2.2. Projeto de Observadores de Estado

Em um sistema mecânico, onde um determinado componente começa a falhar, um observador de estado global montado para este sistema é capaz de sentir a influência desta falha de forma

bastante rápida, pois o observador de estado global apresenta a mesma resposta do sistema real, partindo do princípio de que este esteja funcionando de maneira adequada, sendo o observador bastante sensível a qualquer irregularidade que começar a surgir no sistema.

A idéia é utilizar o efeito sentido pelo observador de estado global para localizar uma possível falha em um sistema mecânico. Portanto, a fim de detectar possíveis falhas em sistemas mecânicos utiliza-se um observador de estado global. O observador global é um conjunto de equações diferenciais ordinárias desenvolvido utilizando-se as equações de Riccati.

O passo seguinte é calcular os observadores de estado robustos a determinados parâmetros sujeitos a falhas, ou seja, quando existem indícios de falhas no sistema a curva do observador robusto ao parâmetro do sistema com possível falha começa a se aproximar da curva do sistema real, pois na montagem do observador robusto a um parâmetro específico, este mesmo parâmetro é retirado da matriz dinâmica do sistema antes da montagem do observador.

Na Fig. 1, apresenta-se o esquema de um sistema de observação utilizado para a detecção e localização de falhas sendo composto por uma força de excitação $\{f(t)\}$, pela resposta do sistema $\{y(t)\}$, por um banco de observadores, que é composto pelo observador global e pelos observadores robustos aos possíveis parâmetros sujeitos a falhas z_1, \dots, z_n , e por uma unidade de decisão lógica.

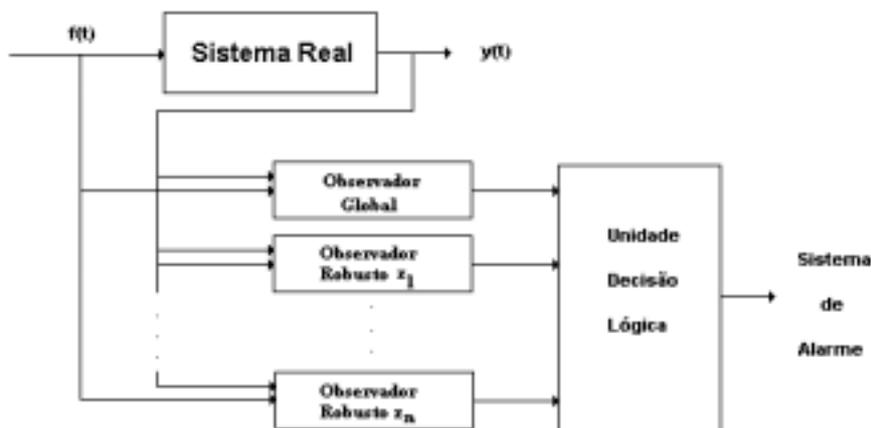


Figura 1. Sistema de Observação Robusta

Tanto o observador global quanto os observadores robustos recebem os valores da excitação e da resposta do sistema real e após as resoluções dos conjuntos de equações diferenciais, os resultados obtidos são coletados e analisados na unidade de decisão lógica.

A unidade de decisão lógica analisa primeiramente a diferença dos valores RMS entre o sistema real e o observador global, a fim de detectar alguma irregularidade no sistema. A seguir, ela analisa as diferenças dos valores RMS entre o sistema real e os observadores robustos aos parâmetros sujeitos a falhas, localizando as possíveis falhas do sistema. É nessa unidade que se analisa a tendência da progressão de uma falha e é ela que aciona quando for necessário um sistema de alarme.

O sistema de alarme pode estar pronto para ser acionado quando ocorrer uma variação percentual em um determinado parâmetro, mas isto depende do sistema o qual está sendo avaliado.

3. IDENTIFICAÇÃO DAS ENTRADAS DO SISTEMA

3.1. Método das Séries de Fourier

Considera-se a equação de equilíbrio dinâmico:

$$[M]_{n \times n} \{\ddot{x}(t)\}_{n \times 1} + [C]_{n \times n} \{\dot{x}(t)\}_{n \times 1} + [K]_{n \times n} \{x(t)\}_{n \times 1} = \{f(t)\}_{n \times 1} \quad (1)$$

onde:

$[M]_{n \times n}$, $[C]_{n \times n}$ e $[K]_{n \times n}$ são as matrizes de inércia, amortecimento e rigidez, respectivamente;

$\{x(t)\}^T = \{x_1(t), x_2(t), x_3(t), \dots, x_N(t)\}$ é o vetor deslocamentos;

$\{f(t)\}^T = \{f_1(t), f_2(t), f_3(t), \dots, f_N(t)\}$ é o vetor das forças de excitação e n é o número de graus de liberdade do sistema.

