



DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR ÓPTICO PARA MEDIÇÃO DE TREMOR FISIOLÓGICO

Ederson Cichaczewsk¹, José Carlos da Cunha²

¹Departamento de Engenharia Biomédica - UNINTER, Curitiba-PR, Brasil
(ederson.c@uninter.com)

²Departamento de Engenharia Elétrica (DELT) – UFPR, Curitiba-PR, Brasil

Resumo: Este trabalho descreve um sistema optoeletrônico para análise de tremores fisiológicos, focado na Doença de Parkinson. Fundamentado nas leis de Newton e Hooke, o dispositivo usa emissor infravermelho, fibra óptica e fototransistor para converter deslocamentos mecânicos em sinais elétricos. O sistema processa amplitude e frequência, permitindo o monitoramento via software. Embora limitado a um eixo, o dispositivo demonstrou o potencial de sensores ópticos na instrumentação biomédica.

Palavras-chave: Sensor ótico; Acelerômetro; Tremor fisiológico; Doença de Parkinson; Instrumentação eletrônica.

INTRODUÇÃO

O avanço das tecnologias de sensoriamento e instrumentação eletrônica tem permitido o desenvolvimento de sistemas cada vez mais precisos para a análise de fenômenos físicos e biológicos. Entre esses sistemas, destacam-se aqueles voltados ao monitoramento de sinais fisiológicos, que desempenham um papel fundamental tanto no diagnóstico quanto no acompanhamento de diversas condições de saúde. Nesse contexto, o uso de sensores inerciais, especialmente acelerômetros, tem se mostrado uma alternativa eficiente, de baixo custo e alta sensibilidade para a detecção de movimentos voluntários e involuntários (YAO et al., 2014).

Os acelerômetros são amplamente utilizados na engenharia para a medição de vibrações mecânicas, sendo aplicados em áreas que vão desde a indústria automotiva até sistemas de segurança e monitoramento estrutural. No entanto, sua aplicação na área biomédica vem ganhando crescente relevância, sobretudo na análise de movimentos involuntários do corpo humano. Esses movimentos, quando associados a distúrbios neurológicos, podem fornecer informações importantes sobre a progressão de determinadas doenças (SANVITO, 2008).

Dentre essas condições, destaca-se o tremor da doença de Parkinson, um distúrbio neurodegenerativo caracterizado, entre outros sintomas, pela presença de tremores involuntários (BARBOSA; SALLEM, 2013). A análise quantitativa desses tremores, especialmente em termos de amplitude e frequência, pode contribuir significativamente para avaliações clínicas mais objetivas, auxiliando profissionais da saúde no

diagnóstico e no acompanhamento da evolução da doença.

Os sistemas optoeletrônicos fundamentam-se na interação entre a energia luminosa e os materiais semicondutores para a conversão de sinais. Esses dispositivos exploram processos de emissão, modulação e detecção de fótons, permitindo que variações em grandezas físicas sejam transformadas em respostas elétricas precisas. Tal integração é essencial para o desenvolvimento de sensores de alta sensibilidade e velocidade em aplicações tecnológicas modernas (KASAP, 2012).

Diante desse cenário, no presente trabalho propõe-se o desenvolvimento de um acelerômetro baseado em um sistema optoeletrônico, para a construção de um detector de tremores, com o objetivo de medir e analisar movimentos vibratórios de origem fisiológica. A proposta consiste em captar os sinais gerados pelos tremores, processá-los e extrair parâmetros relevantes, como amplitude média e frequência das oscilações, permitindo assim uma representação quantitativa do fenômeno observado.

Além de contribuir para a compreensão do comportamento dos tremores associados à Doença de Parkinson busca-se, também neste trabalho, demonstrar a aplicabilidade de conceitos fundamentais da física e da engenharia, como as leis que regem o funcionamento dos acelerômetros, na resolução de problemas reais. Dessa forma, o trabalho integra conhecimentos teóricos e práticos, evidenciando o potencial da instrumentação biomédica como ferramenta tecnológica de apoio à área da saúde.



MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho caracteriza-se como um estudo experimental de desenvolvimento tecnológico, com abordagem empírica, voltado à construção e validação de um sensor e um sistema de instrumentação eletrônica para medição de tremores fisiológicos, com ênfase na Doença de Parkinson.

