

UM SISTEMA PARA CORREÇÃO DE RESSONÂNCIA EM TRANSDUTORES PIEZELÉTRICOS POR MEIO DA LOCALIZAÇÃO DE MÍNIMA IMPEDÂNCIA

Jaqueline Rohvedder de Oliveira

Francisco José Arnold

UNICAMP – Faculdade de Tecnologia – Laboratório de Instrumentação Eletrônica

Contato: Jaqueline Rohvedder de Oliveira (RA 175664)

Email: j175664@dac.unicamp.br

Bolsa de Iniciação Científica: CNPq – Vigência: 08/2020 – 08/2021

Resumo

Transdutores piezelétricos de potências elevadas modificam seu desempenho devido a operação em largas amplitudes de vibração, e variações na temperatura, pré-tensionamento mecânico e carga acústica. Estas modificações levam a desvios na ressonância. Assim, sistemas eletrônicos são utilizados para corrigir desvios da frequência de ressonância e manter o transdutor operando em alto rendimento. Neste trabalho foi desenvolvido um sistema microcontrolado baseado no método da localização da mínima impedância. Este método consiste em buscar o estado de máxima corrente no transdutor e então acionar um oscilador para corrigir a frequência da fonte para que coincida com a ressonância alterada do transdutor.

Palavras-chave: Impedância, *hill-climbing*, microcontrolador.

1 – Introdução

Transdutores piezelétricos são compostos de cerâmicas piezelétricas e peças metálicas. Estes dispositivos podem converter energia elétrica em deformações mecânicas, ou vice-versa. Em aplicações de altas potências, os transdutores possuem, geralmente, elevado fator de qualidade Q , dessa forma as perdas mecânicas por amortecimento no material são mínimas, resultando em alto rendimento quando o sinal senoidal de excitação atuar em sua frequência de ressonância [1-2].

No entanto, transdutores de alto fator Q podem ter suas características internas facilmente alteradas devido a mudanças externas como a alteração de meios de atuação [3] aquecimento e redução do pré-tensionamento mecânico [4-5]. As variações da impedância total correspondem a alterações na banda de ressonância do componente, resultando em perda de desempenho caso não ocorra a correção frequência da fonte para a nova banda de ressonância [6-7].

Uma forma de modelar o comportamento de um transdutor piezelétrico é a partir do circuito equivalente Butterworth-Van Dyke (BVD), conforme mostrado na Figura 1. O modelo BVD oferece uma visão simplificada e que responde de forma semelhante a um transdutor, sendo essencial para a realização de testes como a variação de parâmetros para simulação de alterações no ambiente, variando sua impedância e conseqüentemente sua frequência de ressonância. Na Figura 1 também está incluída uma indutância L_0 usada para anular os efeitos de C_0 quando o transdutor se encontra em ressonância [4].

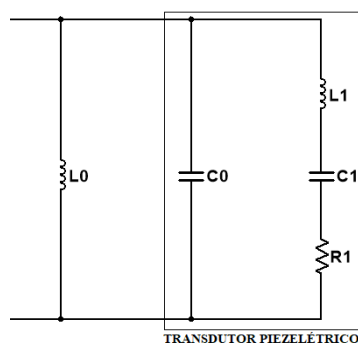


Figura 1 - Modelo BVD e indutância L_0 .

Em ressonância, o circuito da Figura 1 possui impedância mínima e puramente resistiva e a diferença de fase entre tensão e corrente no transdutor é nula. Nesta condição, a amplitude de vibração do transdutor é máxima. Quando a frequência do sinal da fonte se distancia da região de ressonância, componentes reativos são acrescentados à impedância e o transdutor perde desempenho rapidamente. O acompanhamento da diferença de fase entre a tensão e corrente no transdutor é um dos métodos para detecção de desvio de ressonância, e isso é realizado por meio de circuito PLL [8-11]

No entanto, o objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema microcontrolado para realizar a correção da frequência de ressonância do transdutor, tendo como base outro método, que é a localização do valor mínimo de impedância (ou máximo da admitância), por meio de amostragem da corrente no transdutor e tratamento adequado com algoritmo de otimização (*hill-climbing*) [12].

2 – Metodologia

A Figura 2 mostra um diagrama de bloco das etapas do sistema proposto. O microcontrolador (MC) controla a frequência de um oscilador que alimenta o transdutor piezelétrico.

