For Loudspeaker Protection

16. juni 2016

Kasper Kiis Jensen Poul Hoang Mikkel Krogh Simonsen 16gr640@es.aau.dk

Department of Electronic Systems Aalborg University Denmark





Gruppe c

Problemstilling

Problemformu

System

Resultater

Opbygni

Desimation

RMS Limit

Interpolation

Relevante optimerin muligheder

Perspektiverin

Diskussion og afsluttende ord

Demonstration

Dept. of Electronic Systems Aalborg University

41

# Problem

Problemstilling

Problemformulering

# Løsning

System

Resultater

# Opbygning

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

Interpolation

Relevante optimerings muligheder

Perspektivering

Diskussion og afsluttende ord

Demonstration



### Problem

Diskussion oa afsluttende ord

Demonstration

# Høitaleren

- ► Størrelse
- ▶ Lydstyrke
- ▶ Lydkvalitet

# Musik

- ▶ Genre
- ► Frekvensrespons

Brugsforvirring





Gruppe 640

Probler

Problemstilling

Problemformule

Løsning

System

Resultate

Opbygning

Multi-Bata/el

Pi i ii

Decimation

HIVIS LIMIT

Relevante ontimerina

muliahada

Perspektivering

Diskussion og

afsluttende ord

emonstration)

Hvad er problemstillingen?

Hvordan analyseres problemet?

Hvad er løsningen?



Gruppe 640

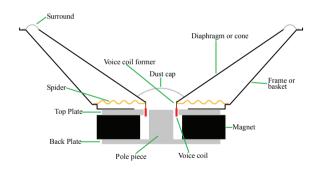
Problemstilling

Diskussion oa afsluttende ord

Demonstration

Højtalerens fysiske bearænsnina

Spolen (coil) rammer bagplade (backplate)





Gruppe 640

Problemstilling

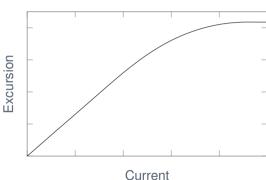
Diskussion oa afsluttende ord

Demonstration

Er der tegn på at de fysiske begrænsninger?

Forvrængning opstår inden spolen rammer bagpladen

Forvrængning i musik





Gruppe 640

### Problem

Problemstilling

Door below of a const

. .

Løsning

System

### Opbygnii

Multi-Hate/stage

----

HIVIO LIII

Interpolation

muligheder

Perspektivering

Diskussion og afsluttende ord

Dept. of Electronic Systems
Aalborg University

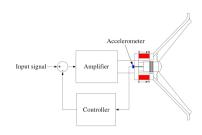
Designmetode

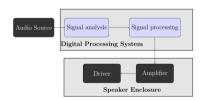
# Feedback

- Forsøg for udledning af mønstrer
- Svær løsning pga. sensorer
- Generel løsning
- ► Tidskrævende løsning

# Feedforward

- ▶ Modeller
- ▶ Ikke generel løsning







Problemformulering

afsluttende ord

How can a real-time signal processing system in an active loudspeaker prevent the coil from hitting the backplate of the woofer and reduce distortion compared to peak limitation?

Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark



Gruppe 640

### Proble

Problemstilling

Problemformular

### Løsning

System

### \_ . .

### Multi-Rate/stag

Decimation

### DMOTIO

### Delevente entime

Relevante optimering muligheder

### Perspektiverin

Diskussion og afsluttende ord

.

Multibånds RMS limiter (0 - 530 Hz)

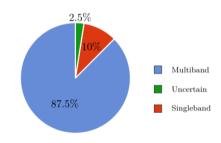
- ► Fire limiter bånd
- ► Et overordnet bånd

Baseret på lytteforsøg

Forskellige kombination

- ▶ Vægtning
- Lydforskel

Ikke muligt at finde systemer at teste de forskellige konstellationer





Gruppe 640

### Proble

Problemstilling

Problemformule

### Løsnin

System

1 to a citation

### Opbygning

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limit

Interpolation

Relevante optimering muligheder

Perspektiverin

Diskussion oa

afsluttende ord

Demonstration

# System

► Fem RMS limiters

# GUI

- ► Volumekontroller
- ► Otte bånd equalizer
- ► Otte bånd spectrum analyzer

# Platform

- ► Development Board TMDX5515EZDSP
- ▶ Dali Zensor 5



System

afsluttende ord

Demonstration

Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark

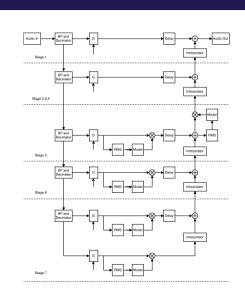
41

Multirate system

- ▶ Decimation
- ► Interpolation

Samplingsfrekvenser

- ▶ 48.000 Hz
- ▶ 24.000 Hz
- ▶ 12.000 Hz
- ▶ 6.000 Hz
- ▶ 3.000 Hz
- ▶ 1.500 Hz
- ▶ 750 Hz
- ▶ 375 Hz





