

Análise Comparativa de Osciladores Senoidais das Topologias Pierce, Colpitts e Clapp Empregando Modelo de Sensor a Onda Acústica de Superfície na Malha de Realimentação

Comparative Analysis of Sinusoidal Oscillators of the Pierce, Colpitts and Clapp Topologies Employing Surface Acoustic Wave Sensor Model in the Feedback Loop

Henrique Dantas Silva^{1,*}, Raimundo Carlos Silvério Freire², Jalberth Fernandes de Araújo², Patrick Pereira de Alencar³

¹Universidade Federal de Campina Grande. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário. Campina Grande-PB, Brasil.

²Universidade Federal de Campina Grande. Departamento de Engenharia Elétrica. R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário. Campina Grande-PB, Brasil.

³Universidade Federal de Campina Grande. Curso de Graduação em Engenharia Elétrica. R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário. Campina Grande-PB, Brasil.

*Autor de correspondência: henrique.dsilva@ee.ufcg.edu.br

Este documento possui uma [licença Creative Commons Reconhecimento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 14 abril 2022 **Aceptado:** 26 octubre 2022 **Publicado:** 31 octubre 2022

Resumo

Neste trabalho é apresentada uma análise comparativa, via simulações computacionais, de osciladores senoidais das topologias Pierce, Colpitts e Clapp empregando modelo de sensor a onda acústica de superfície. Para a realização das simulações foram escolhidos osciladores senoidais com amplificador emissor comum e frequência de oscilação de 117 MHz e o modelo de sensor a onda acústica de superfície baseado no modelo de um cristal piezoelétrico. Os dados de saída das simulações foram a amplitude e a frequência de oscilação da tensão de saída dos osciladores com o modelo do sensor. A partir da análise comparativa da frequência de oscilação de cada oscilador, constatou-se erros percentuais inferiores a 1%, o que viabiliza o uso dos osciladores projetados para a faixa de frequências de VHF. Já a partir da análise comparativa da amplitude da tensão de saída de cada oscilador, constatou-se que a amplitude do oscilador Clapp foi 20% maior que a amplitude do oscilador Colpitts e 61,54% maior que a amplitude do oscilador Pierce. Com esse resultado, constata-se que o oscilador Clapp é o mais indicado para ser utilizado nessa faixa de frequência com o sensor a onda acústica de superfície para a medição de grandes amostras de perturbações. Já os osciladores Pierce e Colpitts seriam mais indicados para medições de pequenas amostras de perturbação, uma vez que suas topologias apresentam uma menor quantidade de componentes, reduzindo o custo de fabricação.

Palavras chave: Osciladores senoidais, Oscilador Pierce, Oscilador Colpitts, Oscilador Clapp, Sensor a onda acústica de superfície

Abstract

This work presents a comparative analysis, through computer simulations, of sinusoidal oscillators of the Pierce, Colpitts and Clapp topologies employing a surface acoustic wave sensor model. To carry out the simulations, sinusoidal oscillators with a common emitter amplifier and an oscillation

frequency of 117 MHz and the surface acoustic wave sensor model based on the model of a piezoelectric crystal were chosen. The output data of the simulations were the amplitude and the oscillation frequency of the output voltage of the oscillators with the sensor model. From the comparative analysis of the oscillation frequency of each oscillator, percentage errors of less than 1% were found, which enables the use of the oscillators designed for the VHF frequency range. From the comparative analysis of the output voltage amplitude of each oscillator, it was found that the amplitude of the Clapp oscillator was 20% greater than the amplitude of the Colpitts oscillator and 61.54% greater than the amplitude of the Pierce oscillator. With this result, it appears that the Clapp oscillator is the most suitable to be used in this frequency range with the surface acoustic wave sensor for the measurement of large samples of disturbances. On the other hand, Pierce and Colpitts oscillators would be more suitable for measurements of small perturbation samples, since their topologies have a smaller number of components, reducing the manufacturing cost.

Keywords: Sinusoidal oscillators. Pierce oscillator. Colpitts oscillator. Clapp oscillator. surface acoustic wave sensors.

1. Introdução

Osciladores senoidais são circuitos capazes de produzir um sinal senoidal sem a necessidade de aplicação de um sinal externo [1]. Os osciladores senoidais são muito utilizados em circuitos para comunicações, tais como os geradores de sinais, moduladores, demoduladores, misturadores, transmissores e receptores de rádio, telefonia celular, televisão, conversores de energia e biosensoriamento. Dentre todas essas aplicações, uma que vem ganhando destaque é a de biosensoriamento para a detecção de poluentes em ambientes líquidos e gasosos [2].