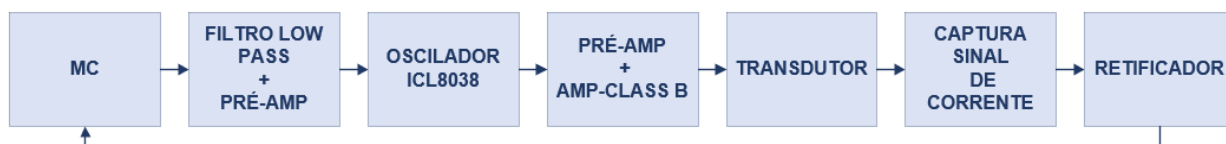


Figura 2 – Diagrama de blocos geral sistema.

Neste projeto, a detecção do desvio da frequência de ressonância (f_r) acontece na busca do valor mínimo da impedância, ou seja, quando a corrente que passa no transdutor for máxima. Para a realização de teste prático e com simulação, foi utilizado o circuito BVD (Figura 2) com $L_0 = 12$ mH, $C_0 = 3.29$ nF, $L_1 = 107,31$ mH, $C_1 = 370$ pF e $R_1 = 16,8$ Ω . A ressonância desse circuito é próxima de 25 kHz.

A captura do sinal da corrente que circula pelo transdutor é realizada por meio de um resistor R de 20 Ω ligado em série com o transdutor. O transdutor foi emulado por um circuito RL série. Por meio da queda de tensão em R é possível calcular a corrente no transdutor. Esta tensão é retificada e enviada ao microcontrolador, sendo usada para iniciar o algoritmo de *hill-climbing*.

O MC é programado para fornecer um sinal PWM a partir da corrente captada em R. Este sinal é filtrado e amplificado com objetivo de controlar dinamicamente a frequência de um sinal senoidal gerada pelo oscilador ICL 8038. A Figura 3 mostra o fluxograma do código desenvolvido.

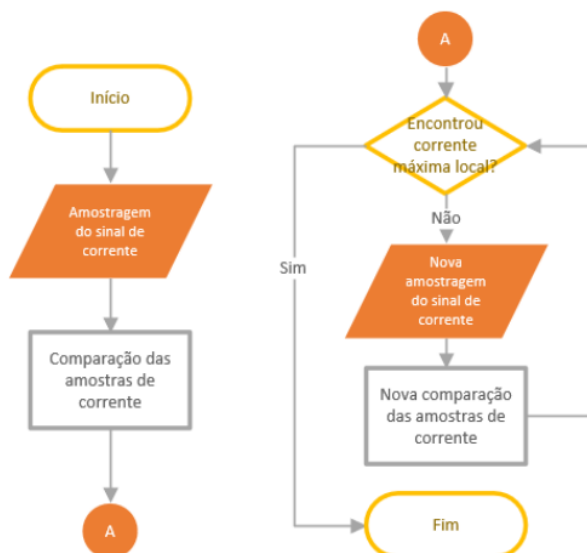


Figura 3 – Fluxograma do código implementado no MC.

Foi utilizado como carga um circuito RL série pois, em geral, as alterações no transdutor deslocam a ressonância para valores inferiores e isto permite que o circuito da Figura 3 possa ser emulado por um RL série. Para os testes utilizamos $R = 20$ Ω e L entre 100 μ H e 920 μ H.

3 – Resultados e Discussão

A Figura 4 mostra os resultados de um teste realizado com o sistema completo. Este teste teve o objetivo de verificar se o sistema é capaz de controlar a frequência do oscilador dinamicamente dadas variações do indutor. A Figura 4 mostra as frequências dos sinais fornecidas em função da tensão VR no resistor de $20\ \Omega$. É perceptível que o MC respondeu alterando a frequência (f) do oscilador dinamicamente por conta das diferentes correntes encontradas.

