

## AVALIAÇÃO DE CIRCUITOS OSCILADORES APLICADOS À SENSOR ACÚSTICO DE SUPERFÍCIE

João Pedro Juchum Chagas <sup>1</sup>  
Yasmin de Amorim Eustáquio <sup>2</sup>  
Henrique Dantas Silva <sup>3</sup>  
Marlo Andrade Santos <sup>4</sup>  
Raimundo Carlos Silvério Freire <sup>5</sup>

### INTRODUÇÃO

Os sensores a onda acústica de superfície (do inglês, Surface Acoustic Wave ou SAW) formam um importante conjunto de MEMS (do inglês, *Micro-ElectroMechanical-Systems*), podendo ser usados como filtros elétricos e como biossensores com aplicações na detecção de vírus, células cancerosas, hormônios, bactérias e várias toxinas. Estes dispositivos constituem uma importante família de sensores com possibilidade de produção em larga escala (BERNARDES, 2021).

Dentre tantas aplicações com os sensores SAW pode-se citar em circuitos para comunicação, para isso, é necessário a integração com circuitos osciladores senoidais. Os osciladores senoidais são classificados segundo o tipo de malha seletiva à frequência de sua rede de alimentação. Os osciladores a base de resistores e capacitores utilizam um filtro RC em sua malha de realimentação e são utilizados em baixas frequências na faixa de KHz, já os osciladores a base de indutores e resistores, são utilizados principalmente em aplicações de rádio frequência. Os osciladores LC mais conhecidos são: Hartley, Clapp, Colpitts e Pierce.

Uma das formas de se implementar osciladores senoidais é utilizando um cristal piezoelétrico em sua malha de realimentação, garantindo um fator de qualidade elevado e boa estabilidade a temperatura. Tal configuração é bastante utilizada na geração de sinais de temporizadores em computadores. Dispositivos baseados em SAW são outro possível elemento a ser utilizado como seletor de frequência em osciladores. Este tipo de dispositivo é

---

<sup>1</sup> Graduando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [joao.chagas@ee.ufcg.edu.br](mailto:joao.chagas@ee.ufcg.edu.br);

<sup>2</sup> Graduando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [yasmin.eustaquio@ee.ufcg.edu.br](mailto:yasmin.eustaquio@ee.ufcg.edu.br);

<sup>3</sup> Mestrando pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [henrique.dsilva@ee.ufcg.edu.br](mailto:henrique.dsilva@ee.ufcg.edu.br);

<sup>4</sup> Doutorando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [marlo.santos@ee.ufcg.edu.br](mailto:marlo.santos@ee.ufcg.edu.br);

<sup>5</sup> Professor orientador: Doutor, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [rscfreire@dee.ufcg.edu.br](mailto:rscfreire@dee.ufcg.edu.br).

usado principalmente em aplicações de alta frequência na faixa dos MHz, como em telefonia móvel (GARINTO; SYAHRIAR; BUDIYANTO, 2020).

Nesse projeto pretende-se usar o sensor SAW na malha de realimentação de osciladores senoidais, de forma que a informação a ser medida esteja contida na variação de frequência do oscilador, para isso serão realizadas simulações afim de se obter esses dados.

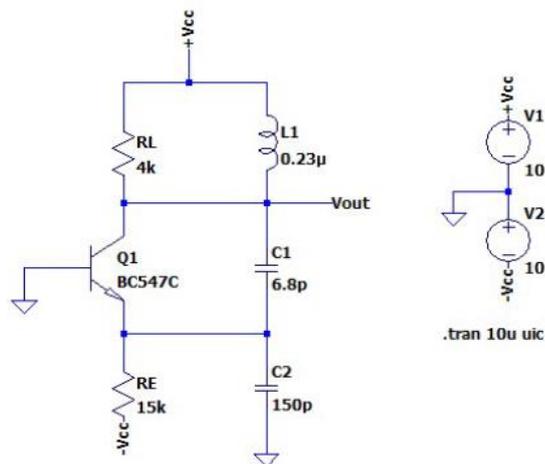
## METODOLOGIA

Inicialmente, houve um amplo estudo na área de sensores a onda acústica de superfície. Foram estudados conceitos e parâmetros físicos importantes para entender o funcionamento do sensor SAW.

Existem vários tipos de circuitos osciladores senoidais. Tendo em vista que a frequência de ressonância do sensor que será utilizado é de 116 MHz. Dito isto, o oscilador Colpitts foi escolhido até o presente estágio do projeto, pois possui boa estabilidade em frequências mais altas. Esta seção apresentará os experimentos que foram realizados até o atual momento do projeto.

No primeiro experimento chegou-se ao circuito apresentado na Figura 1. Os valores dos componentes foram levemente modificados para os valores comerciais, afim de possibilitar a construção física desse circuito.

Figura 1 – Circuito oscilador Colpitts base comum em 116 MHz.