Um biosensor que vem sendo estudado nos últimos anos é o com transdução eletroacústica (do inglês *Surface Acoustic Wave* - SAW) [3,4]. O sensor SAW é utilizado para a detecção de vírus, bactérias e poluentes em ambientes líquidos e gasosos [5-7]. Na Fig.1 está apresentado um esquema do princípio de funcionamento do sensor SAW.

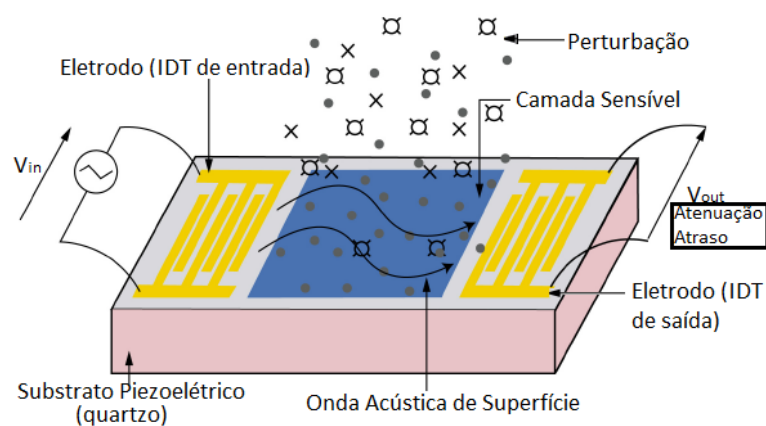


Fig.1 Esquema do princípio de funcionamento do sensor SAW.
Adaptado de [6]

Conforme apresentado na Fig.1, o sensor SAW possui dois transdutores interdigitais (do inglês *Interdigitated Transducers* - IDTs), um IDT de entrada e outro de saída. Nos eletrodos do IDT de entrada é aplicada uma tensão alternada, V_{in} , com frequência próxima a frequência de ressonância do sensor, proporcionando o efeito piezoelétrico sobre a superfície de quartzo. Assim, uma deformação mecânica caracterizada por um conjunto de compressão e expansão dos IDTs se forma e se espalha ao longo do substrato. Desta forma, o IDT de entrada proporciona a transformação da onda elétrica em mecânica, gerando a onda acústica de superfície [7,8].

Considerando o fato de o efeito piezoelétrico ser reversível, o IDT de saída é utilizado como receptor e possibilita a recepção do sinal em forma elétrica. O sinal recebido, V_{out} , é atrasado e atenuado em relação ao sinal transmitido, V_{in} [9]. Outra estrutura que pode ser observada na Fig.1 é a camada sensível. Essa camada é utilizada para adsorver com a substância externa depositada sobre a camada sensível do sensor, também chamada de perturbação. A adição das perturbações sobre a camada sensível causa diminuição na velocidade de fase e alterações na amplitude, na frequência de operação e na impedância da onda acústica de superfície [10].

A alteração na amplitude da onda acústica de superfície é vista em forma de atenuações que podem dificultar a análise da resposta em frequência do sensor. Assim, faz-se necessário a presença de um circuito que possa compensar essas atenuações. Para solucionar esse problema, utiliza-se osciladores senoidais [11]. Outra característica relacionada ao sensor SAW é o fato dele poder ser facilmente danificado devido ao mal manuseio. Para solucionar esse problema, modelos do sensor SAW foram desenvolvidos para que as primeiras análises sejam realizadas via simulações computacionais [9,11].

O modelo mais utilizado desse sensor é o de um cristal piezoelétrico [1,11]. A partir do modelo do cristal piezoelétrico [11] desenvolveu um modelo de sensor SAW com uma frequência de ressonância de 117,6 MHz. Já [9] desenvolveu um modelo de sensor SAW baseado em parâmetros distribuídos de linhas de transmissão, com frequência de ressonância de 116,5 MHz.

De forma a analisar a resposta do modelo do sensor SAW mediante o acréscimo de perturbações, o modelo do sensor foi utilizado em vários trabalhos do estado da arte em conjunto com osciladores senoidais.

Em [12], os autores realizaram simulações computacionais de um oscilador com frequência de oscilação de 1,9 GHz empregando o sensor SAW como o elemento controlador da frequência. Os autores tiveram como objetivo realizar uma comparação entre os valores medidos e simulados da frequência de oscilação, da potência de saída e do ruído de fase, obtendo diferenças de 3,33%, 1,22% e 4%, respectivamente. A partir dos resultados obtidos, os autores concluíram que as simulações computacionais realizadas simularam com boa exatidão o sistema real.

