

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FT
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO PARCIAL DE ATIVIDADES

Título do Projeto: Determinação de impedância elétrica de transdutores piezelétricos sob potências elevadas

Aluno: Guilherme Toniolo Barreto

Orientador: Francisco José Arnold

Data: Fevereiro/2017

1. PREÂMBULO

O presente relatório descreve as atividades até agora realizadas em relação a determinação de impedância elétrica de transdutores piezelétricos sob potências elevadas. Desde o começo do projeto até a entrega desse relatório, foram feitos estudos sobre piezelétricos, filtros passa-baixas, transdutores e montagem desses elementos em questão em simuladores e em laboratório. Essas atividades estão de acordo com o cronograma proposto para esta iniciação científica.

2. INTRODUÇÃO

Os transdutores piezelétricos são dispositivos formados por cerâmicas piezelétricas e peças metálicas, capazes de realizar a conversão de pressão em eletricidade (efeito piezelétrico direto) e a conversão de eletricidade em pressão (efeito piezelétrico reverso). Seu nome vem do grego e significa “eletricidade por pressão” [1].

Atualmente, os transdutores piezelétricos são utilizados em várias áreas do conhecimento, tais como a área médica, militar e industrial, aplicando propagação de sinais ultrassônicos.

Um transdutor piezelétrico pode ser representado por circuitos elétricos equivalentes. Por meio da expressão da impedância elétrica desses circuitos pode-se determinar suas propriedades elétricas, mecânicas e piezelétricas. Um dos modelos mais simples e que melhor caracteriza a impedância de um piezelétrico é o modelo de Butterworth-Van Dyke (BVD) [2].

O modelo BVD é composto pelo ramo elétrico (composto pelo capacitor C_0) e o ramo mecânico, composto pelo capacitor C_1 , o indutor L_1 e o resistor R_1 . Os componentes C_0 , C_1 , L_1 e R_1 representam, respectivamente, a capacitância intrínseca, os efeitos elásticos, os efeitos inerciais, e os efeitos dissipativos do transdutor [1].

A Figura 1 apresenta o modelo BVD [2].

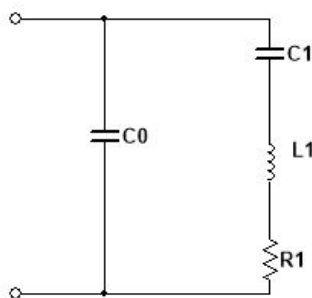


Figura 1: Modelo BVD para o transdutor piezelétrico

Os transdutores piezelétricos apresentam efeito piezelétrico reverso quando excitados com sinais elétricos ou pulsantes [1]. Neste caso, a energia elétrica é parcialmente convertida em vibrações mecânicas.

Considerando que o transdutor esteja em um regime AC, pode-se calcular o módulo da impedância do mesmo considerando as reatâncias capacitivas de C_0 e C_1 , a reatância indutiva de L_1 e a resistência R_1 . Da mesma maneira, pode-se calcular a fase de um piezelétrico, em função de sua frequência.

O módulo da impedância de um piezelétrico, para um dado modo de vibração, apresenta valores mínimo e máximo. A frequência que faz apresentar esse valor mínimo é chamada de frequência de ressonância f_R . A frequência que faz apresentar esse valor máximo é chamada de frequência de antirressonância f_A . As Equações 1 e 2 mostram como calcular essas frequências, ambas em função dos componentes que definem um piezelétrico seguindo o modelo BVD [1].

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \quad (1)$$

$$f_A = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{L_1 C_1 C_0}{C_1 + C_0}}} \quad (2)$$

Uma das características de um piezelétrico é seu fator de qualidade mecânica Q_m , que é inversamente proporcional a sua perda mecânica $\tan \phi'$. O fator de qualidade mecânica é o fator de amplificação de vibração de um piezelétrico, quando o mesmo se encontra em ressonância. Um alto fator de qualidade mecânica corresponde a maior causa para a perda mecânica em materiais piezelétricos [3].

