

7

Discussões e Conclusões

Foram apresentadas todas as etapas de um trabalho de pesquisa que, iniciou-se de uma investigação experimental a respeito da possibilidade de construção de um sensor de vibrações baseado na tecnologia de redes de Bragg.

Este trabalho tem como resultado final, a apresentação dos diversos fatores que mostram que além de possível é também viável construir-se transdutores deste tipo.

Os resultados obtidos apontam que este sistema de medição, dentro de certos limites, pode ser projetado e desenvolvido para diferentes características de trabalho e necessidades. Se forem tomados como exemplo os módulos do protótipo 4 constata-se que para aumentar as deformações induzidas na fibra em 91.6% para melhorar a sua sensibilidade (através de o uso de latão ao invés de titânio nas massas sísmicas, e também pelo uso de uma placa metálica de 0,06 mm ao invés de uma de 0,04 mm), reduz-se o valor da primeira frequência de ressonância na direção do eixo da fibra em 26%.

Mas quais seriam estes limites? Do ponto de vista mecânico, ou construtivo, este limite está relacionado com as dimensões finais do transdutor que se deseja construir, de que maneira serão aplicados os esforços na rede de Bragg, e a faixa dinâmica em amplitude de aceleração que se pretende submeter o transdutor de modo a aproveitar toda faixa de operação das redes.

No que se refere à parte óptica existe o limite de deformação mecânico da fibra óptica, os efeitos causados por gradientes de temperatura presentes, e também as limitações do sistema de medição para determinadas faixas de frequências. As fibras ópticas têm um limite de trabalho linear típico de $5000\mu\text{m/m}$, o que significa que para transdutores de alta sensibilidade poderão ser construídos mecanismos que atinjam este valor de deformação máxima. Os efeitos de temperatura devem ser conhecidos para que, na impossibilidade de se desprezarem estes efeitos, sejam utilizados fatores de

correção adequados. E de acordo com as frequências que se pretende medir, o sistema de leitura deve considerar a escolha de equipamentos (fontes luminosas, fotodetectores, e placas de aquisição de dados) que operem nestes valores.

É preciso levar em consideração também que alguns dos fatores citados são interligados. Um exemplo disto foi o problema enfrentado da relação entre o deslocamento das frequências naturais dos acelerômetros para valores mais elevados e a diminuição das deformações nas fibras.

De maneira simplificada, o que se buscou foi desenvolver um acelerômetro que aliado às características dos sensores a rede de Bragg, possuísse características de desempenho semelhantes as dos convencionais piezoelétricos, tidos atualmente como os de melhor desempenho, principalmente no que se refere à relação sinal/ruído, e que também medisse a aceleração estática como um acelerômetro resistivo.

Os diversos modelos construídos e testados apresentaram vantagens e desvantagens a respeito de aspectos como desempenho, dimensões finais e facilidade de montagem. De maneira geral todos os resultados apresentados foram muito bons e apontaram para um protótipo final modular, o novo módulo, que pode ser encapsulado de acordo com o seu emprego, e que atingiu melhores características de desempenho.

As simulações numéricas empregando o método dos elementos finitos mostraram-se ser ferramentas úteis e eficazes, nas simulações do comportamento dinâmico dos acelerômetros. Tanto nas respostas para frequências naturais quanto nas estimativas de deformações por aceleração aplicada, as predições foram bastante coerentes com os valores posteriormente verificados.

Das possibilidades de técnicas de medição, com uma ou duas redes de Bragg, a escolha recaí preponderantemente sobre as características de funcionamento pretendidas do que em função do desempenho. As simulações da interação sensor-filtro através das equações analíticas de cada um, mostraram-se extremamente eficazes ao serem comparadas com os resultados experimentais e comprovaram serem uma ferramenta adequada para a predição deste comportamento.

Os resultados experimentais para todos os protótipos trataram de caracterizá-los em resposta em frequência, amortecimento, sensibilidade (ou relação sinal ruído) e linearidade de resposta. Cada resultado foi responsável na decisão de como e que tipos de modificações seriam necessárias para obter melhores resultados.

As calibrações apresentadas para os novos módulos usando as relações

analíticas apresentadas no capítulo 4, as estimativas de deformação em elementos finitos do capítulo 3 e os dados característicos das redes possibilitaram levantar curvas de calibração que servem para normalizar e utilizar os valores dos dois sensores de cada módulo para gerar um resultado final. As medições de longa duração serviram para demonstrar a estabilidade do sistema operando em longos períodos, e também demonstrar os efeitos de flutuação devido à variação térmica. Conforme já mencionado, essas curvas de calibração podem ser facilmente implementadas nas rotinas de LabVIEW criadas.

Tabela 7.1: Características gerais de desempenho do protótipo final (protótipo 5).

Faixa de operação dinâmica	$15g_{\text{rms}}$
Frequência de ressonância	$>1\text{kHz}$
Sinal/Ruído	10^4
Faixa de temperatura sem correção	$\pm 15^\circ\text{C}$
Sensibilidade transversal	$< 5\%$

A faixa de operação dinâmica linear considerada de $15 g_{\text{rms}}$, foi aquela onde as diferenças entre os valores de DC_{estatico} e DC_{medio} ficaram abaixo de 4%, não havendo portanto, a necessidade de correções. A primeira ressonância do sistema surge apenas após 1kHz e as ressonâncias transversais (com valores de deslocamento desprezíveis) surgem aproximadamente a partir de 600 Hz, o que garante uma ampla faixa de trabalho em frequência.

A relação sinal/ruído para um sinal senoidal fixo foi de 10^4 , valor similar ao de um acelerômetro piezoelétrico convencional típico com resolução de 1mg . A sensibilidade transversal é estimada em 5%. A faixa de operação em temperatura na qual não são necessárias correções, devido a uma oscilação máxima nos valores de amplitude AC esperados de 7%, é de aproximadamente $\pm 15^\circ\text{C}$.

Estes valores situam o protótipo óptico como um acelerômetro de uso geral, com características semelhantes a de qualquer acelerômetro comercial piezoelétrico ou resistivo.

Desenvolvida a técnica e estando mapeados as variáveis do sistema, alguns obstáculos precisam ainda ser resolvidos do ponto de vista da possibilidade de comercialização deste sistema. Os sistemas de leitura estão sendo aprimorados no Laboratório de Sensores a Fibra Óptica da PUC-Rio, para melhorar o seu desempenho e reduzir os custos de fabricação.

A parceria com uma empresa como a Expansion - Transmissão de Energia Elétrica S.A. foi muito frutífera esperando que os resultados obtidos

aqui sejam bem aproveitados, no projeto de monitoração da vibração de cabos em linhas de transmissão que prossegue.

Para o futuro, espera-se utilizar toda a experiência obtida para estes transdutores em novos transdutores, que atendam diferentes necessidades. Novos desenhos estão sendo estudados para acelerômetros com formato cilíndrico e menor diâmetro possível.