Em [13], os autores apresentaram um novo projeto de oscilador Colpitts utilizando o sensor SAW na malha de realimentação para uma frequência de 433 MHz. O oscilador foi testado via simulação para a análise da variação da frequência de oscilação mediante a variação da temperatura. Os autores constataram que a frequência de oscilação aumenta para temperaturas superiores a 25 °C e reduz para temperaturas inferiores a 25 °C. A variação da frequência de oscilação do oscilador para a faixa de temperatura utilizada (-20 °C a 75 °C) foi de 0,03%. Com esse resultado, os autores concluíram que o oscilador projetado é estável nessa faixa de temperatura.

Em [1], os autores desenvolveram, via simulações computacionais, o projeto e a análise de um oscilador Pierce utilizando um modelo de ressonador SAW baseado no cristal piezoelétrico. A topologia utilizada emprega dois amplificadores cascode em três estágios, fornecendo ganho suficiente para compensar as perdas de inserção de -65 dB na faixa de frequência de 1,3 GHz. O circuito desenvolvido apresentou um consumo de energia de 1,52 mW. Esse resultado é comparável com osciladores existentes, o que levou os autores a concluir que as simulações computacionais fornecem uma previsão, com exatidão, do desempenho do oscilador antes da fabricação.

Em [11], o autor desenvolveu, também via simulações computacionais, o projeto e a análise de um oscilador Pierce utilizando um modelo de sensor SAW a linha de atraso baseado no cristal piezoelétrico. A topologia utilizada emprega um amplificador base comum, fornecendo ganho suficiente para compensar perdas de inserção de -32 dB na faixa de frequência de 117 MHz. O autor analisou a tensão de saída do oscilador projetado mediante a adição de gotas de água no modelo do sensor. Como resultados, o autor constatou que o oscilador projetado manteve sua amplitude constante para uma e duas gotas, caracterizando uma estabilidade para essas configurações.

No estado da arte foram projetados e simulados osciladores senoidais das topologias Pierce, Colpitts e Clapp [14] empregando um modelo de sensor SAW. Em cada um desses trabalhos, apenas uma das topologias de oscilador senoidal citadas foi utilizada. Além disso, a maioria dos trabalhos utilizam osciladores com o sensor SAW na faixa de *Ultra High Frequency* (UHF). Assim, este trabalho busca realizar uma análise comparativa de osciladores senoidais das topologias Pierce, Colpitts e Clapp empregando um modelo de sensor a onda acústica de superfície para a faixa de *Very High Frequency* (VHF) a partir da amplitude e da frequência de oscilação da tensão de saída de cada oscilador.

2. Metodologia

A metodologia deste trabalho é baseada em cinco etapas, as quais estão apresentadas na Fig 2.

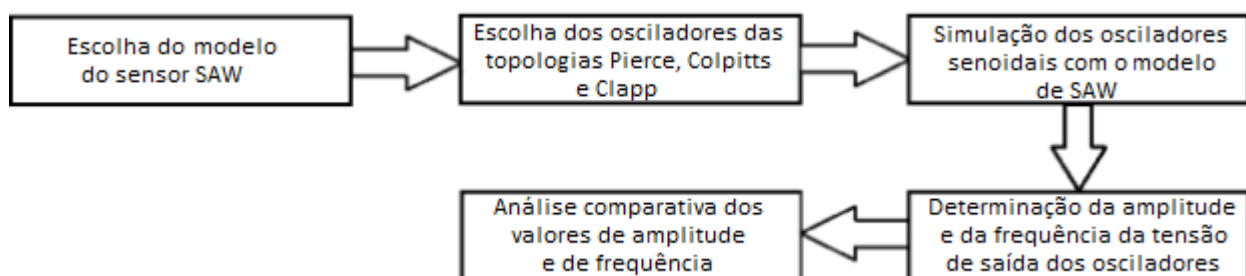


Fig.2 Diagrama de blocos das etapas para a análise comparativa dos osciladores senoidais com o sensor SAW na malha de realimentação

Conforme apresentado na Fig.2, inicialmente foi realizada a escolha do modelo de sensor SAW. O modelo utilizado para o desenvolvimento desse trabalho foi baseado em um sensor SAW com frequência de ressonância de 117 MHz, projetado e testado pelo *Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système* (IMS) de Bordeaux, França, em conjunto com o *Laboratoire d'Analyse et d'Architectures des Systèmes* (LAAS) de Toulouse, França.

Na Fig.3(a) está apresentado o modelo de sensor SAW baseado no modelo do cristal piezoelétrico e na Fig.3(b) está apresentada a resposta em frequência desse modelo (preto) e a resposta em frequência do sensor real (vermelho).

