

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MATHEUS OLIVEIRA DA SILVA

**Modelagem de Sistemas Não Lineares de Áudio
Através de Espaço de Estados e Filtros Digitais
Wave**

Porto Alegre

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MATHEUS OLIVEIRA DA SILVA

**Modelagem de Sistemas Não Lineares de Áudio Através
de Espaço de Estados e Filtros Digitais Wave**

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para Graduação em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Adalberto Schuck Jr.

Porto Alegre

2017

MATHEUS OLIVEIRA DA SILVA

Modelagem de Sistemas Não Lineares de Áudio Através de Espaço de Estados e Filtros Digitais Wave

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para Graduação em Engenharia Elétrica

Prof. Dr. Adalberto Schuck Jr.
Orientador - UFRGS

Atualizar
Chefe
do De-
parta-
mento

Prof. Dr. Ály Ferreira Flores Filho
Chefe do Departamento de Engenharia
Elétrica (DELET) - UFRGS

Atualizar
data
da
apre-
senta-
ção

Aprovado em 15 de Janeiro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Banca 1
UFRGS

Banca 2
UFRGS

Banca 3
UFRGS

tbd

Agradecimientos

tbd

*We live in a society
exquisitely dependent on science and technology,
in which hardly anyone
knows anything about science and technology.*

Carl Sagan, The Demon-Haunted World

Resumo

Distorções em sistemas de áudio causadas por não linearidades são responsáveis pela sonoridade característica de alguns estilos musicais, por isso é importante seu estudo e compreensão. Estes "defeitos" são originalmente causados por sistemas valvulados analógicos, porém estes são de difícil mobilidade e grandes consumidores de energia. Com o poder computacional disponível atualmente é possível a reprodução destes sistemas analógicos digitalmente de forma ininteligível para o ouvido humano. Assim é atraente a ideia de simular estes com o objetivo de obter sistemas mais portáteis e econômicos.

Palavras-chave: Sistemas não lineares. Filtros Digitais Wave. Espaço de Estados.

Abstract

Keywords:

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Abreviaturas e Siglas

LIT	<i>Linear Invariante no Tempo</i>
SNL	<i>Sistema Não Linear</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3	METODOLOGIA EXPERIMENTAL	14
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
5	CONCLUSÕES	16
6	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	17
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
	APÊNDICES	19
	ANEXOS	20

1 Introdução

Sistemas lineares invariantes no tempo (LIT) já foram amplamente estudados por autores conhecidos como Haykin e Veen (2003) e Oppenheim, Willsky e Nawab (1997), tanto são que esses autores já fazem parte da bibliografia básica de disciplinas de graduação. O grande atrativo para o estudo de sistemas LIT é a simplicidade com que se pode obter a saída esperada para uma entrada tendo a resposta impulsiva do sistema, já que as únicas alterações causadas por sistemas LTI são na fase e amplitude do sinal de entrada.

Sistemas não lineares (SNL) por outro lado, apresentam saídas mais complexas pois adicionam à saída do sinal componentes com frequências múltiplas às do sinal de entrada, que são conhecidas como harmônicas. De acordo com Zölzer e Amatriain (2002) efeitos não lineares são usados por músicos em diversos dispositivos como microfones amplificadores e sintetizadores.

O princípio do uso de SNLs para áudio foi com a construção de amplificadores baseados em válvulas termiônicas a partir da década de 1950 como indicado por Ferreira (2016). O problema destes componentes é seu peso e consumo de energia, assim foi natural sua substituição por componentes semicondutores mais leves, baratos e confiáveis, porém até hoje as distorções geradas por válvulas são vistas como superiores às geradas por semicondutores por audiófilos, um estudo sobre estas diferenças foi feito por Hamm (1973). Para tentar emular o som gerado por estas válvulas termiônicas em sistemas semicondutores passou a ser comum a construção de pedais de efeitos que são ligados em série com o sistemas de áudio, tendo esses a vantagem de serem mais baratos e de mais fácil transporte. O próximo passo nessa evolução é o uso de sistemas digitais para a modelagem dessas não linearidades com o objetivo de facilitar ainda mais o uso dessa tecnologia, essa enfim será a proposta deste trabalho.

Para o modelamento de SNLs são comuns 3 diferentes abordagens: modelamento de caixa branca, onde se tem total conhecimento do circuito sendo modelado; caixa cinza, onde se usa algum conhecimento do circuito para a modelagem; e caixa preta, onde não é utilizado nenhuma característica do circuito para a modelagem. Eichas, Möller e Zölzer (2015) propõem um modelo de caixa preta onde um ruído branco é injetado no SNL a ser modelado e a saída deste é comparada com a de um sistema paramétrico que é adaptado de maneira a minimizar o erro quadrático entre ambas.

2 Fundamentação Teórica

3 Metodologia Experimental

4 Resultados e Discussões

5 Conclusões

6 Propostas de Trabalhos Futuros

Referências Bibliográficas

EICHAS, F.; MÖLLER, S.; ZÖLZER, U. Block-oriented modeling of distortion audio effects using iterative minimization. *Proc. Digital Audio Effects (DAFx-15)*, Trondheim, Norway, 2015. Citado na página 12.

FERREIRA, F. K. *Modelagem de sistemas de áudio não lineares a partir do método da varredura senoidal*. 2016. Citado na página 12.

HAMM, R. O. Tubes versus transistors-is there an audible difference. *Journal of the audio engineering society*, Audio Engineering Society, v. 21, n. 4, p. 267–273, 1973. Citado na página 12.

HAYKIN, S. S.; VEEN, B. V. *Signals and systems*. 2nd ed. ed. New York: Wiley, 2003. ISBN 0471164747 (cloth : alk. paper). Disponível em: <<http://www.loc.gov/catdir/description/wiley0310/2002027040.html>>. Citado na página 12.

OPPENHEIM, A.; WILLSKY, A.; NAWAB, S. *Signals and Systems*. Prentice Hall, 1997. (Prentice-Hall signal processing series). ISBN 9780138147570. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=LwQqAQAAMAAJ>>. Citado na página 12.

ZÖLZER, U.; AMATRIAIN, X. *DAFX: digital audio effects*. Chichester: Wiley, 2002. ISBN 0471490784. Disponível em: <<http://www.loc.gov/catdir/description/wiley036/2002280336.html>>. Citado na página 12.

Apêndices

Anexos