Pré-multiplicando a equação (1) por $[M]^{-1}$, tem-se:

$$\{\ddot{x}(t)\}_{n \times 1} + [M_c]_{n \times n} \{\dot{x}(t)\}_{n \times 1} + [M_k]_{n \times n} \{x(t)\}_{n \times 1} = [M]_{n \times n}^{-1} \{f(t)\}_{n \times 1} \quad (2)$$

Integrando duas vezes a equação (2) para $t_0 = 0$ e $t_f = t$ e fazendo-se as expansões, chega-se a:

$$\begin{aligned} [F]_{r \times 2 \times n} = & \left[[P]_{r \times 2 \times r}^{-2T} [X]_{r \times 2 \times n} + [P]_{r \times 2 \times r}^{-T} [X]_{r \times 2 \times n} [M_C]_{n \times n} \right. \\ & + [I]_{r \times 2 \times r} [X]_{r \times 2 \times n} [M_K]_{n \times n} + [P]_{r \times 2 \times r}^{-2T} [X_0]_{r \times 2 \times n} - \\ & \left. [P]_{r \times 2 \times r}^{-T} [V_0]_{r \times 2 \times n} - [P]_{r \times 2 \times r}^{-T} [X_0]_{r \times 2 \times n} [M_C]_{n \times n} \right] \cdot [M]_{n \times n}^T \end{aligned} \quad (3)$$

onde $[P]_{2r \times 2r}$ é a matriz operacional de integração de funções ortogonais linearmente independentes.

O mesmo pode ser feito para expansões em termos de velocidade e aceleração.

3.2. Método Direto de Identificação pelas Equações de Estado

A partir das equações de estado do sistema, a idéia é isolar a força de excitação do sistema e calcula-la diretamente. Para que isto seja possível, como será visto, se deve conhecer as respostas em termos de deslocamento, velocidade e aceleração do sistema analisado. Seja a equação de equilíbrio dinâmico de um sistema com n graus de liberdade:

$$[M]_{n \times n} \{\ddot{x}(t)\}_{n \times 1} + [C]_{n \times n} \{\dot{x}(t)\}_{n \times 1} + [K]_{n \times n} \{x(t)\}_{n \times 1} = \{f(t)\} \quad (4)$$

As equações de estado podem ser expressas da seguinte forma para este sistema:

$$\{\ddot{\chi}(t)\}_{2n \times 1} = [A]_{2n \times 2n} \{\chi(t)\}_{2n \times 1} + [B]_{2n \times n} \{f(t)\}_{n \times 1} \quad (5)$$

onde $[A]$ é a matriz dinâmica do sistema, $[B]$ uma matriz que contém características de inércia e $\{\chi(t)\}$ é um vetor que representa a resposta em termos de deslocamento e velocidade.

Considerando o produto de $[M]^{-1} [K] = [MK]$ e $[M]^{-1} [C] = [MC]$, pode-se escrever uma equação mais detalhada:

$$\{\dot{\chi}(t)\}_{2n \times 1} - \left[\begin{array}{c|c} [0]_{n \times n} & [I]_{n \times n} \\ \hline -[MK]_{n \times n} & -[MC]_{n \times n} \end{array} \right]_{2n \times 2n} \{\chi(t)\}_{2n \times 1} = \left[\begin{array}{c} [Zeros]_{n \times n} \\ [M]_{n \times n}^{-1} \end{array} \right]_{2n \times n} \begin{cases} f_1(t) \\ f_2(t) \\ \vdots \\ f_n(t) \end{cases}_{n \times 1} \quad (6)$$

Conhecendo a resposta do sistema em termos de deslocamento, velocidade e aceleração, pode-se resolver a sistema e encontrar as forças de excitação atuantes.

