

Síntese Sonora: uma investigação sobre circuitos osciladores senoidais

FILIPE DOS SANTOS RODRIGUES¹; CAIO PEREIRA MORAN²; VINÍCIUS ÁVILA
EICHENBERG³; REGINALDO DA N. TAVARES⁴

¹UFPEl – filipe.sr2009@hotmail.com

²UFPEl – caio-88@hotmail.com

³UFPEl – vinicius.eichenberg@ufpel.edu.br

⁴UFPEl – regi.ntavares@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O projeto de pesquisa multidisciplinar Inventário de Corpos Sonantes e Matrizes Sensíveis tem como foco a catalogação do acervo de fonogramas e equipamentos reprodutores de áudio da Discoteca L.C. Vinholes. Esse acervo é constituído por uma variedade de itens tais como fitas cassete, discos, reprodutores de CDs e DVDs, toca-discos, sound-systems, vitrolas entre outros.

Nesse contexto, o grupo tem realizado encontros virtuais para compartilhar informações e fomentar o aprendizado referente aos diferentes tópicos de circuitos eletrônicos utilizados em síntese sonora. Em um desses encontros foi sugerido o estudo e o desenvolvimento de uma “Máquina de Experimentação” como atividade já que as atividades presenciais na discoteca estão suspensas em razão da pandemia de COVID-19.

A máquina de experimentação seria um sintetizador modular. O processo de criação de sons usando sintetizadores é chamado de síntese sonora. Este processo ocorre por leis matemáticas e físicas onde as ondas elétricas, representadas através de sinais de corrente e tensão, são convertidas em ondas sonoras usando componentes eletrônicos e depois amplificadas para alto-falantes. Hoje em dia temos diversos tipos de sintetizadores, inclusive implementados em softwares, que podem fornecer tanto ondas sonoras quanto ondas de controle.

A síntese modular começa pelo oscilador, o coração do instrumento, que é definido como “um oscilador eletrônico, é um circuito que produz uma saída periódica sem um sinal de entrada” (KIM e SCHUBERT, 2016, p. 925, tradução nossa). Essa saída pode ser utilizada como fonte sonora, geralmente em conjunto de outros blocos como filtros e amplificadores, para a criação de harmonias e melodias. Podem ser utilizados com outros blocos eletrônicos como osciladores controlados por tensão (VCO) e filtros controlados por tensão (VCF) a fim de variar o sinal de saída.

2. METODOLOGIA

O oscilador por deslocamento de fase e o oscilador ponte de Wien foram considerados como possíveis circuitos osciladores senoidais para serem utilizados neste projeto de pesquisa. Foi escolhido o oscilador por deslocamento de fase tomando a sua simplicidade de construção como fator de escolha.

Para verificar o comportamento do circuito oscilador escolhido, vários experimentos de simulação elétrica foram realizados com o simulador LTspice. O circuito por deslocamento de fase é uma proposta retirada do livro “Fundamentals

of Electronics, Book 4 - Oscillators and Advanced Electronics Topics”. O circuito de referência foi simulado com valores diferentes de resistência para oscilar na frequência fundamental de cada nota musical natural da quarta oitava.

Nota Musical	Dó	Ré	Mi	Fá	Sol	Lá	Si
Hz	261,63	293,66	329,63	349,23	391,99	440,00	493,88

Tabela 1. Notas musicais e suas respectivas frequências na quarta oitava

O oscilador por deslocamento de fase pode ser construído a partir de um amplificador operacional e uma rede de elementos resistivos e capacitivos. Este circuito também pode ser construído com um transistor como elemento ativo. A arquitetura escolhida para este trabalho utiliza um amplificador operacional. Os resistores e capacitores formam uma rede de realimentação que desloca a fase do sinal em 180°. O sinal deslocado é inserido na entrada inversora do amplificador que desloca o sinal em mais 180° resultando em 360° de deslocamento de fase total. O deslocamento de fase é o primeiro critério de Barkhausen para determinar se um circuito linear poderá oscilar em uma determinada frequência. O segundo critério observa que o ganho do amplificador (A) multiplicado pela atenuação da rede de realimentação (β) deve ser unitário ($|A\beta| = 1$) (KIM e SCHUBERT, 2016 , p. 926 e 927).