Gruppe 640

### Problem

Problemstilling

Problemformulari

### Løsning

System

Resultater

# Opbygning

### Multi-Rate/sta

Decimation

RMS Limite

THING LITTLE

Relevante optimerin

Perspektivering

reispektivering

Diskussion og afsluttende ord

Demonstration





Gruppe 640

Resultater

# Opbygning

Perspektivering

Diskussion oa

afsluttende ord

Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark

Frekvensrepons

**RMS** limiter

Støjgulv



Gruppe 640

Probler

Problemstilling

Løsning

Resultater

### ---

Oppygriing

Multi-Rate/stag

Decimation

RMS Limiter

Interpolation

Relevante optimerini muligheder

Perspektivering

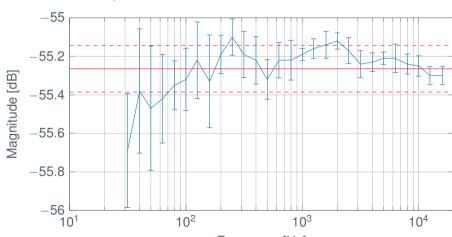
reispektivering

Diskussion og afsluttende ord

Demonstration

Dept. of Electronic Systems





It. of Electronic Systems
Alaborg Iniversity

Frequency [Hz]



Gruppe 640

Problem

Problemstilling

Problemiormule

Løsning

System Resultater

### .....

Opbygning

Multi-Rate/sta

Decimation

RMS Limite

Relevante optimerir

Dovernal Historia

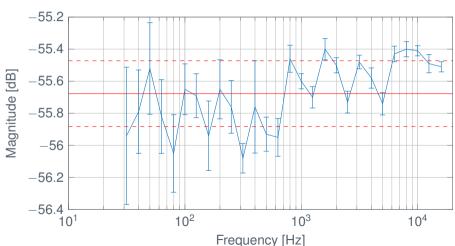
Perspektivering

Diskussion og afsluttende ord

Demonstration









Gruppe 640

### Proble

Problemstilling

roblemformuleri

### Løsning

System

### Resultater

### Ophyanin

Multi-Rate/sta

### Multi-Rate/st

Decimation

### RMS Limite

Relevante optimerii

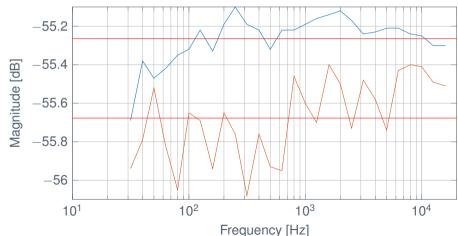
### Devenelative

Perspektiverin

Diskussion og afsluttende ord

Demonstration

Sammenligning af frekvensresponser





Gruppe 640

### Problem

Problemstilling

## Leonine

System

### Resultater

### 0.1

## Oppygring

Multi-Rate/stage

### RMS Limit

Relevante optimerir

### Descriptions

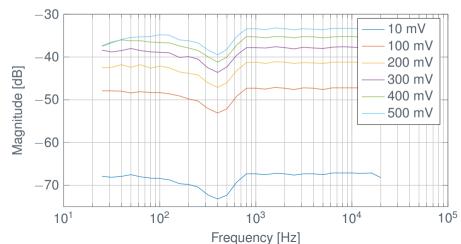
Perspektiverin

Diskussion og afsluttende ord

Demonstration









Gruppe 640

### Problem

Resultater

### Opbygning

# Perspektivering

Diskussion oa afsluttende ord

### Demonstration

Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark



Gruppe 640

Resultater

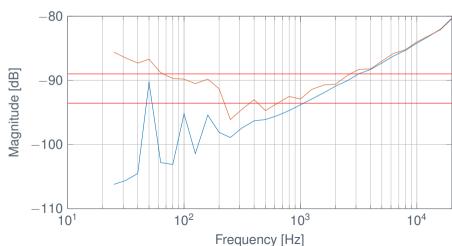
Diskussion oa

afsluttende ord



Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark







### Proble

Problemstilling

Problemformuler

### Løsnin

System

Resultat

### Opbyani

### Multi-Rate/stage

### Destaution

DMCLim

Relevante optimeri

### Persnektiverin

\_\_\_\_\_

afsluttende ord

emonstration