4. Estrutura Geral de Observadores com Variações de Parâmetros

Considera-se o seguinte sistema linear e invariante no tempo para descrição do observador de estado:

$$\dot{x}(t) = [A] x(t) + [B] u(t) \quad (7)$$

e

$$\{y(t)\} = [C_{me}] \cdot \{x(t)\} + [D] \cdot \{u(t)\} \quad (8)$$

onde x é um vetor estado $n \times 1$ (vetor de deslocamento), u é um vetor entrada $p \times 1$ (vetor de excitação), y é um vetor saída $k \times 1$, $[A]$ é uma matriz do sistema $n \times n$ (matriz dinâmica), $[B]$ é uma matriz de distribuição $n \times p$ (matriz de entradas), $[C_{me}]$ é a matriz de medidas $\in \mathbb{R}^{k \times n}$, $[D] \in \mathbb{R}^{k \times p}$, sendo n a ordem do sistema, p o número de entradas $\{u(t)\}$, e k o número de saídas $\{y(t)\}$.

Trabalhando em sistemas onde são observadas variações dos parâmetros, têm-se:

$$\{\dot{x}(t)\} = [A + \Delta A] \cdot \{x(t)\} + [B] \{u(t)\} \quad (9)$$

e

$$\{y(t)\} = [C_{me}] \{x(t)\} + [D] \{u(t)\} \quad (10)$$

onde $[A + \Delta A]$ é a matriz dinâmica do sistema com variação de parâmetros.

Um observador para este sistema é dado por:

$$\{\dot{\bar{x}}(t)\} = [A + \Delta A] \{\bar{x}(t)\} + [B] \{u(t)\} + [L] (\{y(t)\} - \{\bar{y}(t)\}) \quad (11)$$

e

$$\{\bar{y}(t)\} = [C_{me}] \{\bar{x}(t)\} \quad (12)$$

onde $[L]$ é a matriz do observador de estado, $\{\bar{x}(t)\}$ é o vetor estado do observador e $\{\bar{y}(t)\}$ denota o vetor de estimativa do estado.

A matriz de medidas $[C_{me}]$, sem perda de generalidade, é assumida da seguinte forma:

$$[C_{me}] = [I_m \ 0] \quad (13)$$

onde I_m é a matriz identidade $k \times k$.

5. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E RESULTADOS

Devido ao grande avanço tecnológico, a simulação computacional vem sendo bastante utilizada para prever o comportamento dinâmico de máquinas em operação. A idéia inicial é realizar a identificação das excitações presentes no sistema e utilizar os resultados obtidos na aplicação da técnica dos observadores de estado a fim de verificar a influência da variação de parâmetros na detecção e localização de falhas.

5.1. Identificação das Excitações do Sistema

Primeiramente, considera-se o sistema da Fig. 2:

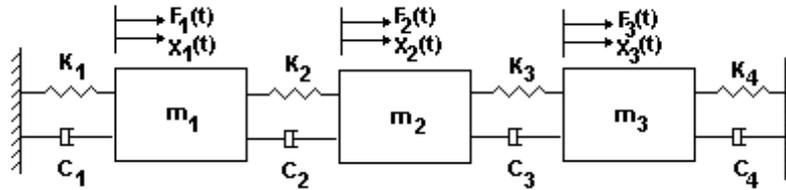


Figura 2. Sistema massa-mola-amortecedor simulado com três graus de liberdade

Na tabela 1 têm-se os valores numéricos adotados.

Tabela 1. Valores adotados para a simulação do sistema da Fig.(2).

Rigidez (N/m)	Amortecimento (N.s/m)	Massa (Kg)	Força (N)
$k_1 = 600$	$c_1 = 20$	$m_1 = 5$	$F_1 = 5 \text{ sen}(150)$
$k_2 = 500$	$c_2 = 30$	$m_2 = 5$	$F_2 = 2 \text{ sen}(100)$
$k_3 = 400$	$c_3 = 40$	$m_3 = 5$	$F_3 = 3 \text{ sen}(200)$
$k_4 = 400$	$c_4 = 50$	-	-

O intervalo de tempo utilizado para a simulação do sistema foi de 0 a 5 segundos, discretizados em 1024 pontos.

5.1.1. Método das Séries de Fourier

Para a análise de Fourier é importante a escolha adequada do valor de R, ou seja, do número de termos retidos na série de Fourier. Consideram-se os dados obtidos através de expansão da resposta em termos de deslocamento, velocidade e aceleração. Nas duas primeiras expansões, bons resultados foram obtidos com $R=20$, porém na expansão em termos de aceleração, obteve-se um bom resultado com $R=400$.