A atenuação da rede de realimentação é estabelecida na literatura como $\frac{1}{29}$ o que, na teoria, deveria fazer com que o projeto do circuito definisse os componentes de forma que o ganho do amplificador ficasse em 29, gerando a unidade na multiplicação. Na prática, contudo, o circuito necessita de um ganho um pouco maior do que a unidade para que a oscilação inicie sem nenhuma entrada e depois se estabilize (KIM e SCHUBERT, 2016, p.927). Essa possibilidade se deve ao fato de haver ruído térmico nos componentes do circuito e esse ruído ser filtrado pela rede de realimentação para que esteja em fase na frequência escolhida de acordo com os cálculos realizados.

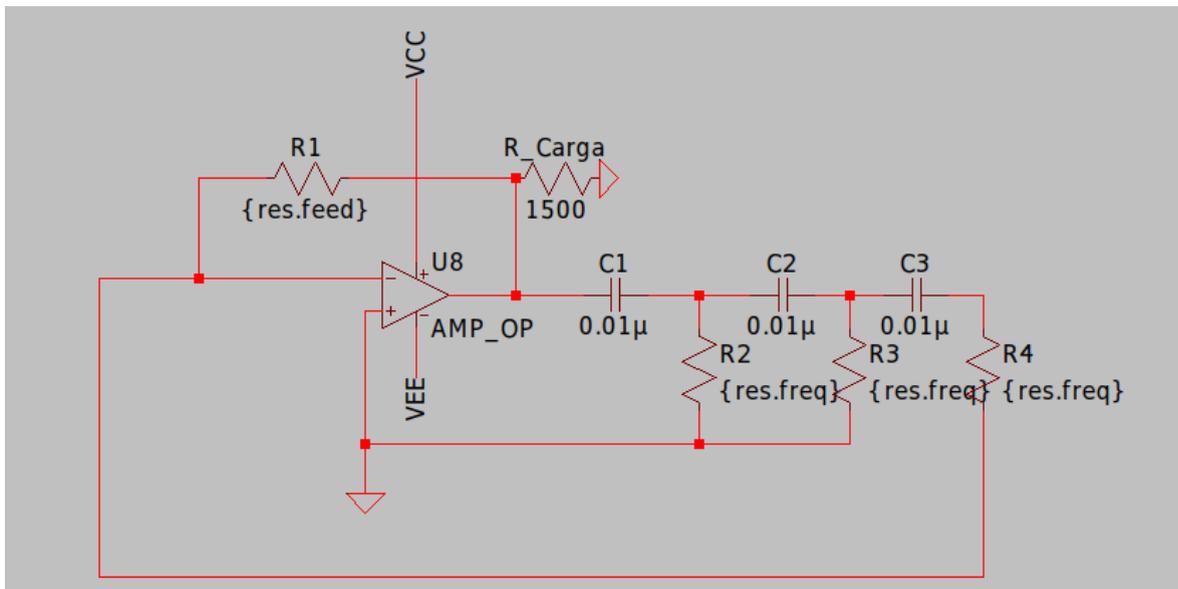


Figura 1: Esquemático do circuito oscilador.

Os cálculos necessários para o desenvolvimento do circuito foram apresentados pelo livro já citado e estão aqui dispostos as equações já desenvolvidas para cada parâmetro de interesse:

$$\omega = 2\pi f(1) \quad \omega = \frac{1}{RC\sqrt{2N}}(2) \quad R = \frac{1}{\omega C\sqrt{2N}}(3) \quad f = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{2N}}(4) \quad \frac{R_f}{R} > 29(5)$$

Sendo f a frequência alvo desejada para oscilação do circuito, R o valor da resistência em cada resistor da rede de realimentação, R_f o valor do resistor de realimentação, C , da mesma forma, o valor da capacitância necessária para cada capacitor da rede de realimentação e N o número de estágios na rede de realimentação. Como temos um número menor de diferentes capacitâncias comerciais em relação à resistência, optamos por iniciar o desenvolvimento utilizando um valor fixo de capacitor e variando, posteriormente, a parte resistiva. O valor selecionado foi o de 10nF de forma a gerar valores de resistência na ordem de kilo ohms, calculada através da fórmula (3), e, ao mesmo tempo, por permitir uma estabilização mais rápida da oscilação quando comparado à valores maiores de capacitância conforme simula