Fonte: Autor

Para analisar o circuito é necessário entender que RE, C1, C2 e L formam um filtro Passa-baixas de 3ª ordem que produz um deslocamento de fase de 180° e fornece um ganho de sinal suficiente para iniciar e manter a oscilação. Assim, percebe-se que o coletor de Q1 é uma fonte de corrente em paralelo com RE e que isso equivale a uma fonte de tensão em série com RE. Assim, RE e C1 formam um filtro Passa-baixas que introduz um ângulo de fase atrasado no coletor. Normalmente, um amplificador emissor comum fornece ganho constante

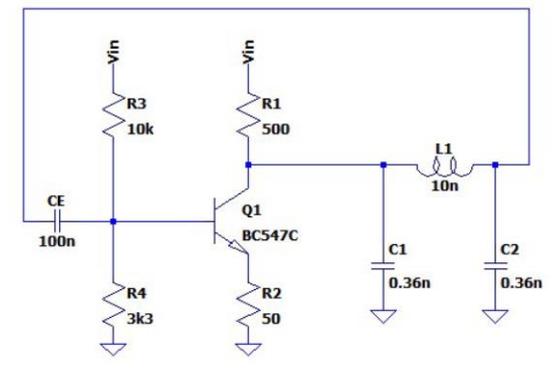
em uma ampla faixa de frequência (com um ângulo de fase de  $180^\circ$ ), mas, com C1 carregando o coletor, a mudança de fase tende a  $+90^\circ$  em altas frequências. Além disso, o ganho também está reduzindo em altas frequências (SEDRA; SMITH, 2004).

Para este experimento alguns parâmetros foram pré-estabelecidos, o amplificador emissor comum usado no circuito, um indutor de 10 nH,  $\omega_0 = 2\pi f$  com  $f = 116$  MHz. Para determinar o valor dos capacitores utilizou-se (1).

$$\omega = \sqrt{C_1 + C_2/LC_1C_2} \quad (1)$$

Com os componentes devidamente calculados, montou-se o circuito apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Circuito oscilador Colpitts emissor comum em 116 MHz.

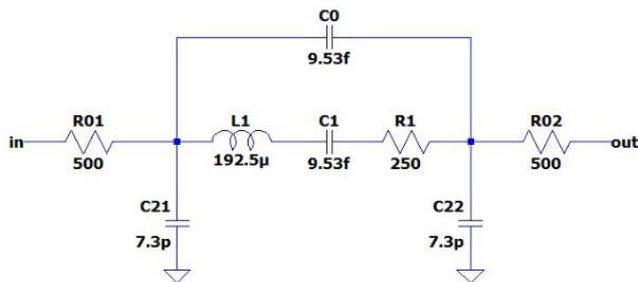


Fonte: Autor

Para a simulação do circuito oscilador com o sensor SAW, é necessário utilizar um modelo elétrico que represente o sensor. Para isso, replicou-se o modelo elaborado por (BERNARDES, 2021) representado na Figura 3. Vale ressaltar que o modelo não reproduz todas as características de fase do sensor SAW (BERNARDES, 2021). Isso pode ser explicado pela simplicidade do modelo que não leva em consideração o comprimento do caminho acústico que induz várias rotações de fase, contudo o modelo apresenta bons resultados para simulações.

Para o projeto do circuito do oscilador, os parâmetros de interesse baseados nas condições de Barkhausen são: a fase e perdas de inserção à frequência de projeto (SEDRA; SMITH, 2004).

Figura 3 – Modelo elétrico sensor SAW



Fonte: BERNARDES, 2021

O resultado da simulação do circuito oscilador Colpitts base comum está representado na Tabela I. Obteve-se uma onda senoidal com amplitude pico a pico em torno de 2 V e uma frequência de oscilação aproximadamente 116 MHz.

Tabela I: Comparação de dados teóricos e simulados do Colpitts base comum

	Frequência	Amplitude pico a pico
Teórico	116 MHz	2,11 V
Simulado	117 MHz	2,10 V
Erro Relativo	0,86%	0,6%

Como apresentado na Tabela I, é possível observar que existe um erro relativo associado ao experimento que está entre 0 e 1%. Ou seja, a simulação está de acordo com o calculado teoricamente.

O resultado da simulação do circuito oscilador Colpitts emissor comum está representado na Tabela II. Obteve-se uma onda senoidal com amplitude pico a pico em torno de 8 V e uma frequência de oscilação aproximadamente 116 MHz.

Tabela II: Comparação de dados teóricos e experimentais do Colpitts emissor comum

	Frequência	Amplitude pico a pico
Teórico	116 MHz	8,26 V
Experimental	116,31 MHz	8,25 V
Erro Relativo	0,2%	0,08%

Como apresentado na Tabela II, é possível observar que existe um erro associado ao experimento que está entre 0 e 1%. Ou seja, a simulação está de acordo com o calculado teoricamente.

A partir do circuito elétrico equivalente montado, iniciou-se a análise dos parâmetros de perdas de inserção, frequência de menores perdas e fase para o modelo do sensor SAW.