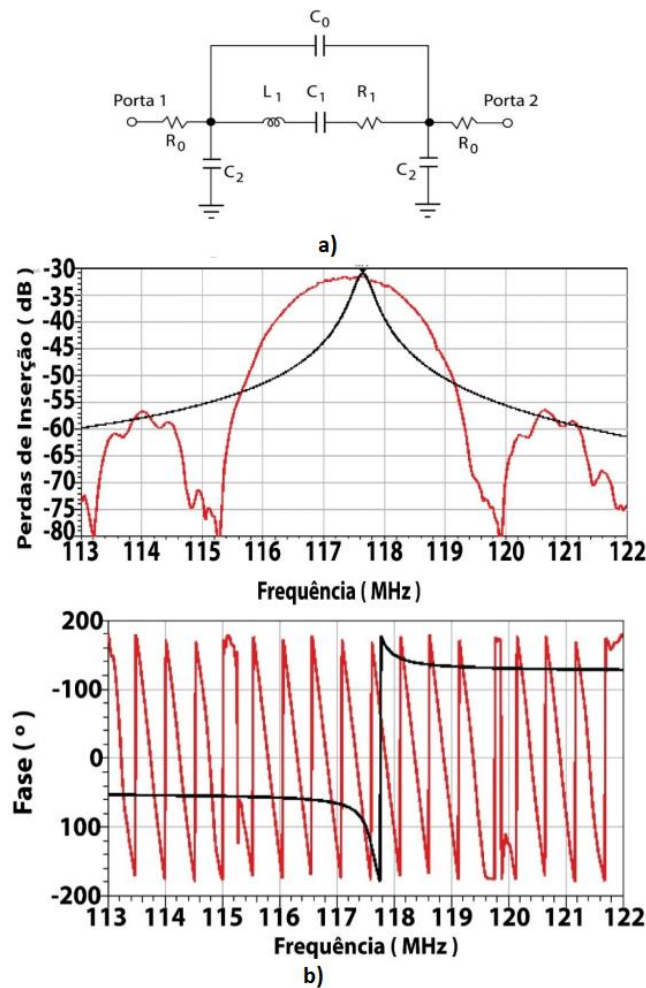


Fig.3 (a) Modelo de Sensor SAW baseado no Modelo de um Cristal Piezoelétrico e (b) Resposta em Frequência (perdas de inserção e fase como função da frequência) do sensor (vermelho) e do Modelo do Sensor (preto) [11]

O circuito da Fig.3 é um modelo simplificado que possui uma frequência de ressonância de 117,6 MHz, fase de 151° e perdas de inserção de 33 dB na frequência de ressonância. A fase varia linearmente, entre -180° e 180° , apenas em torno da frequência de ressonância e uma banda de passagem 75% menor em relação ao sensor real. Os valores de cada componente do modelo apresentado na Fig. 3(a) estão mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores dos componentes para o modelo de sensor SAW baseado no modelo de um cristal piezoelétrico [11]

Component e	Valor
$R_0(\Omega)$	500
$R_1(\Omega)$	250
$L_1(\mu\text{H})$	192,5
$C_0(\text{fF})$	9,53
$C_1(\text{fF})$	9,53
$C_2(\text{pF})$	7,3

Na sequência, os osciladores senoidais das topologias Pierce, Colpitts e Clapp foram escolhidos. Os critérios utilizados para a escolha dos osciladores foram a frequência de oscilação em 117 MHz e o ganho superior a 40 dB. Nas Figs. 4, 5 e 6 estão apresentados os osciladores Pierce, Colpitts e Clapp escolhidos, respectivamente.

