

Plano de Trabalho de TCC (Microeletrônica/FATEC-SP)

Aluno: Gil Fuser (RA-23106332)

Orientador: Roberto Katsuhiro Yamamoto

Computador Analógico para Aplicação em Áudio: Filtro/Ressonador Controlado por Tensão

RESUMO

Computadores analógicos são utilizados em aplicações como inteligência artificial, redes neurais, medicina e simulação de processos físicos complexos, pois oferecem ganhos de eficiência e velocidade em relação aos métodos digitais. Têm a capacidade de resolver equações diferenciais ordinárias e simular o comportamento de sistemas dinâmicos contínuos [1], característica compartilhada por alguns sintetizadores e módulos de processamento de áudio. O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é compreender e recriar o circuito do filtro/ressonador multimodo ARP 1047 [2], explorando suas bases na computação analógica e sua aplicabilidade na síntese sonora. A pesquisa envolve a análise do circuito original, sua simulação e a construção de um protótipo funcional. Além disso, busca-se avaliar seu desempenho, comparando suas características com o projeto original e investigando possíveis melhorias.

Palavras-chave: computador analógico, sintetizador modular, controle por tensão, filtro de sinal.

1. Introdução

Computadores analógicos apresentam baixo consumo de energia e alta velocidade na resolução de modelagens físicas complexas, sendo indicados para aplicações que toleram certa margem de erro. São utilizados em áreas como inteligência artificial, na implementação de redes neurais [3], além de aplicações na medicina, na simulação de sistemas físicos e sensores neuromórficos. Modelos híbridos, que combinam processamento digital e analógico, vêm sendo desenvolvidos para acelerar tarefas computacionais intensivas, como aprendizado de máquina e reconhecimento de padrões [4]. Espera-se para que a computação analógica continue a ganhar importância em aplicações de alta eficiência energética, contribuindo para avanços na computação quântica, medicina e dispositivos embarcados.

Os sintetizadores modulares surgiram no final dos anos 1950 com Harald Bode. Na década de 1960, Robert Moog e Don Buchla expandiram suas possibilidades sonoras. A popularidade desses instrumentos cresceu durante as décadas de 1970 e 1980, especialmente entre artistas de música eletrônica e rock progressivo. Após um declínio com a digitalização da música, ressurgiram nos anos 1990 com o formato Eurorack.

Historicamente, não há uma conexão explícita e direta entre os projetos de sintetizadores modulares e computadores analógicos. Apesar de empregarem estratégias e componentes semelhantes, como multiplicadores, integradores, divisores, contadores, amplificadores operacionais e geradores de função, os sintetizadores não foram projetados tendo os computadores analógicos como inspiração direta. O módulo ARP 1047, porém, exemplifica essa interseção, sendo um filtro/ressonador de áudio baseado em princípios da computação analógica. Como afirmou Dennis P. Collins, criador do ARP 1047 [5]:

"O filtro é basicamente um circuito de computação analógico composto por somadores e integradores, configurado para resolver uma equação diferencial de segunda ordem."

A Figura 1 mostra o módulo original do ARP 1047 e o esquema do circuito eletrônico utilizado.