Dept. of Electronic Systems Aalborg University Downsampling med faktor 2

med faktor 2

► 7 gange

▶ 48 kHz

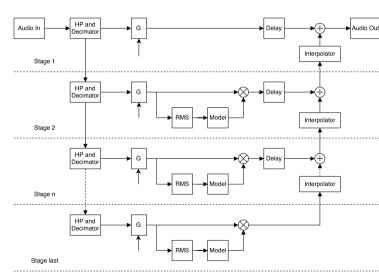
▶ 24 kHz

▶ 12 kHz

\_

• ..

▶ 375 Hz





# Decimation

afsluttende ord

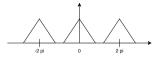
Demonstration

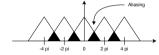
# Funktionalitet:

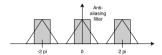
- ▶ Lavpas filter til Anti-Aliasing
- ► Spektral inversion til højpas filtrering

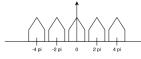
# Krav:

- ▶ Overholde IEC 6964 Class
- Lineær fase
- ► 60 dB dæmpning ved fs 21











# Decimation

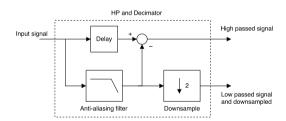
afsluttende ord

# Funktionalitet:

- ▶ Lavpas filter til Anti-Aliasing
- Spektral inversion til højpas filtrerina

# Krav:

- ► Overholde IEC 6964 Class
- Lineær fase
- ► 60 dB dæmpning ved fs 21





# Decimation

afsluttende ord

Demonstration

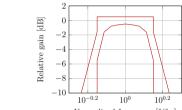
Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark

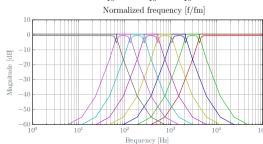
# Krav:

- √ Overholde IEC 6964 Class
- ▶ Lineær fase
- ► 60 dB dæmpning ved fs

# Første Downsampling:

- ► Første downsampling til
  - $f_s = 24kHz$
  - $f_c = 3kHz$
- Octave sampling efterfølgende





### Decimation

Diskussion on

afsluttende ord

Dept. of Electronic Systems

# Krav:

- Overholde IEC 6964 Class 2
- Lineær fase

√ 50. Orden FIR

Type 1 (Type 2?)

√ Symmetrisk √ Lige orden

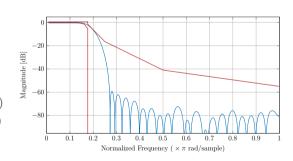
 $\sqrt{60}$  dB dæmpning ved  $\frac{fs}{2l}$ 

•  $\omega_{\text{pass}}$ = 0.125  $\frac{\pi rad}{sample}$  (3.000Hz)

•  $\omega_{\text{stop}} = 0.271 \frac{\pi rad}{\text{sample}} (6.500 \text{Hz})$ 

# **Metode brugt:**

- Kaiser Window method
  - Effektivt design
  - Justerbar beta-værdi





Gruppe 640

### Proble

Problemstilling

Problemformul

### Løsnin

Systen

Resultate

### Opbygni

Multi-Rate

### Decimation

RMS Limiter

### THING LITTE

Relevante optimerings

### Perspektiverin

Diskussion or

afsluttende ord

Dept. of Electronic Systems Aalborg University

# To Veje:

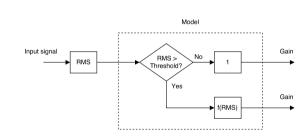
- ► THD modeller
- ► Målt grænseværdier

# **Funktionalitet:**

- ► Beregn RMS værdi i bånd
- ► Bestem gain passende gain værdier
- ▶ Påfører gain

# Krav:

- ► Løbende RMS<sup>2</sup>
- ▶ Dæmpning af input til ≥ grænseværdien
- ▶ >0 s attack time
- ▶ 5 s release time