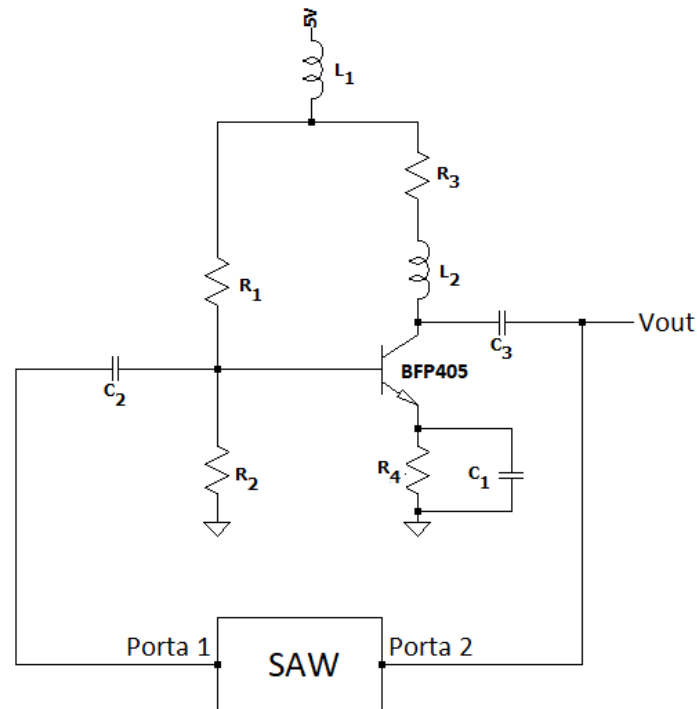


Fig.4 Esquema de Oscilador Pierce. Adaptado de [11]

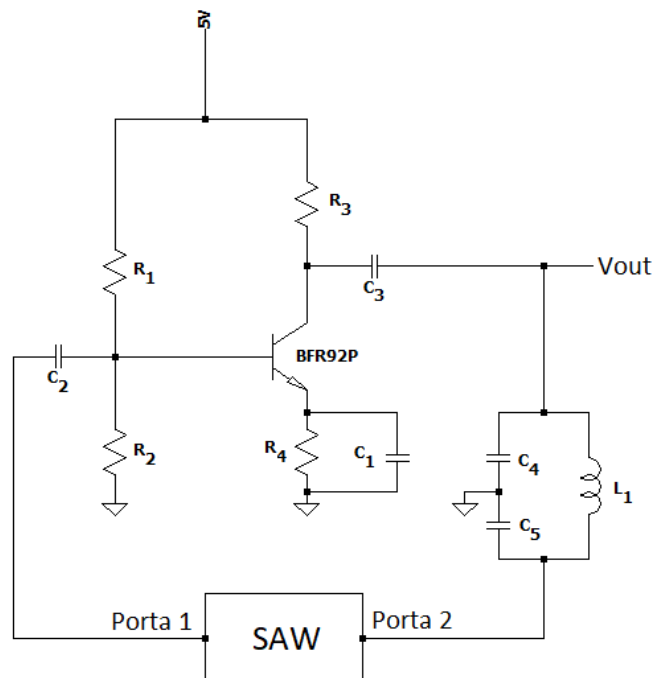


Fig.5 Esquema de Oscilador Colpitts. Adaptado de [12]

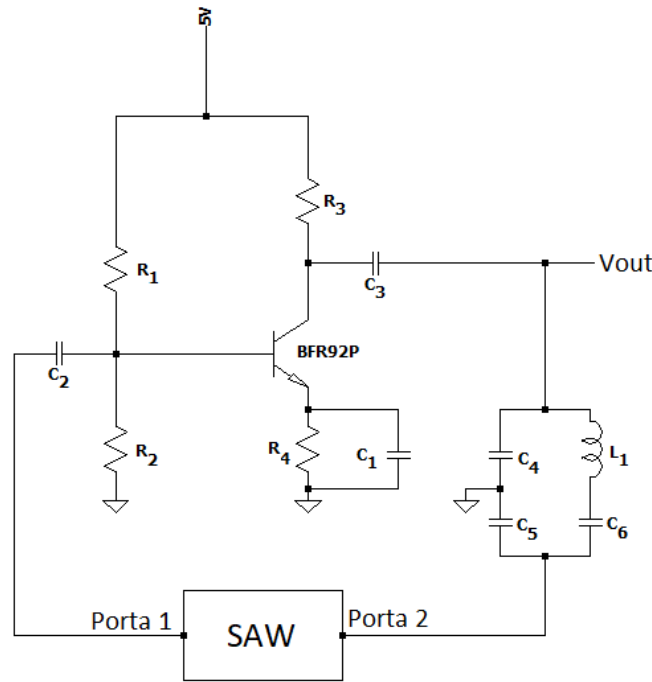


Fig.6 Esquema de Oscilador Clapp. Adaptado de [12]

Os osciladores senoidais apresentados nas Figs. 4, 5 e 6 apresentam uma malha de ganho e uma malha de frequência. A malha de ganho é do tipo amplificador emissor comum, formada pelos componentes R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , C_1 e pelo transistor BFR92P ou BFP405. O amplificador emissor comum foi escolhido devido ao deslocamento de fase desse circuito ser de 180° , além de possibilitar o controle do ganho do sistema de forma a atender aos critérios de Barkhausen (ganho unitário em malha fechada e fase múltipla de 360°) [14]. Os transistores BFR92P e BFP405 foram escolhidos por operar nas faixas de VHF e UHF. Os capacitores C_2 e C_3 têm como função o desacoplamento do nível DC do circuito. As frequências de oscilação da malha de frequência são dadas de acordo com (1), (2) e (3), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Frequência de Oscilação dos Osciladores Senoidais Pierce, Colpitts e Clapp [10,11]