Neste trabalho será usado o método da impedância para medir Q_m . O método da impedância consiste em colher dados (corrente, tensão, entre outros) do piezelétrico, submetido a medição da impedância entre a frequência de ressonância e a frequência de antirressonância [3].

2.1. Amplificadores para transdutores

Os transdutores piezelétricos são geralmente excitados utilizando amplificadores Classe D, devido aos rendimentos superiores a 90% que o mesmo apresenta [4]. Uma das maneiras de se ligar uma carga piezelétrica com rendimentos em torno de 95% é utilizando um oscilador IRS2453D, uma ponte de MOSFETS e filtros passa baixa (Butterworth de 2ª ordem).

A geração de um sinal quadrático é essencial para se excitar a ponte de MOSFETS. O sinal quadrado e o ajuste de sua frequência são feitos utilizando o oscilador IRS2453D. Esse oscilador incorpora em seu hardware um driver de porta de ponte de alta tensão [5]. Assim, o mesmo pode ser utilizado para em regime de altas tensões.

Nesse tipo de oscilador, é feita uma comparação entre um sinal triangular e uma tensão de referência. Uma mudança na tensão de referência reflete em mudanças no duty cycle do sinal quadrado gerado. Já a frequência do sinal quadrado é a mesma que a do sinal triangular [6].

Além de gerar o sinal quadrado, o oscilador IRS2453D tem como função excitar a ponte de MOSFETS, conforme a Figura 2. O oscilador está configurado para que, enquanto os MOSFETS T_1 e T_4 estejam acionados em meio período de tempo, os MOSFETS T_2 e T_3 estejam desativados (e vice versa). Assim, o piezelétrico estará sempre sendo alimentado por corrente [6].

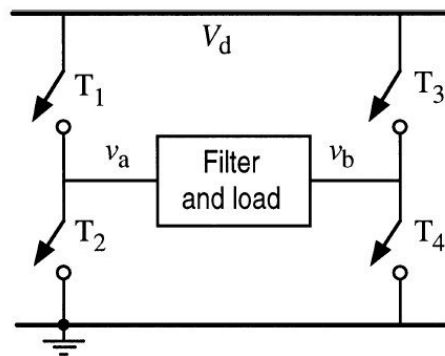


Figura 2: Ponte de MOSFETS alimentando o piezelétrico. Fonte: [6]

Antes do sinal oriundo da ponte de MOSFETS chegarem ao piezelétrico, são colocados filtros passa-baixa (um em cada terminal do piezelétrico). Esses filtros têm como função construir um sinal senoidal na carga [6]. Isso faz o piezelétrico se comportar com em um regime AC. Um dos tipos de filtros que podem ser usados é os filtros passa-baixa Butterworth de 2ª ordem.

Utilizando o oscilador IRS2453D, uma ponte de MOSFETS, filtros Butterworth de 2ª ordem e piezelétrico, é possível coletar características de transdutores piezelétricos submetidos a altas potências.

3. METODOLOGIA

A primeira parte da metodologia deste projeto consiste em inicialmente estudar as características do transdutor piezelétrico.

Para se chegar a este fim, foi deduzida a fórmula para o módulo da impedância e da fase do mesmo e representá-las graficamente em função da frequência. Depois, foi analisado o comportamento do módulo da impedância e da fase do piezelétrico, quando submetido a pequenas variações em C_0 , C_1 , L_1 e R_1 . Além disso, foi estudado como dimensionado os valores de C_0 , C_1 , L_1 e R_1 a partir de um piezelétrico real.

A segunda parte da metodologia consiste em complementar o estudo das características dos piezelétricos, assim como estudar o comportamento de pontes de MOSFETS.

A terceira parte da metodologia consiste em simular diversos tipos de circuitos, desde circuitos mais simples para os mais complexos, para que se possa compreender o comportamento teórico (e futuramente experimental) de piezelétricos quando submetidos a uma tensão quadrática, acoplados a filtros de Butterworth de segunda ordem, entre outros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 o gráfico do módulo da impedância de um piezelétrico. Já a Figura 4 apresenta o gráfico da fase do mesmo. Esses gráficos foram simulados no MATLAB.

