

Estudo Simulado de um Transdutor Piezoelétrico como Projetor de um Sistema de Comunicação Acústica Subaquática

André Fontes de Oliveira, Bruno Soares Rojas Burgoa,
Francisco José Alves de Aquino

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Telecomunicações - PPGET,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, Fortaleza, CE 60040-531 BRA

Resumo - Atualmente, a piezocerâmica é considerada o material piezoelétrico mais utilizado na fabricação de transdutores para aplicações em comunicação acústica subaquática, que podem ser emissores ou receptores. Este trabalho apresenta uma simulação realizada na plataforma *COMSOL Multiphysics* que tem como objetivo identificar as características do material piezoelétrico. Tais características influenciam na atuação do material como um transdutor emissor no meio aquático.

Palavras-chave—Transdutores Piezoelétricos, Projetor, Piezocerâmicas, Comunicação Acústica Subaquática.

I. INTRODUÇÃO

OS transdutores piezoelétricos são dispositivos capazes de converter energia elétrica em mecânica, chamado de efeito piezoelétrico inverso, e de converter energia mecânica em elétrica, efeito piezoelétrico direto [1]. Estes efeitos ocorrem na transmissão e recepção de um sinal em comunicação acústica subaquática. O dispositivo desta comunicação que transmite o sinal é o *projetor* e o que recebe o sinal é o *hidrofone*.

A existência de materiais que possuem propriedades piezoelétricas são considerados um grande avanço para o desenvolvimento de dispositivos para esse meio de comunicação. Esses transdutores podem ser construídos por cristais, cerâmicas, polímeros ou compósitos, em que cada um desses materiais possuem vantagens e desvantagens particulares. Em aplicações militares, os sonares utilizam frequências menores para alcançar longas distâncias. O inverso acontece para aplicações médicas, por exemplo, em exames por imagens o objetivo é maior precisão, em que altíssimas frequências são usadas para alcançar curtas distâncias [2].

O foco desse trabalho é realizar uma simulação na plataforma *COMSOL Multiphysics* para identificar características piezoelétricas do material usado no transdutor que vai atuar como emissor dentro de um sistema de comunicação acústica subaquática, em que a frequência de operação está diretamente relacionada à distância entre a fonte e o destino [3].

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Transdutor Piezoelétrico

Os primeiros materiais piezoelétricos foram descobertos em 1880 pelos irmãos Curie [4]. Eles demonstraram que certos cristais eram capazes de gerar uma tensão elétrica em sua

superfície quando submetidos a um estresse mecânico. Os custos e as dificuldades de produção desses cristais fizeram com que fossem iniciadas pesquisas por materiais sintéticos com as mesmas características piezoelétricas. A partir da década de 40 começaram a usar cerâmicas de Titanato Zirconato de Chumbo (PZT's), que apresentam melhor capacidade de polarização e maior flexibilidade de fabricação [4].

Ao aplicarmos um sinal de tensão elétrica no elemento piezoelétrico, ele é capaz de gerar ondas acústicas que se propagam melhor no meio quando apresentam uma boa profundidade de campo, diretividade dos feixes, que são influenciados pela polarização do material piezoelétrico e pelo efeito de espalhamento. A piezocerâmica é considerada a melhor opção dos materiais piezoelétricos devido às constantes de carga e de tensão piezoelétricas, ao coeficiente de acoplamento eletro-mecânico, ao fator de qualidade mecânico e dissipação elétrica, à temperatura Curie, à constante de frequência e à impedância acústica [1].

B. Comunicação Acústica Subaquática

O canal de comunicação acústico subaquático se diferencia das outras formas de propagação nesse meio, a eletromagnética e a óptica, pela velocidade de propagação do som na água, que é de aproximadamente 1500m/s , sendo quatro vezes mais rápida que a velocidade de propagação no ar. Entretanto, essa propagação é considerada baixa e depende das características físicas do mar como pressão, densidade, temperatura e salinidade, o que torna essa velocidade variável [5]. Uma das expressões que define essa velocidade é dada pela Eq. 1 [6]:

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.0029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.06D \quad (1)$$

Em que, T representa a temperatura, S a salinidade e D a profundidade.

Para definir o canal, levamos em conta a existência de algumas características que, quando comparadas com os meios de transmissões terrestres, são completamente diferentes, sendo elas: alta latência, provocada pela velocidade de propagação do som na água, largura de banda limitada variando em relação à frequência de operação e à distância entre o emissor e receptor, ruídos, alta atenuação, desvanecimento por múltiplos caminhos e necessidade de altas potências para transmissão [7].

III. SIMULAÇÃO

O objetivo dessa etapa é obter as características do material piezoelétrico através da simulação, principalmente na frequência de ressonância, na variação de fase e na largura de banda de operação. Para realizar a simulação foi utilizado a plataforma *COMSOL Multiphysics* que é um software de análise e resolução, em duas e três dimensões, de elementos finitos com várias aplicações em física e engenharia. Foi utilizado uma peça com geometria cilíndrica com dimensões de $1mm$ de espessura e raio de $60mm$, com o sistema de vetores base orientado no modo de espessura (d_{33}), ou seja, crescendo ao longo da direção z . O material utilizado foi a cerâmica PZT-5H com densidade de $7,5g/m^3$ e que possui a maior permissividade relativa das cerâmicas disponíveis no software. O software aplica um campo elétrico na piezocerâmica que faz com que a peça vibre gerando ondas mecânicas que serão propagadas pelo meio subaquático. A Fig. III mostra a deformação mecânica (*Stress*) sofrida pela peça ao vibrar na frequência de ressonância.

