

ESTUDO, CARACTERIZAÇÃO E PROJETO DE AMPLIFICADORES VALVULADOS DE SOM

J. V. Colombari C.¹ e J. Navarro S. Jr.²

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS/ Universidade de São Paulo

jvccarlet@usp.br¹, navarro@sc.usp.br²

1 Objetivos

O desempenho de equipamentos de áudio valvulados é admirado e preferido por artistas e apreciadores de música, o que faz do áudio valvulado uma microcultura própria. Com base nisso, foi proposto o design de um amplificador de potência a válvula para áudio baseado nas peculiaridades do funcionamento destas e otimizado com algoritmos Meta-Heurísticos como os de (TORRES, 2014).

2 Métodos e Procedimentos

A pesquisa analisou arquiteturas e circuitos clássicos que revelaram algumas peculiaridades da resposta de dispositivos a válvula. O principal fator que distingue aqueles de seus sucessores modernos é a maneira na qual a válvula distorce o sinal, que pode ser menos intensa com harmônicos de menor ordem quando comparada a transistores discretos (BARBOUR, 1998).

Como demonstrado por (GEDDES; LEE, 2003) e (TEMME; BRUNET; QARABAQI, 2013), o THD (*Total Harmonic Distortion*) não apresenta correlação com a percepção auditiva de distorção no áudio, sugerindo que outros parâmetros devem ser levados em conta durante o projeto.

Sob a luz da teoria musical, componentes harmônicos de baixa ordem produzem relações não conflitantes com a fundamental, enquanto que os de alta provocam dissonâncias.

Do ponto de vista psicoacústico, componentes de baixa ordem influenciam menos na percepção de distorção que os de alta ordem devido ao mecanismo por meio do qual o nervo auditivo é excitado. Tons próximos excitam uma mesma porção da cóclea, fazendo com que o tom mais intenso mascare o menos intenso, num efeito denominado *Auditory Masking*. Na presença de diversos tons, as intermodulações produzidas no dispositivo de áudio podem mascarar o áudio reproduzido e prejudicar o "nuance" percebido na música (PASS, (2008)).

Além da característica harmônica, os critérios clássicos como *Slew-Rate* e resposta em frequência (mais próxima da constante de 20Hz a 15kHz) ajudam a garantir bons resultados no projeto em áudio. Aliado a métodos clássicos de polarização e projeto, a utilização de transistores polarizadores em circuitos valvulados (JONES, 2011) e algoritmos de otimização Meta-Heurísticos (TORRES, 2014) são excelentes ferramentas de projeto.

Com isso em mente, o amplificador de potência a válvula foi proposto. O primeiro estágio foi projetado utilizando a arquitetura β -*follower* (JONES, 2011), entregando o sinal a um estágio inversor diferencial com poço de corrente transistorizado. O estágio de saída proposto foi um *Push-Pull* com polarização fixa.

Buscou-se ganho superior a 20dB, resposta em frequência constante de 20Hz a 15kHz, baixa distorção harmônica, alto *Slew-Rate*, e potência de saída superior a 20W. Foi então proposta uma função objetivo para a otimização heurística. A função objetivo é a que auxilia o algoritmo Meta-Heurístico a convergir para melhores soluções para o design. Os critérios acima foram implementados, bem como um critério que avalia a composição harmônica da saída do amplificador, que foi apelidado de PTHD (de *Perceived Harmonic Distortion* e está definido na equação 1, em que ph_n é dado pela equação 2, sendo h_n o n -ésimo harmônico. A otimização foi executada utilizando o algoritmo *Particle Swarm Optimization* e a interface CirOp.

$$PTHD = \frac{\sqrt{ph_2^2 + \dots + ph_n^2}}{h_1} \times 100 \quad (1)$$

$$ph_n = h_n \frac{n^2}{4} \quad (2)$$

3 Resultados

Aliando as técnicas de projeto convencionais com a utilização de transistores polarizadores, o amplificador proposto apresentou bons resultados

de simulação. No entanto, com a função objetivo, uma melhor solução foi alcançada, melhorando a maioria dos indicadores de desempenho como descrito na tabela 1, em que "Resposta em 20Hz", "Resposta em 15kHz" e "Variação Resposta" se referem à distância entre o máximo valor de resposta em frequência com o valor colhido em $f = 20\text{Hz}$ e em $f = 15\text{kHz}$, e distância entre o máximo e mínimo valores de resposta em frequência de 20Hz a 20kHz, respectivamente.

Tabela 1: Critérios antes e após otimização

Critério	Inicial	Final
Ganho (dB)	25	26
SlewRate (V/ μs)	1.8	15.0
Resposta 20Hz (dB)	1.00	0.91
Resposta 15kHz (dB)	0.43	1.20
Potência (W)	23	23
THD (%)	1.090	0.417
Variação Resposta (dB)	1.00	1.20
PTHD (%)	3.420	0.947

Fonte: Autor

O circuito otimizado pode ser visto na figura 1.

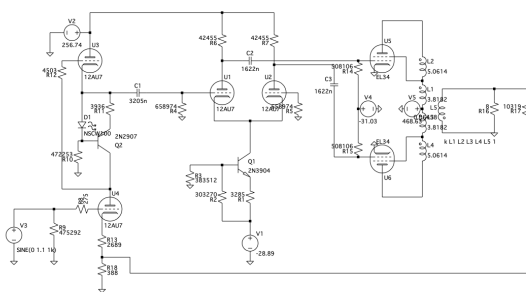


Figura 1: Resultados Finais

Fonte: Autor

4 Conclusões

A Distorção Harmônica representa um papel mais profundo no áudio que em demais áreas de design de dispositivos eletrônicos. A percepção humana é peculiar e suas características devem ser levadas em consideração em um projeto de áudio.

A válvula termoiônica ainda possui uma representativa parcela no mercado do áudio, contando com consumidores fiéis e terminologia própria. Muito disso se deve às características de distorção destes dispositivos, bem como à sua presença em períodos históricos como o desenvolvimento da indústria cinematográfica e da música popular.

Os algoritmos de otimização Meta-Heurística mostraram-se poderosas ferramentas para o design de dispositivos eletrônicos tão diversos quanto os aqui abordados. Os resultados obtidos foram promissores, o que se deve ao sucesso da função objetivo em refletir características de operação tidas como interessantes à aplicação em áudio. Essas características podem ser ainda mais detalhadas *a posteriori*, tendendo o resultado cada vez mais à boa percepção auditiva.

Referências

BARBOUR, E. The cool sound of tubes [vacuum tube musical applications]. **IEEE Spectrum**, IEEE, v. 35, n. 8, p. 24–35, 1998.

GEDDES, E. R.; LEE, L. W. Auditory perception of nonlinear distortion-theory. In: AUDIO ENGINEERING SOCIETY. **Audio Engineering Society Convention 115**. [S.l.], 2003.

JONES, M. **Valve amplifiers**. [S.l.]: Elsevier, 2011.

PASS, N. **Audio distortion and feedback**. (2008). Available at <https://www.passlabs.com/technical_article/audio-distortion-and-feedback/>.

TEMME, S.; BRUNET, P.; QARABAQI, P. Measurement of harmonic distortion audibility using a simplified psychoacoustic model-updated. In: AUDIO ENGINEERING SOCIETY. **Audio Engineering Society Conference: 51st International Conference: Loudspeakers and Headphones**. [S.l.], 2013.

TORRES, O. H. B. Otimização de amplificadores operacionais cmos por metaheurísticas. **Science**, v. 220, p. 671–680, 2014.