

# Multi-band RMS limiter

## 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



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

# Agenda

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

Problem

Problemstilling  
Problemformulering

Løsning

System  
Resultater  
Multi-Rate/stage  
Decimation  
RMS Limiter  
RMS Limiter  
Interpolation

Optimering

Relevante optimerings  
muligheder  
Implementerede  
optimeringer

Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

Problem

Problemstilling  
Problemformulering

Løsning

System  
Resultater  
Multi-Rate/stage  
Decimation  
RMS Limiter  
RMS Limiter  
Interpolation

Optimering

Relevante optimerings muligheder  
Implementerede optimeringer

Perspektivering & Konklusion

Demonstration

# Problemet

## Højtaleren

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

2

## Højtaleren

- ▶ Størrelse
- ▶ Lydstyrke
- ▶ Lydkvalitet

## Musik

- ▶ Genre
- ▶ Frekvensrespons

## Brugsforvirring



### Problem

Problemstilling  
Problemformulering

### Løsning

System  
Resultater  
Multi-Rate/stage  
Decimation  
RMS Limiter  
RMS Limiter  
Interpolation

### Optimering

Relevante optimerings  
muligheder  
Implementerede  
optimeringer

### Perspektivering & Konklusion

### Demonstration



# Problemet

3 spørgsmål

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

System

Resultater

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

Optimering

Relevante optimerings  
muligheder

Implementerede  
optimeringer

Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

3

35

Hvad er problemstillingen?

Hvordan analyseres problemet?

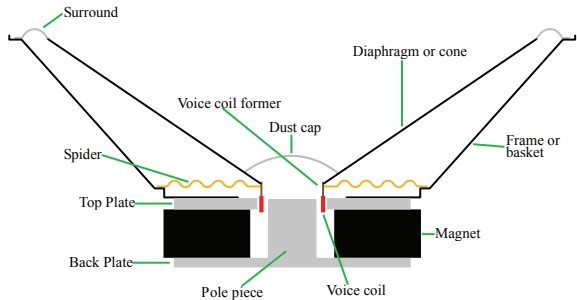
Hvad er løsningen?

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

4

### Højtalerens fysiske begrænsning

### Spolen (coil) rammer bagplade (backplate)



Problem  
Problemstilling  
Problemformulering

Løsning  
System  
Resultater  
Multi-Rate/stage  
Decimation  
RMS Limiter  
RMS Limiter  
Interpolation

Optimering  
Relevante optimerings  
muligheder  
Implementerede  
optimeringer

Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

# Problemet

## Problemstilling

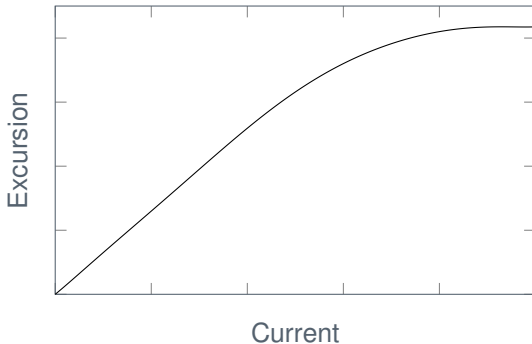
Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

5

Er der tegn på at de  
fysiske begrænsninger?

Forvrængning opstår  
inden spolen rammer  
bagpladen

Forvrængning i musik



Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

System

Resultater

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

Optimering

Relevante optimerings  
muligheder

Implementerede  
optimeringer

Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

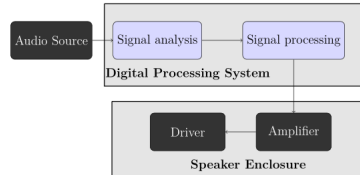
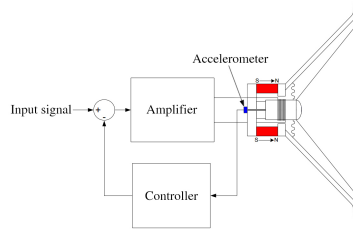
## Designmetode

