

ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO PARA A VARIAÇÃO DE PARÂMETROS DO MODELO DE CIRCUITO EQUIVALENTE DE UM SENSOR A ONDA ACÚSTICA DE SUPERFÍCIE

Yasmin de Amorim Eustáquio ¹
Maria Gabriela Abreu de Souza ²
João Pedro Juchum Chagas ³
Marlo Andrade Santos ⁴
Raimundo Carlos Silvério Freire ⁵

INTRODUÇÃO

Os sensores a onda acústica de superfície (SAW) têm sido amplamente utilizados nas áreas de saúde, telecomunicação, devido ao seu alto desempenho como filtro, assim como na detecção de poluentes em meios líquido e gasoso (WHITE; VOLTMER, 1965). Esses dispositivos sensores possuem alta seletividade e sensibilidade a alterações de massa (TAMARIN et al, 2019) e (MOLL et al, 2007).

Para utilizar o sensor SAW é necessário um sistema que realize a leitura de sinais elétricos em radiofrequência e que se comunique com o dispositivo. O desenvolvimento de sistemas como esse exige o conhecimento sobre algumas características do dispositivo, como a resposta em frequência, energia consumida, atenuação e também de seus aspectos construtivos. Uma forma de facilitar é criar um modelo simulável para que seja possível realizar testes antes da implementação. Para isso, foi identificado duas formas de representar o dispositivo. Um modelo de parâmetros concentrados que se baseia em soluções das equações unidimensionais de um filtro piezoelétrico utilizando o teorema de Foster para realizar aproximação de elementos que não podem ser implementados diretamente num circuito (FOSTER, 1924), (BHATTACHARYYA; TULI; MAJURNDAR, 1995). O outro modelo utiliza parâmetros distribuídos, que faz analogia entre as soluções unidimensionais de um filtro piezoelétrico com a propagação de um sinal eletromagnético utilizando as equações

¹ Graduanda do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, yasmin.eustaquio@ee.ufcg.edu.br;

² Graduanda do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, maria.souza@ee.ufcg.edu.br;

³ Graduando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, joao.chagas@ee.ufcg.edu.br;

⁴ Doutorando pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, marlo.andrade@ee.ufcg.edu.br;

⁵ Professor orientador: Doutor, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, freire@dee.ufcg.edu.br.

do telégrafo. Há muitos trabalhos que realizam simulação de dispositivos SAW, porém poucos utilizam ambientes de simulação de circuitos elétricos. No trabalho de Jesus (2021) são realizadas simulações no *software* LTSpice® com o objetivo de permitir a inclusão de circuitos que interajam com o dispositivo.

Nesse contexto, este artigo tem como objetivo apresentar um estudo do modelo de circuito elétrico equivalente do sensor acústico de superfície a onda de Love por meio de simulação e realizando a variação de um dos parâmetros utilizado para caracterizar o dispositivo. Em seguida será analisada as respostas em frequência em termos da magnitude do coeficiente de transmissão (S_{21}), largura de banda, frequência de ressonância, atenuação e fator de qualidade. Inicialmente apresentamos os materiais e métodos. Na sequência, os resultados. Por fim, as considerações finais e perspectivas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada na simulação é descrita pelo diagrama de blocos apresentado na Figura 1.