RMS Limiter

afsluttende ord

Demonstration

# Krav:

Løbende RMS<sup>2</sup>

► Nødvendige samples:  $n = \frac{fs}{f_{lowest}}$ 

► Band 1-4:  $n = \frac{375Hz}{30Hz} = 12.5 \approx 16$ 

► Band 5:  $n = \frac{3000 Hz}{30 Hz} = 100 \approx 128$ 



Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark

RMS Limiter

Diskussion on afsluttende ord

Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark 41

# Grænseværdien bestemmes ved at:

Sammenhæng mellem output fra dsp og effekt afsat:

$$\frac{(\mathsf{Threshold} \cdot \mathsf{U})^2}{R} = P$$

Grænseværdien findes ved

Threshold = 
$$\frac{\sqrt{P \cdot R}}{II}$$

# Feilkilder

- Konstant impedans
- ▶ Forkert effekt
- Ukendt spændings forstærkning

### RMS Limiter

afsluttende ord

Demonstration

### Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark

41

# Look up tabellen laves:

Nødvendig dæmpning hvis input er over threshold bestemmes ved:

$$G = \frac{Threshold}{U}$$

Værdien tilpasses DSP algoritme:

$$G = \sqrt{\frac{Threshold^2}{U^2}}$$

Værdierne fordeles mellem 0.0V til 1.0V over n steps, hvor n = 1,2,3,...,1024

$$G = \sqrt{\frac{\text{Threshold}^2}{\left(\frac{n}{1024}\right)^2}}$$

# RMS Limiter

afsluttende ord

Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark

Look up tabellen laves:

$$G = \sqrt{\frac{\mathsf{Threshold}^2}{(\frac{n}{1024})^2}}$$

Værdien tilpasses DSP / codec. Output er en faktor 5 lavere

$$G = \sqrt{\frac{\frac{\text{Threshold}^{2}}{5}}{(\frac{\frac{1024}{5}}{2})^{2}}}$$

Værdierne konverteres til Q15 format ved .215

# Fejlkilder

- ▶ Forkerte grænseflader
- Forkert threshold
- skalerings problemer. 0x1FFF = Max udstyring = 2 bit mindre end 0x7FFF



Gruppe 640

### Proble

Problemstilling

Problemformule

### Løsning

System

Resultate

### Ophyanin

Multi-Rate/sta

### RMS Limiter

### THING LITTE

Relevante optimering

Porepolitivoring

Perspektivering

afsluttende ord

Demonstration

# Krav:

29

41

- ▶ ≥ 0 s attack time
  - ► Påfør gain med det samme
  - Sample size bestemmer attacktime
- ▶ 5 s release time

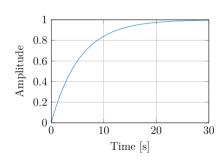
$$\rightarrow H(s) = \frac{\omega_c}{s+\omega_c}$$

$$\bullet$$
  $\omega_c = \frac{1}{2}$ 

$$H(s) = \frac{0.2}{s+0.2}$$

► Impuls Invariant metode

$$\rightarrow H(z) = T \frac{0.2}{1 - e^{-0.2T}z^{-1}}$$





### Interpolation

afsluttende ord

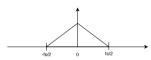
Demonstration

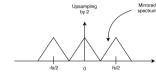
# Upsampling/Interpolation:

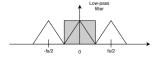
- ► Konvertering fra fs til  $\frac{fs}{2}$
- ► Zero-padding til upsampling
- Lavpasfiltrering

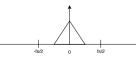
# Krav:

- Må ikke interfere med signal bandwidth
- ► 60 dB dæmpning ved fs 21











### Interpolation

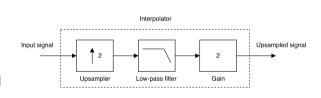
afsluttende ord

# Funktionalitet:

- Lavpas filter til rekonstruktion
- ▶ Zero-padding til upsampling
- ► Forstærkning med faktor *L*

## Krav:

- ▶ Må ikke interfere med signal bandwidth
- ► 60 dB dæmpning ved fs/21





### Interpolation

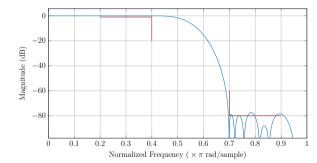
afsluttende ord

Demonstration

# Krav:

32

- Må ikke interfere med signal bandwidth
- 60 dB dæmpning ved fs 21
  - ▶ 34. Orden FIR
  - ► Type 1





Gruppe 640

### Proble

Problemstilling Problemformula

1 1001011110111101

### Løsnin

System

Resultater

### Onbyanir

### Opbygriii

Multi-Rate/stag

RMS Limit

Internelat

Relevante optimerings muligheder

Porepolitivorin

Perspektivering

Diskussion og afsluttende ord

emonstratio

► Reducering af anvendte instruktioner.