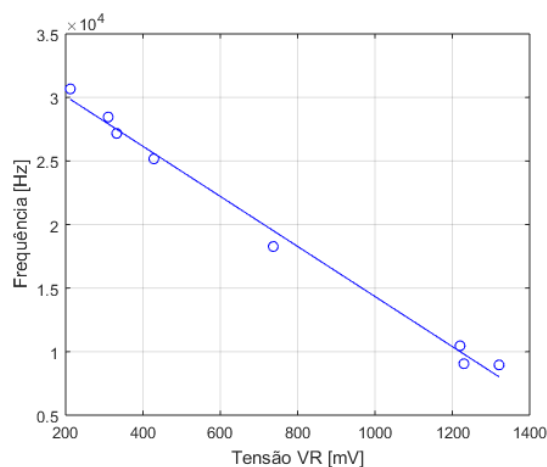


Figura 4 – Gráfico da frequência do sinal fornecido pelo oscilador em função de VR .

Os resultados experimentais obtidos na Figura 4 são ajustados por uma reta dada por (1).

$$f = -19,69VR + 34025 \quad (1)$$

4 – Conclusões

A caracterização de um transdutor comercial foi base para o cálculo de um circuito equivalente BVD, os testes em laboratório mostraram que seu comportamento foi similar ao transdutor. O sistema desenvolvido também mostrou um resultado satisfatório, uma vez que foi capaz buscar pelo estado de mínima impedância e controlar a frequência da fonte dinamicamente.

O código desenvolvido na plataforma Mbed para o microcontrolador funciona realizando amostragem de sinais de corrente e buscando o valor máximo por meio do algoritmo de *hill-climbing*, os resultados mostram que o sistema completo realiza a busca pelo máximo local, variando assim a frequência da fonte proporcionalmente, a fim de encontrar a condição de ressonância no transdutor. Este sistema para uso com transdutores piezelétricos reais carece de uma calibração mais adequada para que as variações típicas constatadas na prática levem a correções de ressonância em uma faixa de frequências mais estreita.

5 – Referências Bibliográficas

- [1] S. Katzir. The Discovery of the Piezoelectric Effect. *Archive for History of Exact Sciences*. v. 57, cap 2. Jan, 2003.
- [2] Kuang, Y., Sadiq, M., Cochran, S., Huang, Z., High-power characterization of a microcutter actuated by PMN-PT piezoelectric crystals, *IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics and Freq. Control*, vol. 62(11), 1957-1967, (2015).
- [3] Arnold, F. J.; Verrati, T. G. An Experimental Study of the Effects of the Acoustical Load on the Piezoelectric Transducers Performance. *Ferroelectrics*, vol. 568, 112-122, (2020).
- [4] Arnold, F. J.; Martins, P. S. New Insights into the Mechanical Pre-Stressing of Piezotransducers. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, vol. 32, 867-879, (2021).
- [5] Arnold, F. J.; de Oliveira, J. R. Identification of Pre-Stressing Degradation in Piezoelectric Transducers. 14th IEEE International Conference on Industry Applications, 1166-1169, (2021).
- [6] Smith, B. V., Gazey, B. K., “High-frequency sonar transducers: a review of current practice”, *IEE Proc.*, vol. 131, part F, n°3 (1984).
- [7] Janocha, H., Stiebel, C., New Approach to a Switching Amplifier for Piezoelectric Actuators, *Proc. Of the 6th International Conf. on New Actuators*, 189-192, Bremen, Germany (1998).
- [8] Queiróz, R., Girão, P. S., Serra, A. C., Single-Mode Piezoelectric Ultrasonic Transducer Equivalent Circuit Parameter Calculations and Optimization Using Experimental Data, *IMEKO TC4 Symp.*, 468-471, (2005).
- [9] Ramos-Fernandez, A., Montoya-Vitini, F., Gallego-Juarez, J. A., Automatic system for dynamic control of resonance in high power and high Q ultrasonic transducers, *Ultrasonics*, vol. 23, 151-156, (1985).
- [10] Arnold, F. J.; de Oliveira, J. R. Um Sistema para Correção de Ressonância em Transdutores Piezelétricos. *XXVIII Congresso virtual de Iniciação Científica da UNICAMP*. (2020).
- [11] Arnold, F. J.; Ximenes, R. L.; Arthur, R.; Mühlen, S. S. A Driver for Piezoelectric Transducers with Control of Resonance. *Physics Procedia*, vol. 63, 114-119, (2015).
- [12] Mortimer, B.; du Bruyn, T.; Davies, J.; Tapson, J.; High power resonant tracking amplifier using admittance locking, *Ultrasonics* vol. 39, 257-261, (2001).