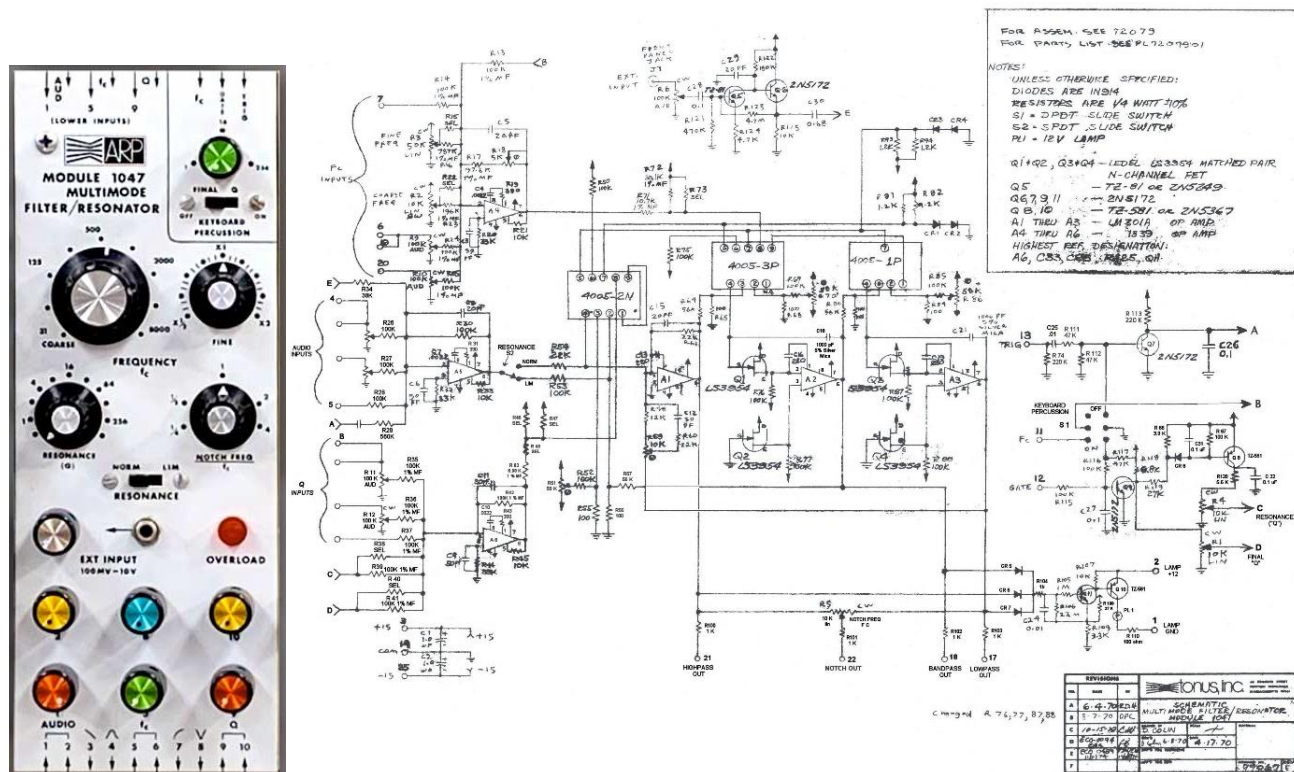


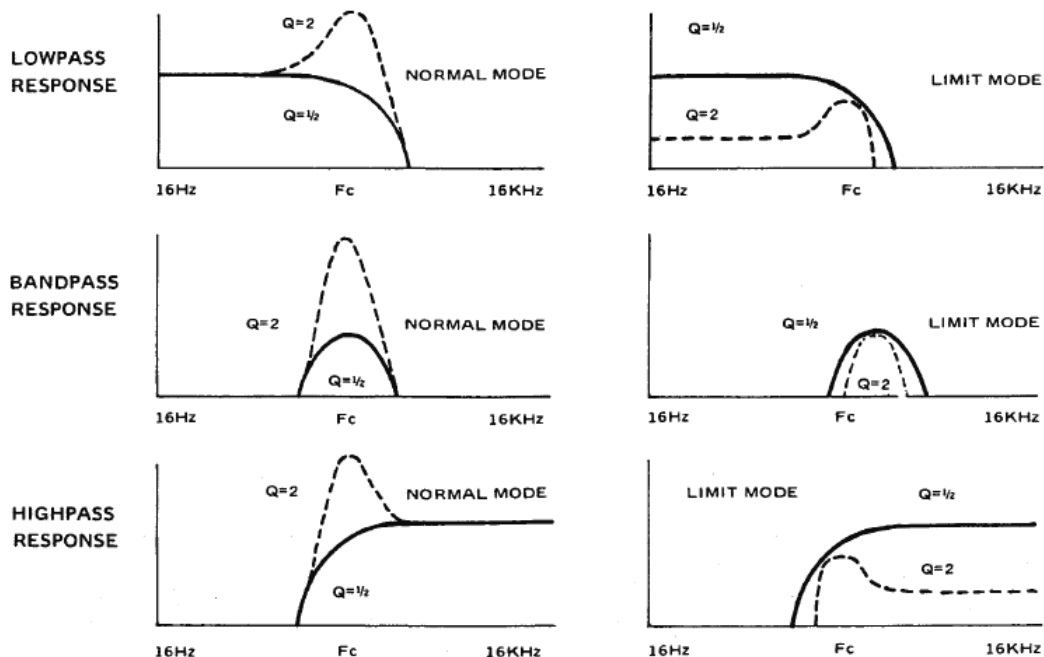
Figura 1 – À esquerda, o módulo original. À direita, o esquema original do circuito.

2. Materiais e Métodos

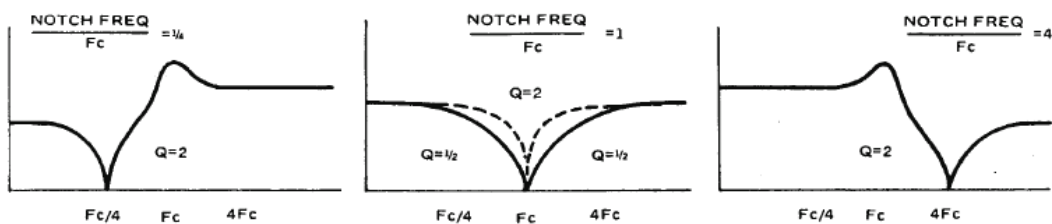
Este trabalho basear-se-á no artigo de Collins, no manual do proprietário do ARP 2500 (sistema modular ao qual o ARP 1047 pertence) [6] e no esquema original do circuito (fig. 1). A metodologia envolverá engenharia reversa, pois alguns componentes utilizados na época não estão mais disponíveis e precisarão ser substituídos por equivalentes modernos.