Para se obter os gráficos da Figura 3 e da Figura 4, foi utilizado valores de C_0 , C_1 , L_1 e R_1 de um transdutor piezelétrico real.

Com esses valores, foi possível variar os valores deles em $\pm 5\%$ e $\pm 10\%$, para saber o comportamento da impedância de um piezelétrico quando submetido a variações dos componentes que o modelam.

O resultado foi que as variações em valores de C_0 , C_1 , L_1 e R_1 fazem com que o gráfico do módulo da impedância e da fase (ambos em função da frequência) apresentem um deslocamento no eixo das abscissas. O deslocamento depende de qual valor de componente e quantos por cento foi alterada.

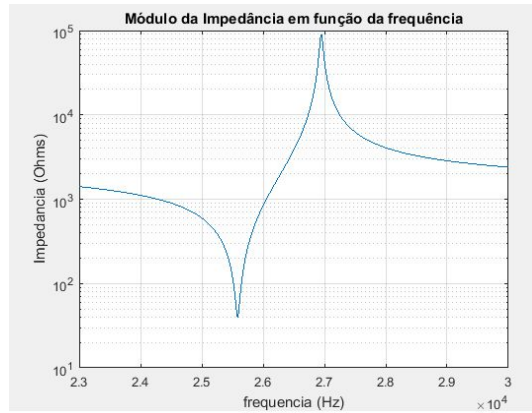


Figura 3: Módulo da Impedância em função da frequência

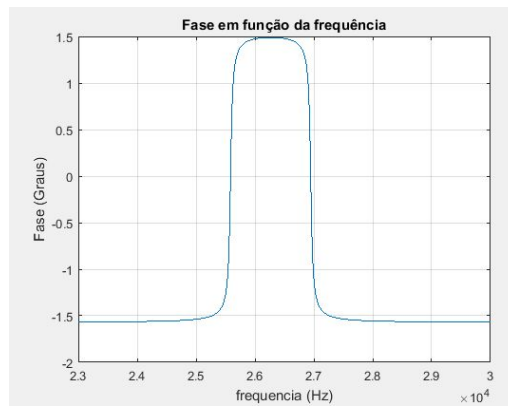


Figura 4: Módulo da Impedância em função da frequência

O dimensionamento dos parâmetros C_0 , C_1 , L_1 e R_1 foram realizados considerando os valores da frequência de ressonância f_R , frequência de antirressonância f_A , o módulo da impedância mínima Z_{\min} (quando a frequência aplicada é igual a frequência de ressonância) e o módulo da impedância quando a frequência é igual a 1kHz ($Z(1\text{kHz})$). Todos esses parâmetros foram retirados de um piezelétrico real. Os valores de C_0 , C_1 , L_1 e R_1 foram determinados usando-se as Equações 1 a 6:

$$R_1 = Z_{\min} \quad (3)$$

$$C_0 = C_1^T \cdot (1 - k^2) \quad (4)$$

$$k^2 = 1 - \frac{f_R^2}{f_A^2} \quad (5)$$

$$X_{C_0}^T = Z(1\text{kHz}) \quad (6)$$

A comparação entre o módulo da impedância medida em laboratório e obtida usando os valores de C_0 , C_1 , L_1 e R_1 calculados se encontra na Figura 5. Foi possível concluir que o modelo Butterworth-Van Dyke de transdutores piezelétrico e as equações utilizadas para calcular C_0 , C_1 , L_1 e R_1 condizem com os valores práticos de impedância, obtidos em laboratório.