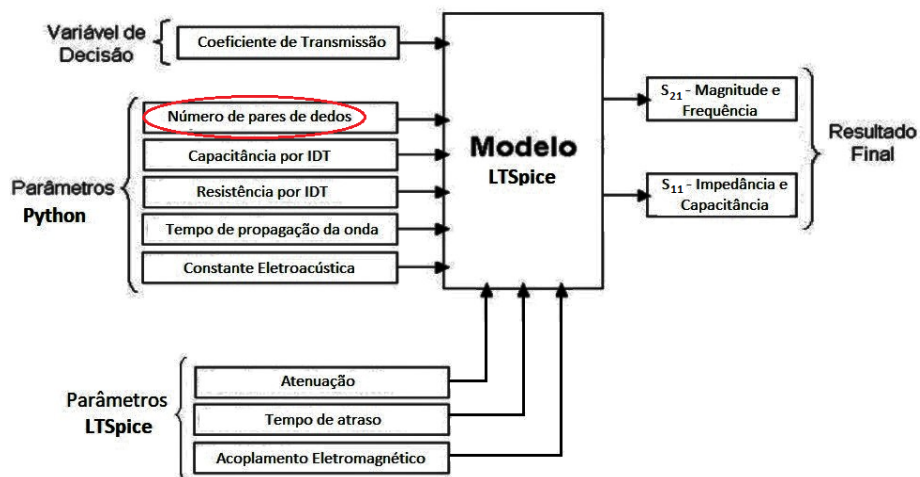


Figura 1: Diagrama da simulação do modelo de circuito equivalente do sensor SAW com os parâmetros a serem variados no código *Python* e no LTSpice® e a variável de decisão.

Fonte: autoria própria.

Na primeira etapa, utiliza-se dois códigos em *Python*, sendo um para gerar as funções e outro para gerar os parâmetros. O código em *Python* pode definir parâmetros que caracterizam o modelo, como: frequência de ressonância (f_0), número de pares de dedos (N_p),

capacitância por IDT (C_T), resistência por IDT (R_T), tempo de propagação da onda (t_L) e constante eletroacústica (K^2). Do código é gerado um arquivo *netlist* SPICE o qual será incluído no *software* LTspice® para a segunda parte da simulação. Conforme o diagrama é possível definir no LTspice®, ainda, os parâmetros de atenuação (A_p), tempo de atraso (t_p), que são responsáveis por modelar a parte sensível do modelo, como também o valor da capacitância do acoplamento eletromagnético (C_f).

Com o objetivo de identificar os limites do modelo referência e a influência dos parâmetros sob a resposta, variou-se estes parâmetros do código *Python* e LTspice®, presentes na Figura 1, analisando as características do coeficiente de transmissão. O parâmetro variado foi o número de pares de dedos. Seu valor foi variado de 1 a 10 e em seguida foi modificado de 10 em 10 até que as características de filtro elétrico fossem perdidas. Para essa simulação foi utilizada uma faixa de frequência VHF, de 103 MHz a 128 MHz e um número de pontos de 1000, permitindo uma resolução aceitável para as medições. A cada interação foi simulado o novo valor atribuído à variável no LTspice® e exportado um arquivo *.txt* que teve seus dados transferidos para um planilha Excel® a ser utilizada para plotar o gráfico correspondente a cada valor no *software* Matlab®. Com base no gráfico obtido da simulação da Figura 2 foi montada a Tabela 1 contendo alguns pontos de interesse para a análise da resposta.

Tabela 1: Variação do número de pares de dedos do modelo de circuito equivalente do sensor SAW.

Número de pares de dedos	Frequência de ressonância (MHz)	Atenuação (dB)	Largura de banda (MHz)	Fator de qualidade
1	122,1	62,59	69,69	1,75
5	118,1	50,24	10,21	11,57
10	117,5	43,93	6,20	18,95
60	117,3	24,34	0,66	117,73
100	116,6	27	0,69	168,98

Fonte: autoria própria.