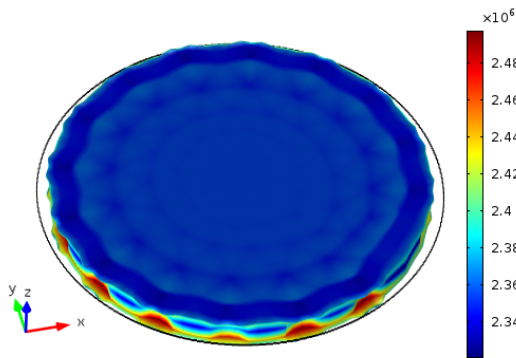


Figura 1. Deformação mecânica sofrida pelo transdutor emissor piezoelétrico após a aplicação do campo elétrico

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado deste trabalho consiste em validar as características do material junto à geometria escolhida para a simulação. Após a simulação, surgiram diversas curvas de impedância acústica. Essas curvas revelaram-se em modos de frequências diferentes. Selecionamos a curva do primeiro modo, que é considerado o modo dominante, dentro de toda a faixa que vai desde 1 até $100kHz$.

Quando a variação de fase é bem definida, os modos de frequências de ressonância e de anti-ressonância ocorrem de maneira mais intensa, se destacando dos demais modos, sendo assim chamados de modo dominante. Essa variação de fase sobreposta com a curva de impedância do modo dominante do transdutor emissor piezoelétrico, que surgiu na faixa de frequência entre 10 e $30kHz$, pode ser vista na Fig. 2. A frequência de ressonância está em $16kHz$ e a frequência de anti-ressonância em $19,7kHz$, o que nos proporciona uma largura de banda de operação de $3,7kHz$ para o meio subaquático. Essa largura de banda é mais eficiente para operar em sistemas de comunicação acústica subaquática de grandes distâncias, por volta de 10 a $100km$, que englobam valores de 2 a $5kHz$ [8].

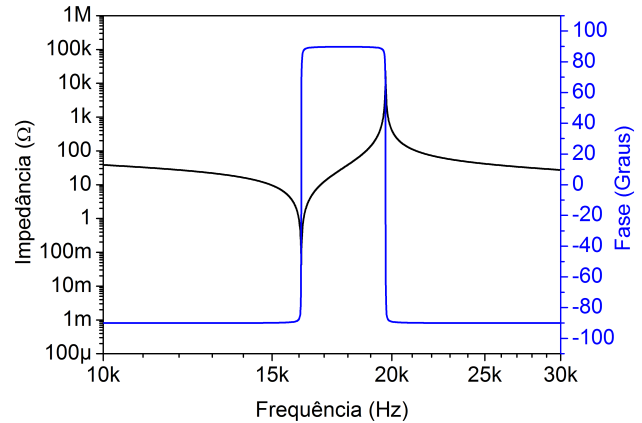


Figura 2. Frequência de ressonância e variação de fase do transdutor emissor piezoelétrico

V. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos através da simulação mostram coerência com os estudos existentes na literatura. Por exemplo, o valor da largura de banda de operação simulada do projetor, além de eficiente para grandes distâncias, também nos permite atingir uma taxa de transmissão de dados de aproximadamente $3,2kbps$, similar aos modelos de modems acústicos fabricados pela *Link-quest* [9].

Por fim, ressalta-se que esta simulação tem importância na identificação das características piezoelétricas do material cerâmico PZT-5H. Como trabalho futuro, pretende-se realizar um experimento prático para confirmar os resultados obtidos na simulação.

REFERÊNCIAS

- [1] D. C. Moreira, "Construção e caracterização do campo acústico de transdutores ultra-sônicos piezoelétricos de polarização variável," *Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, Brasil*, 2008.
- [2] M. Martins, V. Correia, J. Cabral, S. Lancers-Mendez, and J. Rocha, "Optimization of piezoelectric ultrasound emitter transducers for underwater communications," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 184, pp. 141–148, 2012.
- [3] M. C. Domingo, "Overview of channel models for underwater wireless communication networks," *Physical Communication*, vol. 1, no. 3, pp. 163–182, 2008.
- [4] P. P. S. Silva, "Soluções estacionárias dos sistemas piezoelétricos," *Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística - PPGME - da Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil*, 2010.
- [5] F. J. L. Ribeiro, A. C. Pedroza, and L. H. M. Costa, "Sistema de monitoramento subaquático usando navios de suporte logístico em uma rede de sensores acústicos tolerante a atrasos e interrupções," *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos-SBRC*, vol. 2011, pp. 133–146, 2011.
- [6] M. J. Povey, *Ultrasonic techniques for fluids characterization*. Academic Press, 1997.
- [7] F. D. dos Santos and M. G. Rubinstein, "Análise da viabilidade de aplicações de monitoramento e controle utilizando redes acústicas submarinas," *XXX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, Campo Grande-MS, Brasil*, 2012.
- [8] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "State-of-the-art in protocol research for underwater acoustic sensor networks," in *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Underwater networks*. ACM, 2006.
- [9] LinkQuestInc. LinkQuestInc underwater acoustic modem models. [Online]. Available: <http://www.link-quest.com/html/models1.htm>