### Feedback

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

### Feedforward

- Modeller
- Ikke generel løsning





# Problemet

## Problemformulering

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

### Problem

Problemstilling  
Problemformulering

7

### Løsning

System  
Resultater  
Multi-Rate/stage  
Decimation  
RMS Limiter  
RMS Limiter  
Interpolation

### Optimering

Relevante optimerings  
muligheder  
Implementerede  
optimeringer

### Perspektivering & Konklusion

### Demonstration

*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?*



Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

Problem  
Problemstilling  
Problemformulering

Løsning

System  
Resultater  
Multi-Rate/stage  
Decimation  
RMS Limiter  
RMS Limiter  
Interpolation

Optimering  
Relevante optimerings  
muligheder  
Implementerede  
optimeringer

Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

Dept. of Electronic Systems  
Aalborg University  
Denmark

8

## Multibånds RMS limiter (0 - 530 Hz)

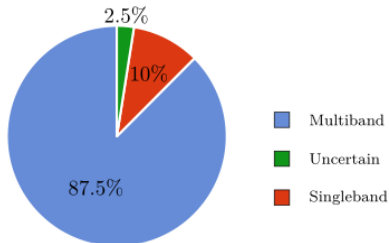
- Fire limiter bånd
- Et overordnet bånd

## Baseret på lytteforsøg

## Forskellige kombination

- Vægtning
- Lydforskel

Ikke muligt at finde systemer at teste  
de forskellige konstellationer



35

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

**System**

Resultater

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

Optimering

Relevante optimerings  
muligheder

Implementerede  
optimeringer

Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

## System

- ▶ Fem RMS limiters

## GUI

- ▶ Volumekontroller
- ▶ Otte bånd equalizer
- ▶ Otte bånd spectrum analyzer

## Platform

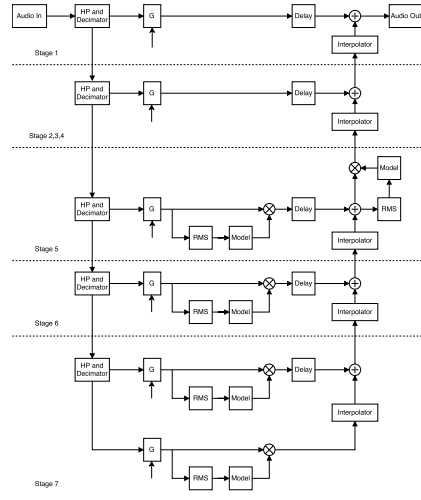
- ▶ Development Board TMDX5515EZDSP
- ▶ Dali Zensor 5

## 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



## Multi-band RMS Limiter Gruppe 640

### Problem

Problemstilling  
Problemformulering

### Løsning

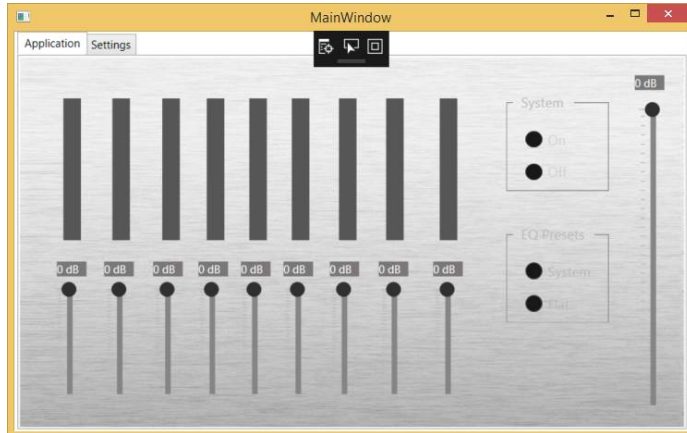
**System**  
Resultater  
Multi-Rate/stage  
Decimation  
RMS Limiter  
RMS Limiter  
Interpolation