Substituindo os valores da tabela 1, na fórmula (3), considerando a relação da fórmula (5), e escolhendo $\frac{R_f}{R} = 30$:

Nota Musical	Frequência	R	Rfeedback
C4	261,600	24837,436	745123,090
D4	293,700	22122,824	663684,713
E4	329,600	19713,208	591396,239
F4	349,200	18606,739	558202,177
G4	392,000	16575,187	497255,613
A4	440,000	14766,985	443009,546
B4	493,900	13155,443	394663,293

Tabela 2. Valores de resistências obtidos

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Simulações elétricas foram realizadas para cada circuito oscilador. Os circuitos foram ajustados para oscilar na frequência de uma nota musical. As simulações mostram o comportamento da forma de onda (resposta do circuito) e o valor da frequência de oscilação. A frequência de oscilação foi medida através do comando “.meas” do simulador elétrico LTspice.

Frequência Projetada	Frequências Medidas (Hz)					
	LM324	TL072	LM358	NE5532	OP07D	RC4558
261,600	257,909	257,034	257,236	257,208	256,765	256,854
293,700	289,522	288,691	289,393	288,895	288,332	288,347
329,600	324,793	323,945	324,388	323,928	323,500	323,696
349,200	344,485	343,186	343,864	343,289	342,339	343,324
392,000	386,138	385,336	385,865	385,388	384,495	384,938
440,000	433,303	432,239	432,807	432,354	431,442	432,705
493,900	486,253	485,145	485,482	485,142	484,283	485,406

Tabela 3. Valores Projetados X Valores Obtidos

Calculando o erro absoluto, ou seja, a diferença entre a frequência projetada e a frequência medida em cada um dos circuitos, podemos verificar qual a magnitude da distância entre esses dois valores.

Erro LM324	Erro TL072	Erro LM358	Erro NE5532	Erro OP07D	Erro RC4558
3,691	4,566	4,364	4,392	4,835	4,746
4,178	5,009	4,307	4,805	5,368	5,353
4,807	5,655	5,212	5,672	6,100	5,904
4,715	6,014	5,336	5,911	6,861	5,876
5,862	6,664	6,135	6,612	7,505	7,062
6,697	7,761	7,193	7,646	8,558	7,295
7,647	8,755	8,418	8,758	9,617	8,494

Tabela 4. Erro Absoluto

Queremos saber, portanto, o erro percentual da frequência medida:

Erro (%) LM324	Erro (%) TL072	Erro (%) LM358	Erro (%) NE5532	Erro (%) OP07D	Erro (%) RC4558
1,411%	1,745%	1,668%	1,679%	1,848%	1,814%
1,423%	1,705%	1,466%	1,636%	1,828%	1,823%
1,458%	1,716%	1,581%	1,721%	1,851%	1,791%
1,350%	1,722%	1,528%	1,693%	1,965%	1,683%
1,495%	1,700%	1,565%	1,687%	1,915%	1,802%
1,522%	1,764%	1,635%	1,738%	1,945%	1,658%
1,548%	1,773%	1,704%	1,773%	1,947%	1,720%

Tabela 5. Erro Relativo

4. CONCLUSÕES

As simulações mostram que todos os amplificadores operacionais utilizados nos experimentos apresentam um erro relativo abaixo de 2%. Estes resultados indicam que o conjunto de amplificadores operacionais utilizados podem gerar sinais senoidais com frequências ajustadas na faixa de áudio com alta confiabilidade. Desta forma, o erro relativo pode ser considerado um indicador para a escolha dos componentes que serão utilizados na possível implementação dos circuitos osciladores.

Agradecemos ao CNPq pelo apoio às pesquisas que deram origem a esse texto.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KIM, E.M.; SCHUBERT JR., T.F. **Fundamentals of Electronics: Book 4 Oscillators and Advanced Electronics Topics**. San Rafael: Morgan & Claypool, 2016.