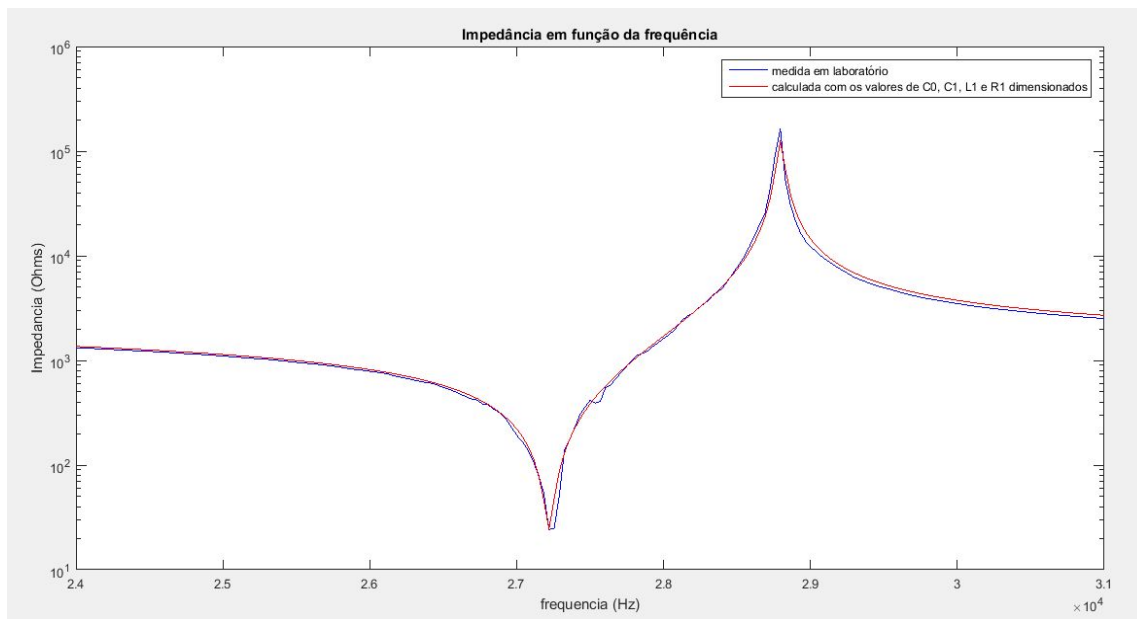


Figura 5: comparação com a impedância medida em laboratório e obtida teoricamente

O estudo sobre pontes de MOSFETS e o estudo complementar sobre as propriedades dos piezelétricos foi realizado utilizando as referências bibliográficas neste relatório parcial, e resumidos na introdução do mesmo.

Vários circuitos de simulação envolvendo transdutores piezelétricos foram realizados em softwares como Proteus, Multisim e MatLab. Uma dessas simulações se encontra nas Figuras 6 e 7.

A Figura 6 mostra o circuito de um transdutor piezelétrico (modelo BVD) simulado no Proteus e no Multisim. Já a Figura 7 mostra o resultado das simulações (a corrente total que percorre um piezelétrico, quando submetido a uma tensão quadrática).