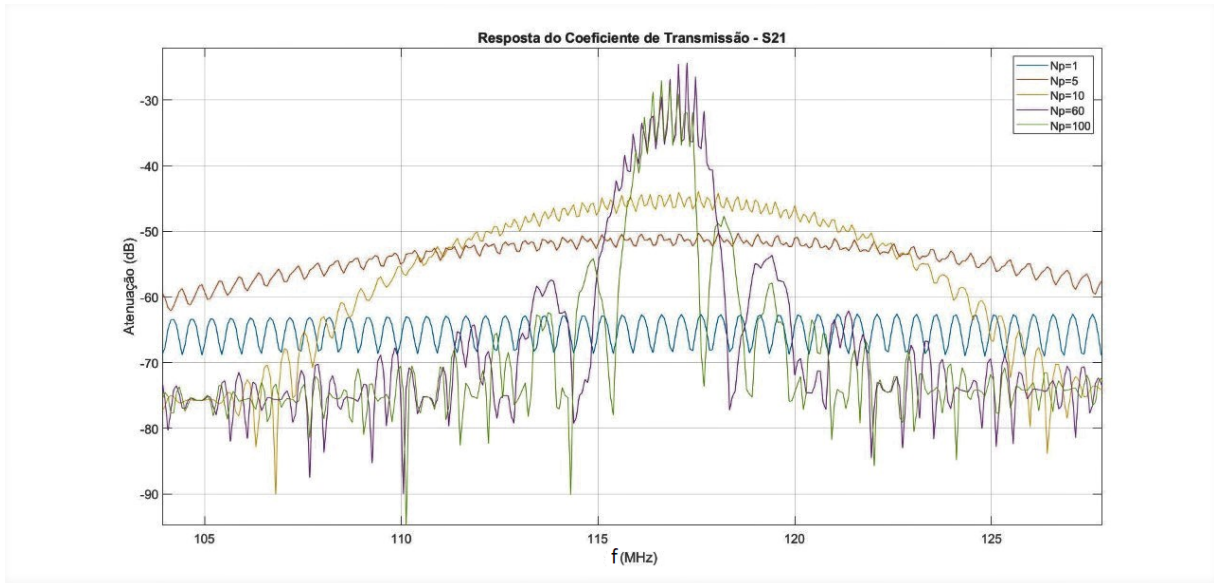


Figura 2: Resposta da variação do número de pares de dedos em função da frequência e atenuação.

Fonte: autoria própria.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o resultado da resposta do coeficiente de transmissão para a variação do número de pares de dedos presente na Figura 2, constata-se que, a frequência de ressonância, atenuação e largura de banda diminui conforme o número de pares de dedos aumentam. Observa-se também que para o valor de N_p igual a 100, a atenuação e a largura de banda apresentam divergência. O parâmetro do número de pares de dedos é utilizado na teoria para calcular a capacitância por seção. Como cada transdutor é composto por pares de dedos em paralelo, a constante C_s pode ser obtida pela razão entre a capacitância por IDT e o número de pares de dedos. Essa capacitância por seção é utilizada no cálculo da impedância característica do sensor.

Da análise dos resultados obtidos da simulação observamos que a atenuação possui o menor valor de -24,34 dB para $N_p = 60$. Para valores de números de pares de dedos maiores que 100 a atenuação tende a permanecer em -27 dB e a largura de banda permanece em 0,69 MHz. Conforme aumenta-se o número de pares de dedos, o fator de qualidade do sistema aumenta, e uma vez que o fator de qualidade está associado a perda de energia em relação a quantidade de energia armazenada no sistema, de forma que, quanto maior o fator de qualidade menor é a perda, pode-se dizer que o sistema é mais eficiente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo apresentamos um estudo do modelo de circuito equivalente do sensor acústico de superfície a onda de Love, operando com uma frequência de ressonância de 116 MHz, que foi desenvolvido baseado no teorema de Foster e de Mittag-Leffler, na teoria de linhas de transmissão para elementos distribuídos e no estudo da propagação de ondas acústicas. Conforme diminui-se o número de pares de dedos, a resposta do coeficiente de transmissão perde as características em termos de seletividade. Com base nos valores obtidos para o fator de qualidade, pode-se concluir que o circuito é mais eficiente com o aumento do número de pares de dedos.

Palavras-chave: Sensor a onda acústica de superfície, Variação de parâmetros, Simulações computacionais.

REFERÊNCIAS

BHATTACHARYYA, A. B.; TULI, Suneet; MAJURNDAR, S. SPICE simulation of surface acoustic wave interdigital transducers. **IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control**, v. 42, n. 4, p. 784-786, 1995.

FOSTER, Ronald M. A reactance theorem. **Bell System technical journal**, v. 3, n. 2, p. 259-267, 1924.

JESUS, Raphael Cardoso de Oliveira. Modelagem de dispositivos de ondas acústicas de superfície com foco em simulação em ambientes de circuitos. 2021.

MOLL, Nicolas et al. A Love wave immunosensor for whole E. coli bacteria detection using an innovative two-step immobilisation approach. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 22, n. 9-10, p. 2145-2150, 2007.

TAMARIN, Ollivier et al. Mobile acoustic wave platform deployment in the Amazon river: Impact of the water sample on the love wave sensor response. **Sensors**, v. 20, n. 1, p. 72, 2019.



WHITE, Richard M.; VOLTMER, Fred W. Direct piezoelectric coupling to surface elastic waves. **Applied physics letters**, v. 7, n. 12, p. 314-316, 1965.