Para o desenvolvimento do sistema proposto, foram utilizados os seguintes recursos de hardware e software:

- Estrutura para a construção do sensor;
- Fibra óptica
- Emissor de infravermelho (LED IR);
- Foto-transistor (receptor).
- Amplificadores operacionais e componentes eletroeletrônicos gerais;
- Conversor Analógico-Digital (ADC);
- Interface para comunicação com um computador;
- Computador para processamento e visualização dos dados;
- Software de monitoramento desenvolvido para aquisição e análise dos sinais.

Os acelerômetros baseiam-se em dois princípios fundamentais da física: a Lei de Hooke, que estabelece que a força exercida por uma mola é proporcional à sua deformação e oposta a ela, e a Segunda Lei de Newton, que define que a aceleração de um objeto é diretamente proporcional à força resultante e inversamente proporcional à sua massa (HOROWITZ; HILL, 2015). A integração desses conceitos permite que o deslocamento mecânico de uma massa inercial seja traduzido em uma grandeza mensurável, princípio este que fundamenta a operação de diversos sensores de transdução óptica (KROHN; MACDOUGALL; MENDEZ, 2014).

Para a construção do acelerômetro com sensor óptico (sensor de tremor), este foi desenvolvido com base em um princípio óptico de detecção de deslocamento, constituindo-se de um transdutor que converte movimento em variação de incidência de luz.

O dispositivo consiste em um tubo usado como bainha contendo um feixe de fibras ópticas em seu interior, fixado em uma extremidade ao fototransistor, e suspenso na outra extremidade e alinhado com um LED emissor de infravermelho. A vibração mecânica aplicada ao sistema provoca deslocamentos no canal de fibra óptica, alterando o alinhamento óptico entre emissor e receptor. Essa variação resulta em mudanças na intensidade luminosa incidente no foto-transistor, que são convertidas em variações de corrente elétrica, a qual

por meio de um amplificador de transimpedância, gera uma tensão em sua saída proporcional ao sinal de entrada. O fototransistor é sensibilizado pela luz que incide sobre ele e, quanto maior a intensidade desta luz incidente, maior será a corrente que ele conduz entre o seu coletor e emissor (SANTOS; FARAH, 2014).

A calibração do transdutor foi realizada experimentalmente por meio do ajuste de potenciômetros, buscando máxima sensibilidade à pequenas vibrações.

O sistema foi desenvolvido em 7 estágios funcionais:

1. A remoção do nível DC do sinal proveniente do fototransistor foi feita por meio de um filtro passa-alta passivo na saída do sinal do transdutor.
2. Como o sinal de saída do fototransistor consiste em uma corrente na ordem de microampères, utilizou-se um amplificador de transimpedância para convertê-lo em tensão. O circuito foi projetado com um ganho de conversão que resulta em um sinal de saída variando entre 0 e $\pm 2,5$ Volts, tornando-o adequado para o processamento posterior.
3. A fim de condicionar o nível do sinal, compatibilizando-o com o conversor ADC, foi adicionado um nível DC de 2,5 V ao sinal por meio de um amplificador somador inversor, considerando que a faixa dinâmica total é de 5V. Essa etapa também restabelece a fase original do sinal, invertida pelo amplificador de transimpedância da etapa anterior.
4. A próxima etapa do circuito é composta por um detector de pico para obter a média de amplitude do sinal, utilizando-se um circuito com constante de tempo RC ajustada experimentalmente para uma descarga lenta e uma resposta adequada à característica dos tremores fisiológicos.
5. A determinação da frequência dos tremores foi obtida por meio de um detector de cruzamento por zero com histerese (Schmitt Trigger), implementado com AOP. Foi adotado um limiar de $\pm 0,22$ V, definido experimentalmente para minimizar a influência de ruídos no sinal.

6. Por fim, os sinais são enviados para um conversor A/D (Analogico/Digital) com três canais de entrada: a) sinal com offset (forma de onda principal); b) sinal do detector de pico; c) sinal do detector de frequência.
7. Estes dados são enviados ao computador via interface de comunicação.