Oscilador Pierce	$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1\left(\frac{C_0C_1}{C_0+C_1}\right)}}$	(1)
Oscilador Colpitts	$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1\left(\frac{C_4C_5}{C_4+C_5}\right)}}$	(2)
Oscilador Clapp	$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1\left(\frac{C_4C_5 + C_4C_6 + C_5C_6}{C_4C_5C_6}\right)}}$	(3)

Para o caso do oscilador Pierce apresentado na Fig.5, a frequência de oscilação é definida como a frequência de ressonância do sensor SAW na sua malha de realimentação, ou seja, os parâmetros de (1) são os parâmetros apresentados na Fig.3(a). Os valores dos componentes dos osciladores apresentados nas Figs. 4, 5 e 6 são mostrados nas Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente.

Tabela 3. Valores dos componentes do Oscilador Pierce [11]

Componente	Valor
R_1	$3,5\text{ k}\Omega$
R_2	$3,1\text{ k}\Omega$
R_3	$35\text{ }\Omega$
R_4	$80\text{ }\Omega$
L_1	$68\text{ }\mu H$
L_2	$33\text{ }\mu H$
C_1	12 pF
C_2	100 nF
C_3	100 nF

Tabela 4. Valores dos componentes do Oscilador Colpitts [12]

Componente	Valor
R_1	$7,9\text{ k}\Omega$
R_2	$4,5\text{ k}\Omega$
R_3	$4,6\text{ k}\Omega$
R_4	$2\text{ k}\Omega$
C_1	5 pF
C_2	100 nF
C_3	100 nF
C_4	227 pF
C_5	1 nF
L_1	10 nH

Tabela 5. Valores dos componentes do Oscilador Clapp [13]

Componente	Valor
R_1	$7,9\text{ k}\Omega$
R_2	$4\text{ k}\Omega$
R_3	$4,6\text{ k}\Omega$
R_4	$2\text{ k}\Omega$
C_1	5 pF
C_2	100 nF
C_3	100 nF
C_4	$24,8\text{ pF}$
C_5	4 nF
C_6	2 nF
L_1	$1\text{ }\mu H$

Como os osciladores senoidais com SAW empregados nesse trabalho operam na faixa de frequência de VHF, as simulações computacionais foram realizadas no *software* ADS[®] (do inglês – *Advanced Design System*), que é utilizado principalmente para aplicações em faixas de frequências mais elevadas e é destaque pela diversidade de bibliotecas disponíveis para aplicações em rádio-frequência. Em seguida, a amplitude e a frequência da tensão de saída, V_{out} , foram determinadas para as configurações dos osciladores apresentados nas Figs. 4, 5 e 6. Por fim, uma análise comparativa dos valores de amplitude e frequência foi realizada. A frequência de oscilação foi comparada com o valor teórico, 117 MHz, por meio do cálculo do erro percentual. Já a amplitude da tensão de saída foi comparada entre as configurações de osciladores com o modelo de sensor simuladas de forma a verificar qual configuração apresentou uma maior amplitude.

3. Resultados e Discussão

As tensões de saída, V_{out} , dos osciladores Pierce, Colpitts e Clapp com o sensor SAW na malha de realimentação apresentados nas Figs. 4, 5 e 6 e nas Tabelas 3, 4 e 5, podem ser observadas na Fig.7. Na Tabela 6 estão apresentadas as frequências de oscilação e as amplitudes das tensões de saída dos osciladores Pierce (vermelho), Colpitts (preto) e Clapp (azul).