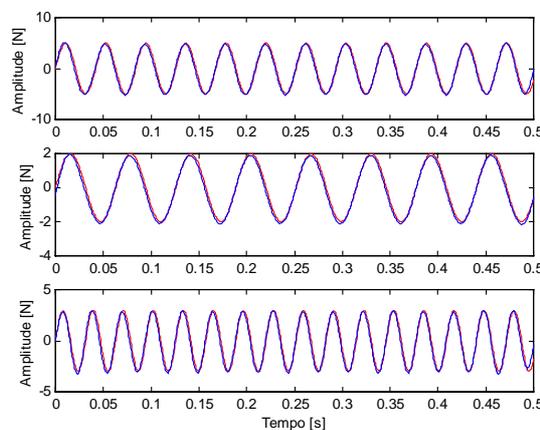


Figura 3. Identificação com $R=20$ nas expansões em termos de deslocamento

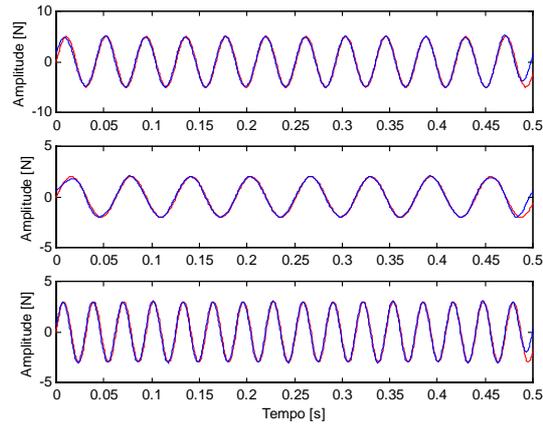


Figura 4. Identificação com $R=20$ nas expansões em termos de velocidade

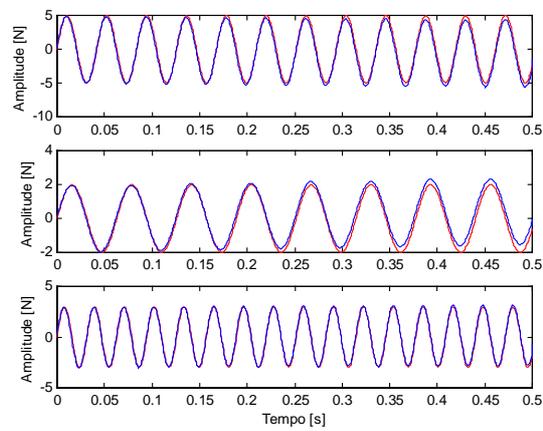


Figura 5. Identificação com $R=400$ nas expansões em termos de aceleração.

5.1.2. Método Direto de Identificação pelas Equações de Estado

Pelo método direto, o resultado obtido é bastante satisfatório, onde a curva real simulada é praticamente coincidente com a curva de identificação pelo método.

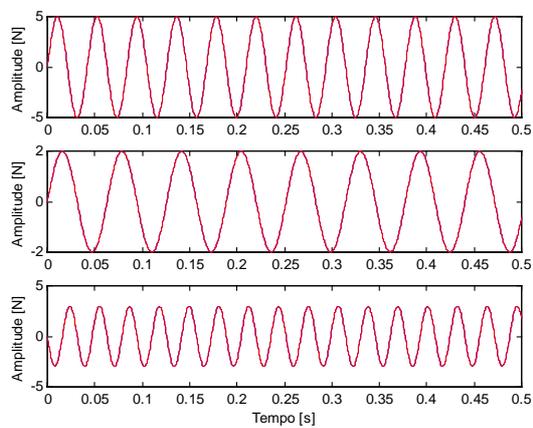


Figura 6. Identificação direta na cor azul e real simulada em vermelho

5.2. Variações de Parâmetros

Utilizando-se os resultados obtidos no item 5.1, onde se identificou as forças de excitação do sistema, parte-se para a aplicação da metodologia desenvolvida no item 4 para a detecção e localização de falhas via observadores de estado em sistemas com variações de parâmetros. Para isso, considera-se o sistema da Fig. 2, com os dados da Tabela 1, em regime permanente e com um intervalo de tempo de 0 a 5 segundos, sendo utilizados 1024 pontos amostrados.

A partir da metodologia desenvolvida utilizando observadores de estado, o intuito aqui era o de variar o parâmetro k_1 em níveis percentuais de perda de rigidez. Para isso, construiu-se um banco de observadores de estado a fim de detectar e localizar falhas causadas por estas perdas.