Tabela III: Comparação de dados teóricos e experimentais do modelo do sensor SAW

	Perdas de inserção	Frequência com menores perdas	Fase
Teórico	-31,57 dB	117,63 MHz	151,48°
Experimental	-31,37 dB	117,66 MHz	150,65°

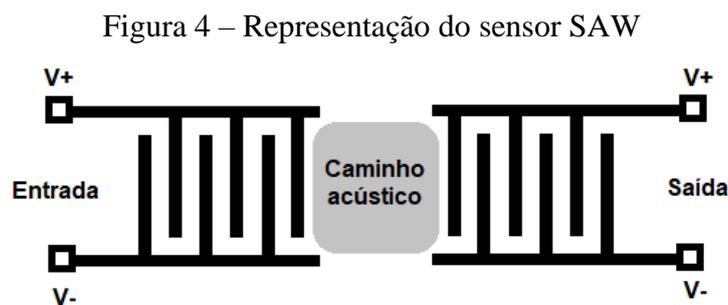
Erro	0,6%	0,02%	0,5%
------	------	-------	------

Como apresentado na Tabela III, é possível observar que existe um erro associado ao experimento que está entre 0 e 1%.

### REFERENCIAL TEÓRICO

Os sensores a onda acústica de superfície (SAW) são utilizados nos dias atuais como linhas de atraso, filtro passa-faixa, ressonadores, dentre outras. Nesse sentido, a produção e pesquisas acerca desses dispositivos estão em ascensão devido à sua grande gama de aplicações, principalmente na área de comunicação e redes sem fio (KIM; ADIB; LEE, 2019)

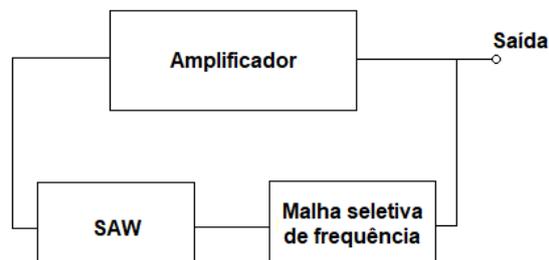
O sensor SAW utiliza o princípio da transdutância de um sinal de entrada (elétrico), para um sinal mecânico (ondas acústicas) em seu funcionamento. Ou seja, o sensor funciona com a propagação de ondas mecânicas na superfície de um substrato piezoelétrico, que possuem os IDTs (do inglês *interdigital transducer*). O esquemático dos sensores SAW está representado na Figura 4.



Fonte: Autor

De forma geral, pode-se representar um circuito oscilador senoidal com dois blocos básicos, aliado a isso, o projeto busca integrar um oscilador com o sensor SAW o que seria um terceiro bloco, esse esquema pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Representação do sensor SAW



Fonte: Autor

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o estudo de circuitos osciladores, decidiu-se dar ênfase ao circuito Colpitts pois possui boa estabilidade em altas frequências. Foram estudados e projetados dois tipos de

osciladores Colpitts, o em base comum e o em emissor comum. Ambos foram simulados e apresentaram uma boa resposta para a frequência determinada.

Sabendo que o principal objetivo do projeto consiste na implementação do sensor a onda acústica de superfície na malha de realimentação do circuito oscilador. Foram estudados alguns modelos elétricos de sensor SAW, dentre os quais, o apresentado na seção anterior que possui as características necessárias para simular o oscilador com sensor SAW em sua malha de realimentação.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas simulações feitas, constatou-se que os osciladores Colpitts realmente são estáveis na faixa de frequência do oscilador, o que corrobora para a implementação do sensor SAW neste tipo de circuito. O oscilador Colpitts na configuração em emissor comum apresentou melhores resultados se comparados ao em base comum. Desta forma, torna-se viável a implementação do sensor SAW via simulação, salvo alguns possíveis ajustes de ganho e fase. Para isso serão estudadas técnicas para a elaboração do circuito em placa de circuito impresso, uma vez que, nessa faixa de frequência é muito difícil a implementação em *protoboards* pois a impedância associada à ela influencia no circuito oscilador. Fica então sugerido para trabalhos futuros a fabricação de tais circuitos em placas de circuito impresso para implementação real dos assuntos abordados nesse trabalho.

**Palavras-chave:** Sensor SAW, Osciladores senoidais, Análises de circuitos, Osciladores Colpitts.

### REFERÊNCIAS

SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. *Microelectronic Circuits*. fifth. [S.l.]: Oxford University Press, 2004.

GARINTO, D.; SYAHRIAR, A.; BUDIYANTO, S. A novel op-amp based lc oscillator for wireless communications. In: IEEE. IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. [S.l.], 2020. p. 2243–2248.

BERNARDES, D. de J. P. *OSCILADOR PIERCE COM SENSOR A ONDAS DE LOVE NA MALHA DE REALIMENTAÇÃO*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação e Sistemas da Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

KIM, S.; ADIB, M. R.; LEE, K. Development of chipless and wireless underground temperature sensor system based on magnetic antennas and saw sensor. *Sensors and Actuators A: Physical*, Elsevier, v. 297, p. 111549, 2019.