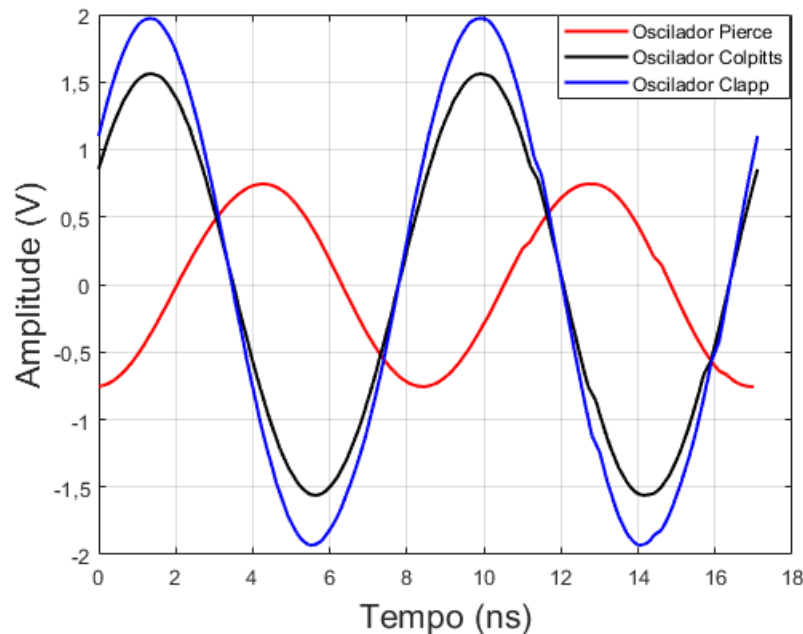


Fig.7 Tensão de saída dos osciladores Pierce (vermelho), Colpitts (preto) e Clapp (azul) com modelo de SAW

Tabela 6. Amplitude e frequência da tensão de saída dos osciladores senoidais simulados

Configuração	Amplitude (V)	Frequência (MHz)
Oscilador Pierce com modelo de SAW	0,75	117,63
Oscilador Colpitts com modelo de SAW	1,56	116,69
Oscilador Clapp com modelo de SAW	1,95	116,78

Fonte: Autoria Própria.

Conforme apresentado na Fig.7, a forma de onda das tensões de saída dos osciladores Pierce, Colpitts e Clapp com o sensor SAW na malha de realimentação foram senoidais. Além disso, observa-se que a tensão de saída do oscilador Pierce está defasada em relação às demais, isso ocorre pela presença dos indutores L_1 e L_2 no circuito amplificador emissor comum do oscilador Pierce. Na Tabela 6 constata-se que, em todos os casos, a tensão de saída dos osciladores Pierce, Colpitts e Clapp apresentou uma frequência em torno de 117 MHz, com erros percentuais de 0,54%, 0,18% e 0,19%, respectivamente. Este resultado viabiliza o uso desses osciladores senoidais com o sensor SAW na malha de realimentação para a faixa de frequência de VHF.

Na Tabela 6, ao comparar a amplitude da tensão de saída dos osciladores Pierce, Colpitts e Clapp com o modelo do sensor SAW na malha de realimentação, verifica-se que a amplitude do oscilador Clapp é 20% maior que a amplitude do oscilador Colpitts e 61,54% maior que a amplitude do oscilador Pierce. Assim, constata-se que o oscilador Clapp é o mais indicado para ser utilizado nessa faixa de frequência com o sensor SAW para a medição de perturbações. Essa constatação pode ser feita devido ao fato de que a inserção de perturbações na camada sensível do sensor SAW causa atenuações no sinal de saída do sensor, ou seja, quanto maior for a amostra da perturbação

(líquido, gás, bactéria), menor será a amplitude da tensão de saída do conjunto oscilador-sensor. Assim, a configuração que apresenta a maior amplitude, no caso o oscilador Clapp, será aquela em que poderá ser analisada uma maior amostra de perturbação sem que a oscilação da tensão de saída cesse. Essa constatação não inviabiliza o uso dos osciladores Pierce e Colpitts, uma vez que os mesmos podem ser utilizados para análises de amostras menores de perturbações e têm como vantagem a menor quantidade de componentes para a sua confecção em relação ao oscilador Clapp, ou seja, o custo de fabricação é menor.

4. Conclusões

Neste trabalho foi abordada uma análise comparativa, via simulações computacionais, de osciladores senoidais das topologias Pierce, Colpitts e Clapp com modelo de sensor a onda acústica de superfície em sua malha de realimentação. A análise comparativa da tensão de saída do oscilador senoidal foi feita com base na amplitude e na frequência de oscilação da tensão de saída. Em relação a frequência de oscilação, verificou-se que todas as configurações apresentaram frequência de oscilação próxima a 117 MHz (frequência de ressonância do sensor), o que viabiliza o uso desses osciladores em conjunto com o sensor para a faixa de VHF. Por fim, na análise da amplitude foi constatado que o oscilador Clapp é o mais indicado para ser utilizado nessa faixa de frequência com o sensor SAW para a medição de perturbações, podendo ser inserido uma maior amostra de perturbações na camada sensível do sensor SAW, em relação aos demais osciladores, sem que a tensão de saída seja completamente atenuada. Para amostras de perturbações menores, os osciladores Pierce e Colpitts podem ser utilizados, uma vez que eles possuem uma menor quantidade de componentes em relação ao oscilador Clapp, resultando em um menor custo de fabricação.