A compreensão e análise do circuito original será realizada por meio de sua simulação no *software* KiCad. A partir dessa análise, serão feitas as adaptações necessárias antes de iniciar as etapas de aquisição de materiais e construção do filtro/ressonador.

A Figura 2 mostra as curvas de resposta em frequência dos filtros passa-baixa, passa-banda, passa-alta, do filtro rejeita-faixa (*notch filter*), além da resposta temporal do ressonador do ARP 1047.



NOTCH RESPONSES



PERCUSSIVE OUTPUT WAVEFORMS

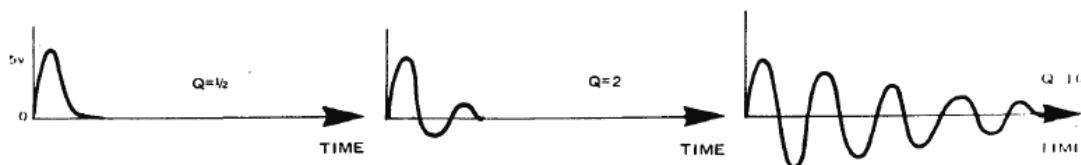


Figura 2 – Curvas características dos filtros e ressonador do ARP 1047 (Fonte: Manual do proprietário, pág. 43).

3. Resultados a serem atingidos

Ao término deste trabalho, espera-se obter uma versão funcional e modernizada do filtro/ressonador multimodo ARP 1047. A análise do seu desempenho deve demonstrar curvas características compatíveis com as especificações do circuito original. O módulo será testado em um contexto musical, integrado a outros módulos com funções distintas, permitindo uma avaliação qualitativa de seu comportamento sonoro e de sua aplicação em performances e produções musicais.

Além disso, a substituição de componentes obsoletos por equivalentes modernos possibilitará um estudo comparativo entre a resposta do circuito original e sua versão atualizada, contribuindo para o entendimento da viabilidade da computação analógica aplicada ao processamento de áudio.

4. Cronograma proposto

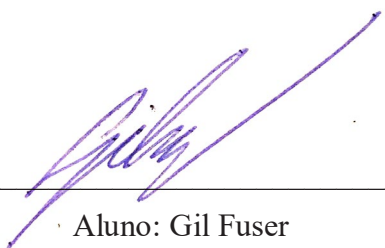
ATIVIDADES	2025									
	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Pesquisa bibliográfica	x	x								
Análise e simulação		x	x	x						
Aquisição e testes dos componentes				x	x					
Construção do módulo					x	x	x			
Testes do módulo								x	x	
Escrita da monografia e defesa							x	x	x	x

5. Referências bibliográficas

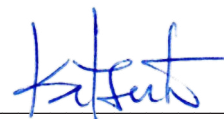
1. ULMANN, Bernd. *Analog and Hybrid Computer Programming*. Walter de Gruyter GmbH, 2020.
2. 1974.REVERB. *A Brief History of the ARP 2500*. Disponível em: <https://reverb.com/en-br/news/a-brief-history-of-the-arp-2500>. Acesso em: 23/02/2025.
3. POLYN TECHNOLOGY. **Analog Computing for Artificial Intelligence: How to Perform MAC Operations Using Ohm's Law**. *All About Circuits*, [s.d.]. Disponível em: <https://www.allaboutcircuits.com/industry-white-papers/analog-computing-for-artificial-intelligence-how-to-perform-mac-operations-using-ohms-law/pdfdownload>. Acesso em: 24/02/2025.

4. SIMEN, Anton; FLORES-GARRIGOS, Carlos; HEGADE, Narendra N.; MONTALBAN, Iraitz; VIVES-GILABERT, Yolanda; MICHON, Eric; ZHANG, Qi; SOLANO, Enrique; MARTÍN-GUERRERO, José D. **Digital-analog quantum convolutional neural networks for image classification**. *Physical Review Research*, v. 6, L042060, 2024. Disponível em: <https://journals.aps.org/prresearch/abstract/10.1103/PhysRevResearch.6.L042060>. Acesso em: 24/02/25.
5. COLLIN, Dennis P. *Electrical Design and Musical Applications of an Unconditionally Stable Combination Voltage Controlled Filter/Resonator*. 1971.
6. ARP Instruments. *Owner's Manual: The ARP Electronic Music Synthesizer Series 2500*.

São Paulo, 24 de fevereiro de 2025.



Aluno: Gil Fuser



Orientador: Roberto Katsuhiro Yamamoto