Na tabela 2, mostra-se a diferença entre os valores RMS do observador de estado e do sistema real (simulado) com perdas de 0 a 10% da rigidez do parâmetro k_1 .

Tabela 2. Tabela de Tendências – Perda de 0 a 10% da rigidez k_1 .

Banco de Observadores	Sistema Real Simulado – 100% k_1 (Diferenças RMS)	Sistema Real Simulado – 98% k_1 (Diferenças RMS)	Sistema Real Simulado – 96% k_1 (Diferenças RMS)
<i>Obs.Global</i>	6.4738E-14	6.2885E-08	1.3060E-07
<i>Obs.Rob. 98% k_1</i>	6.1978E-08	3.4712E-11	6.6856E-08
<i>Obs.Rob. 96% k_1</i>	1.2696E-07	6.5857E-08	3.5396E-11
<i>Obs.Rob. 94% k_1</i>	1.9498E-07	1.3482E-07	6.9898E-08
<i>Obs.Rob. 92% k_1</i>	2.6606E-07	2.0689E-07	1.4297E-07
<i>Obs.Rob. 90% k_1</i>	3.4024E-07	2.8209E-07	2.1922E-07
Banco de Observadores	Sistema Real Simulado – 94% k_1 (Diferenças RMS)	Sistema Real Simulado – 92% k_1 (Diferenças RMS)	Sistema Real Simulado – 90% k_1 (Diferenças RMS)
<i>Obs.Global</i>	2.0339E-07	2.8146E-07	3.6503E-07
<i>Obs.Rob. 98% k_1</i>	1.3873E-07	2.1587E-07	2.9849E-07
<i>Obs.Rob. 96% k_1</i>	7.0958E-08	1.4712E-07	2.2875E-07
<i>Obs.Rob. 94% k_1</i>	3.6042E-11	7.5192E-08	1.5579E-07
<i>Obs.Rob. 92% k_1</i>	7.4069E-08	3.6674E-11	7.9560E-08
<i>Obs.Rob. 90% k_1</i>	1.5139E-07	7.8373E-08	3.6996E-11

Primeiramente, observa-se na tabela 2 que a diferença dos valores RMS entre o sistema (simulado) e o observador global (em cinza escuro) vai aumentando gradativamente à medida que a porcentagem de perda de k_1 vai aumentando. Isso mostra que os observadores globais construídos para cada sistema (simulado) conseguiram detectar possíveis falhas nestes sistemas.

Analisando a coluna do sistema real simulado com 2% de perda de k_1 (sistema real simulado – 98% k_1), verifica-se que o menor valor da coluna (em cinza claro) encontrada-se na linha do observador robusto a 2% de perda de k_1 (obs.98% k_1), ou seja, o observador robusto construído com 2% de perda de k_1 localizou a falha, que nesta coluna em questão era a perda de 2% do valor do parâmetro k_1 . O mesmo ocorre com as outras colunas.

Além disso, através da tabela de tendências apresentada, pode-se acompanhar a evolução de uma falha em um sistema.

Portanto, através de uma análise numérica e da metodologia desenvolvida, pode-se detectar e localizar falhas em um sistema (simulado) mecânico.

6. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

No presente trabalho, foi desenvolvida uma metodologia para a localização de falhas via observadores de estado em sistemas com variações de parâmetros.

Os métodos de identificação das entradas (forças de excitação) desconhecidas apresentam bons resultados. É importante notar que pelo Método das Séries de Fourier, o aumento do número de termos retidos na série resulta em melhores resultados. No exemplo apresentado, as identificações são conseguidas nas expansões em termos de deslocamento e velocidade para $R=20$, já na expansão em termos de aceleração bons resultados são conseguidos fazendo $R=400$. Nos cálculos realizados pelo Método Direto Pelas Equações de Estado é necessário o conhecimento da resposta do sistema em termos de deslocamento, velocidade e aceleração.

A técnica de detecção e localização de falhas utilizando observadores de estado pode reconstruir os estados não medidos ou valores provenientes de pontos de difícil acesso no sistema. Sendo assim, a variação dos parâmetros durante um processo foi levada em consideração a fim de evitar falsos alarmes e paradas desnecessárias dos sistemas mecânicos.

Na metodologia para a localização de falhas via observadores de estado em sistemas com variações de parâmetros, verificou-se a necessidade de escolher os parâmetros sujeitos a falhas para a construção de observadores robustos a estes parâmetros, pois existem certos componentes que necessitam de um acompanhamento constante devido suas grandes solicitações ou constantes falhas, então, para estes parâmetros são montados observadores específicos (como por exemplo, observadores com perda de 5 em 5% de rigidez) com um sistema de alarmes que geraria uma tabela de tendências.