Referências

1. Hamzah, M.H., Karim, J., Ralib, A.A.M., *Design and analysis of a boosted pierce oscillator using MEMS SAW resonators*. Microsystem Technologies, 2018. **24**: p. 587-594. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00542-017-3627-y>
2. Mandal, D., Banerjee, S., *Surface Acoustic Wave (SAW) Sensors: Physics, Materials, and Applications*. Sensors, 2022. **22**(820). DOI: <https://doi.org/10.3390/s22030820>
3. Länge, K., Gruhl, F.J., Rapp, M., *Surface Acoustic Wave (SAW) Biosensors: Coupling of Sensing Layers and Measurement*. Methods in Molecular Biology (Methods and Protocols), 2013. **949**: p. 491-505. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-62703-134-9_31
4. Landrigan, P., Fuller, R., Acosta, N., *The lancet commission on pollution and Health*. The lancet, 2018. **391**(10119): p. 462-512. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)
5. Zimmermann, C., Rebière, D., Déjous, C., *A love-wave gas sensor coated with functionalized polysiloxane for sensing organophosphorus compounds*. Sensors and Actuators B: Chemical, 2001. **76** (1-3): p. 86-94. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-4005\(01\)00578-0](https://doi.org/10.1016/S0925-4005(01)00578-0)
6. Tamarin, O., Rube, M., Lachaud, J.L., Raimbault, V., Rebière, D., Dejous, C., *Mobile Acoustic Wave Platform Deployment in the Amazon River: Impact of the Water Sample on the Love Wave Sensor Response*. Sensors 2020, 2020. **20** (1): p. 72. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20010072>
7. Huang, Y., Das, P., Bhethanabotla, V., *Surface acoustic waves in biosensing applications*, Sensors and Actuators Reports, 2021. **3**. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snr.2021.100041>
8. Rube, M., *Unconventional protocol for SAW sensor: multi-physic response enrichment in liquid medium*. IEEE Sensors Journal, 2021. p. 1-10. DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/JSEN.2021.3094299>
9. Jesus, R., Carvalho, E., Tamarin, O., Freire, R., Dejous, C., *Evaluation of an Equivalent Circuit Model for Simulation of Surface Acoustic Wave Sensors*, 2021 5th International Symposium on Instrumentation Systems, Circuits and Transducers (INSCIT), 2021. **5**: p. 1-6, DOI: <https://doi.org/10.1109/INSCIT49950.2021.9557258>

10. Devkota, J., Ohodnicki, P., Greve, D., *SAW sensors for chemical vapors and gases*. Sensors (Switzerland), 2017. **17** (4): p 13-15. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17040801>
11. Bernardes, D., *Oscilador Pierce com sensor a ondas de love na malha de realimentaçãp*. Tese de Mestrado, 2021. Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Campina Grande.
12. Eichinger, L., Sischka, F., Olbrich, G., Weigel, R., *Accurate design of low-noise microwave SAW oscillators*. 2000 IEEE Ultrasonics Symposium. Proceedings. An International Symposium (Cat. No.00CH37121), 2000. **1**: p. 29-34. DOI: <https://doi.org/10.1109/ULTSYM.2000.922500>
13. Yadav, S., Tiwari, N., *A Colpitt's oscillator using SAW device for greater temperature and frequency range*. International Journal of Engineering Researche, 2013. **2** (2): p. 54-57.
14. Sedra, A., Smith, K., Carusone, T., Gaudet, V., *Microeletronic Circuits*, 2020. 8ª ed. New York: Oxford University Press.1264 p. ISBN: 978-0190853501

Agradecimentos

Agradecemos a CAPES pelo apoio financeiro em forma de bolsas, ao IMS de Bordeaux, ao LAAS de Toulouse, à Universidade de Bordeaux e à Universidade da Guiana pelo fornecimento das características do sensor SAW na frequência de 117 MHz.

Conflito de Interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesses.

Contribuição dos autores

Henrique Dantas Silva. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6791-1330>

Elaboração da ideia do artigo, pesquisa e revisão do estado da arte, coleta e processamento de dados, análise e interpretação dos dados para elaboração dos resultados e redação do artigo.

Jalberth Fernandes de Araújo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3468-3009>

Auxiliou na elaboração dos resultados e discussão, supervisão do andamento do artigo, discussão e revisão crítica do conteúdo.

Raimundo Carlos Silvério Freire. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5395-7143>

Discussão e revisão crítica do conteúdo.

Patrick Pereira de Alencar. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4494-2804>

Auxiliou na coleta e processamento de dados, auxiliou na elaboração dos resultados e discussão.