O software de processamento desenvolvido neste trabalho realiza a aquisição e permite a visualização dos sinais de forma contínua em tempo real.

O cálculo da amplitude média, bem como a determinação da frequência dos tremores é realizado em intervalos de 5 segundos, exibindo os resultados de forma gráfica e numérica.

A calibração do software foi realizada substituindo-se o sinal do sensor pelo sinal de um gerador de funções, aplicando-se um sinal senoidal de amplitude e frequência conhecidas, comprovando-se os respectivos valores adquiridos. Foram testados os valores de amplitude de pico de 0,5 V, 1,0 V e 1,5 V e os valores de frequência de 4 Hz, 6 Hz e 8 Hz, compatíveis com a faixa dos tremores de Parkinson.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta uma ilustração da estrutura do sensor construído.

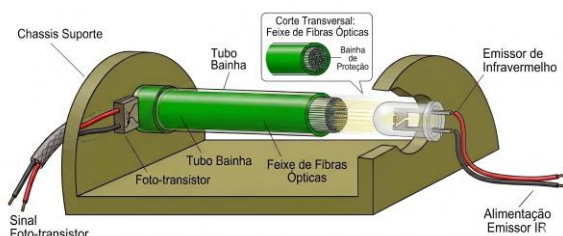


Figura 1. Acelerômetro com sensor óptico.

Conforme observado na Figura 1, o feixe de fibras óptica está posicionado de forma suspensa rente ao LED. Esse arranjo permite que o deslocamento da estrutura varie a intensidade luminosa que atinge o fototransistor, localizado no outro lado do conjunto.

A Figura 2 apresenta um resultado do sinal medido no software.



Figura 2. Tela do software de aquisição e visualização.

A amplitude máxima de tensão da janela de visualização é de 5 V, tendo uma escala de 1 V por divisão na vertical. Já na escala de tempo, na horizontal, tem-se 310 ms por divisão, visualizando-se um tempo total de aproximadamente 4 segundos.

O sinal apresentado na Figura 2 corresponde a um movimento para cima e para baixo aplicado intencionalmente segurando o sensor com a mão para teste.

CONCLUSÃO

O dispositivo desenvolvido demonstrou funcionalidade equivalente a um acelerômetro analógico MEMS, validando com sucesso o uso de componentes de baixo custo para a transdução de sinais mecânicos em elétricos. Embora o sistema tenha provado sua viabilidade para a detecção de tremores fisiológicos, como os característicos da Doença de Parkinson, certas limitações estruturais foram identificadas. A natureza omnidirecional da deflexão das fibras no plano perpendicular, aliada à detecção em apenas um eixo, restringe a análise da orientação espacial do movimento.

Adicionalmente, a ausência de uma calibração em unidades de aceleração (g) define os próximos passos desta pesquisa: a utilização de uma plataforma de vibração controlada para caracterizar a sensibilidade efetiva do sensor. Propõe-se, ainda, o aprimoramento do design mecânico para viabilizar medições multidimensionais, expandindo a aplicabilidade do sensor em cenários clínicos mais complexos.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, E. R.; SALLEM, F. A. S. Transtornos do Movimento. São Paulo: Atheneu, 2013.
- HOROWITZ, Paul; HILL, Winfield. The Art of Electronics. 3. ed. New York: Cambridge University Press, 2015.
- KASAP, Safa O. Optoelectronics and Photonics: Principles and Practices. 2. ed. [S. l.]: Pearson, 2012.
- KROHN, David A.; MACDOUGALL, Trevor; MENDEZ, Alexis. Fiber Optic Sensors: Fundamentals and Applications. 4. ed. Bellingham: SPIE Press, 2014.
- SANTOS, José Luís; FARAHI, Faramarz (ed.). Handbook of Optical Sensors. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- SANVITO, W. L. Síndromes Neurológicas. 3. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2008.
- YAO, G., YIN, C., WANG, Q., ZHANG, T., CHEN, S., LU, C., ZHAO, K., XU, W., PAN, T., GAO, M., & LIN, Y. Flexible bioelectronics for physiological signals sensing and disease treatment. Journal of Materiomics, 6, 397-413. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jmat.2019.12.005>.