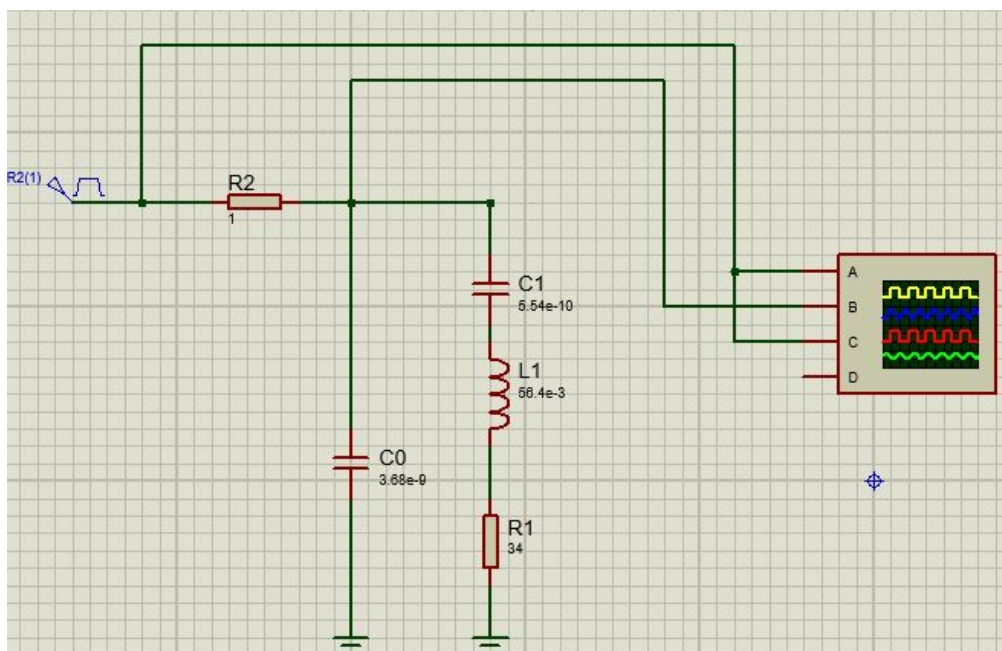


Figura 6: circuito de um piezelétrico (modelo BVD) no Proteus

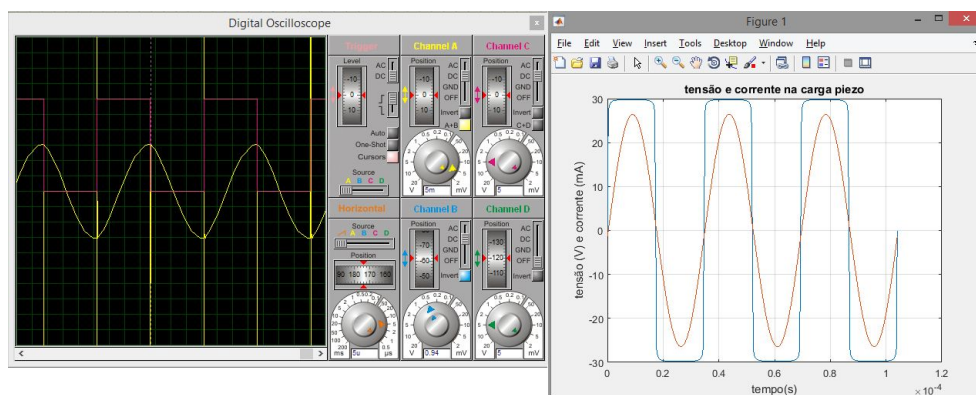


Figura 7: resultado das simulações - Proteus (esquerda); MatLab (direita)

O contato em laboratório com transdutores piezelétricos, ponte de transdutores, o oscilador IRS2453D, a fonte de tensão (variável de 30V a 200V) e o analisador de impedâncias foi inicializado, para maior familiaridade com os equipamentos. O próximo passo do projeto será montar os circuitos simulados em laboratório, para, enfim, determinar a impedância elétrica de transdutores piezelétricos sob potências elevadas.

5. CONCLUSÃO

Com base na metodologia e nos resultados obtidos, pode-se concluir que os objetivos do projeto estão sendo alcançados, seguindo o cronograma proposto para esta iniciação científica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - BATTILANA R.B. **Uma nova técnica de correção de frequência em transdutores piezelétricos utilizando inteligência artificial**. Limeira, 2017. Dissertação (Mestrado em Sistemas da Informação e Comunicação). Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Tecnologia
- [2] - PROKIC, M. **Piezoelectric Transducers Modeling and Characterization**. Suíça: MPI, 2004
- [3] - SHEKHANI, H.N; UCHINO K. Evaluation of the mechanical quality factor under high power conditions in piezoelectric ceramics from electrical power. **J Eur Ceram Soc.** 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2014.08.038>>
- [4] - ANAIS DO XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES, 35, 2017. **Correção dinâmica de frequência de transdutores piezelétricos utilizando um sistema computacional inteligente**. São Pedro. 2017. 1034-1038
- [5] - Datasheet IRS2453D, Disponível em: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IRS2453D-DS-v02_00-EN.pdf?fileId=5546d462533600a40153567ac42f2814 Visitado as 10h48min do dia 06/02/2018
- [6] - AGBOSSOU, K. et al. Class D Amplifier for a Power Piezoelectric Load. **IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control**. v. 4, n. 4, p. 1036-1041, julho. 2000