A metodologia desenvolvida pode ser aplicada em qualquer sistema mecânico, desde que o mesmo seja observável com o número de medidas realizadas. Caso isto não ocorra, deve-se fazer outras medidas até que o sistema se torne observável.

As simulações realizadas considerando perdas percentuais do parâmetro k_1 tiveram como objetivo comprovar a validade da metodologia desenvolvida para o cálculo dos observadores de estado e para a localização de falhas em sistemas mecânicos. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, sendo possível detectar e localizar, com sucesso, o parâmetro que estava falhando.

Portanto, pode-se dizer que os objetivos foram alcançados e os resultados obtidos foram bastante satisfatórios.

7. AGRADECIMENTOS

A FAPESP pelo apoio financeiro, a FUNDUNESP e ao Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP/FEIS.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chen, J. & Patton, R. J., 1996, "Optimal Filtering and Robust Fault Diagnosis of Stochastic Systems with Unknown Disturbances", *International Journal of Control*, Vol. 143, n.º.1, pp.31-36.
- D'azzo, J. J. & Houpis, C. H., 1988, "Linear Control System Analysis and Design", São Paulo, McGraw-Hill, Inc, 660p.
- Howell, J., 1994, "Model -based Fault Detection in Information Poor Plants", *Automatica*, vol.30, n.º.6, pp 929-943.
- Huh, K. & Stein, J. L., 1995, "Well-Conditioned Observer Design for Observer-Based Monitoring System", *Transactions of the ASME*, Vol. 117, pp 592-599.
- Inouye, Y. & Suga, Y., 1994, "Identification of Linear Systems with Noisy Input Using Input-Output Cumulants", *International Journal of Control*, Vol.59, n.º.5. pp.1231-1253.
- Kudva, P; Viswanadham, N & Ramakrishna, A, 1980, "Observers for linear systems with Unknown Inputs", *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol.AC-25, n.1, pp.113-115.

- Luenberger, D.G., 1964, "Observing the state of a Linear System", IEEE Transactions on Military Electronics, Vol. MIL-8, pp. 74-80.
- Luenberger, D.G., 1966, "Observers for Multivariable Systems", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. AC-II, n^o. 2, pp. 190-197.
- D'azzo, J. J. & Houpis, C. H., 1988, "Linear Control System Analysis and Design", São Paulo, McGraw-Hill, Inc, 660p.
- Luenberger, D.G., 1971, "An Introduction to Observers", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. Ac 16, n^o. 6, pp. 596-602.
- Melo, G.P., 1998, "Detecção e Localização de Falhas via Observadores de Estado de Ordem Reduzida", FEM-UNICAMP, Tese de Doutorado.
- Valcher, M. E., 1999, "State Observers for Discrete-Time Linear Systems with Unknown Inputs, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.44, n^o 2, pp. 397-401.

9. DIREITOS AUTORAIS

Influence of the Parameters Variation and Unknown Inputs in the Fault Detection

Gilberto Pechoto de Melo

UNESP – Ilha Solteira. Departamento de Engenharia Mecânica. Avenida Brasil Sul, 56. CEP: 15385-000

gilberto@dem.feis.unesp.br

Davi Silveira de Abreu

UNESP – Ilha Solteira. Departamento de Engenharia Mecânica. Avenida Brasil Sul, 56. CEP: 15385-000

daviabreu@ieg.com.br

Jorge Henrique Marano

UNESP – Ilha Solteira. Departamento de Engenharia Mecânica. Avenida Brasil Sul, 56. CEP: 15385-000

jorgemarano@bol.com.br

Abstract: *In the last years, new techniques of fault detection and location were developed due to great concern of the industries with the safety of its systems, to avoid false alarms and unnecessary stops of mechanical systems in operation. In this work it is presented a methodology for fault detection and location in mechanical systems with parameter variations using state observers, which can reconstruct unmeasured states or the coming values of points of difficult access in a system, being set up a bank of observers to supervise the process. Besides, two methodologies are presented for the unknown inputs identification, the Fourier Series Method and the Direct Identification Method. The obtained results were quite satisfactory, so much in the analysis of parameters variation as in the input forces identification.*

Keywords: *state observers, parameters variation, unknown inputs, fault detection and location.*