- ► Gennemsnitligt 900 instruktioner pr. sample.
  - 1. Generel optimering såsom cirkulære buffer og DUAL-MAC
  - 2. Polyphase FIR filtre
- ▶ Mindre delay gennem systemet
  - ► 111 ms delay gennem systemet
    - 1. Færre trin/bånd (stages) i systemet
    - 2. IIR filter i interpolation
- ► Bedre RMS limiter



Relevante ontimerings muligheder

Diskussion on

afsluttende ord

Generel reducering af anvendte instruktioner

- ► Dobbelt initialisering af buffere. (30 40 instruktioner)
- ► Reservering af cirkulære buffere
  - TMS320C5515 kan initialisere fem cirkulære buffere.
  - ► Fire kan reseveres til udvalgte filtre
  - ► Færre instruktioner på initialisering (10 20 instruktioner)
- Færre funktionskald
- Multirate algoritme til schedulering frigør program memory



Relevante optimerings

35

41

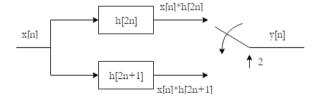
muligheder

Diskussion oa afsluttende ord

Zero-padding anvendes i interpolation

Halvdelen af udregningerne giver nul

Polyphase filter i interpolation halvere filter algoritmen





Gruppe 640

### Proble

Problemstilling

Problemformularing

### Laenina

System

Regultate

### 0-1----

### Oppygnir

Multi-Rate/sta

Decimation

RMS Limit

Internolati

Relevante optimerings muligheder

Perspektivering

Diskussion og afsluttende ord

Demonstration

Færre trin/bånd (stages) i systemet

IIR filter i interpolation

- ► Mindre delay
- ► Lille ulinearitet ved signalbåndbredde



Gruppe 640

### Proble

Problemstilling

Problemformule

### Løsning

Syster

Resultate

### Onbyanir

Multi-Rate/s

Decimatio

RMS Limit

Internolati

Relevante optimerings muligheder

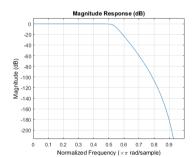
Perspektivering

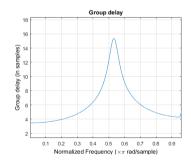
Diskussion og afsluttende ord

Demonstration

# Butterworth IIR filter

- ► N = 8
- ► Cutoff =  $0.5\pi$







Gruppe 640

Relevante optimerings

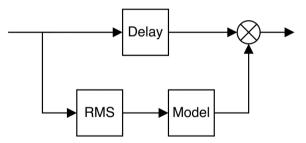
38

41

muligheder

Diskussion oa afsluttende ord

Delay i RMS limiter design for at beskytte mod transiente signaler





Gruppe 640

### Proble

Problemstilling

### Lacnina

0....

Regultate

### Opbyanir

Multi-Rate/stag

Decimation

Decimation

RMS Limit

Interpolation

Relevante optimering

### Perspektivering

ektivering

Diskussion og afsluttende ord

Demonstratio

Systemet er velegnet til mindre højttalere

► Mere effekt kan afsættes uden at ødelægge wooferen

Forstærkningen for en aktiv højtaler kan øges

Systemet sørger for at bassen holdes under en threshold

Dept. of Electronic Systems Aalborg University



# Diskussion og afsluttende ord

# Limiter

Gruppe 640

Diskussion oa afsluttende ord

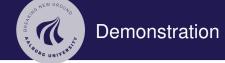
Projekt uden konkrete fortilfælde

Projektet har undersøgt både feedback og feedforward som løsning

Størstedelen af projektet har været konceptudvikling

Projektet omhandler en aktuel problemstilling

Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark



Lad os alle gå mod lab

# Multi-band RMS Limiter

Gruppe 640

### Problem

Perspektivering

Diskussion oa afsluttende ord

Demonstration

Dept. of Electronic Systems Aalborg University Denmark