### Optimering

Relevante optimerings  
muligheder  
Implementerede  
optimeringer

### Perspektivering & Konklusion

### Demonstration





# Resultater

## Gennemgang

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

### Problem

Problemstilling  
Problemformulering

### Løsning

System  
**Resultater**  
Multi-Rate/stage  
Decimation  
RMS Limiter  
RMS Limiter  
Interpolation

### Optimering

Relevante optimerings  
muligheder  
Implementerede  
optimeringer

### Perspektivering & Konklusion

### Demonstration

Dept. of Electronic Systems  
Aalborg University  
Denmark

12

Frekvensrepons

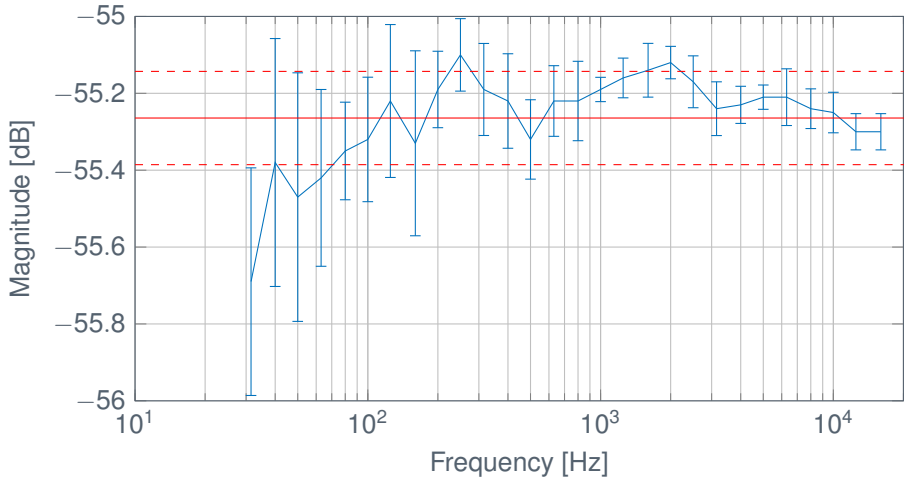
RMS limiter

Støjgulv

35

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

## Bypassed frekvensrespons



13

35

Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

System

**Resultater**

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

Optimering

Relevante optimerings

muligheder

Implementerede

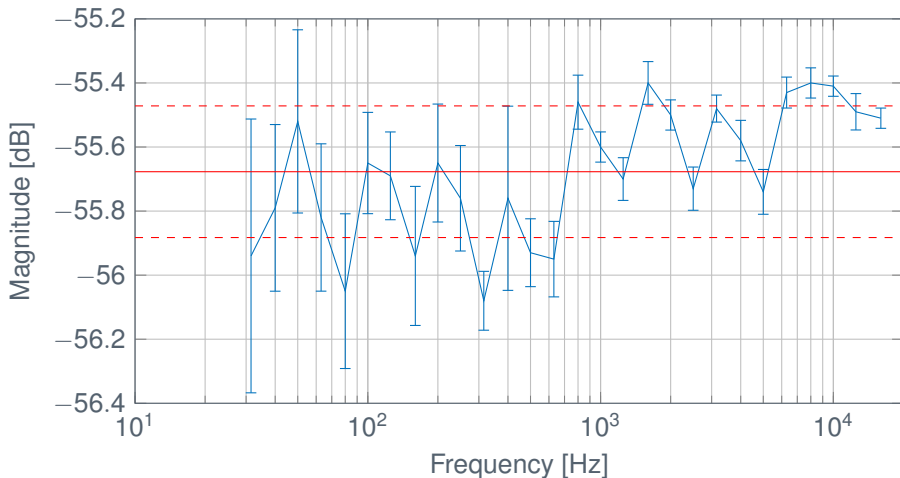
optimeringer

Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

## System Frekvensrespons



14

Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

System

**Resultater**

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

Optimering

Relevante optimerings

muligheder

Implementerede

optimeringer

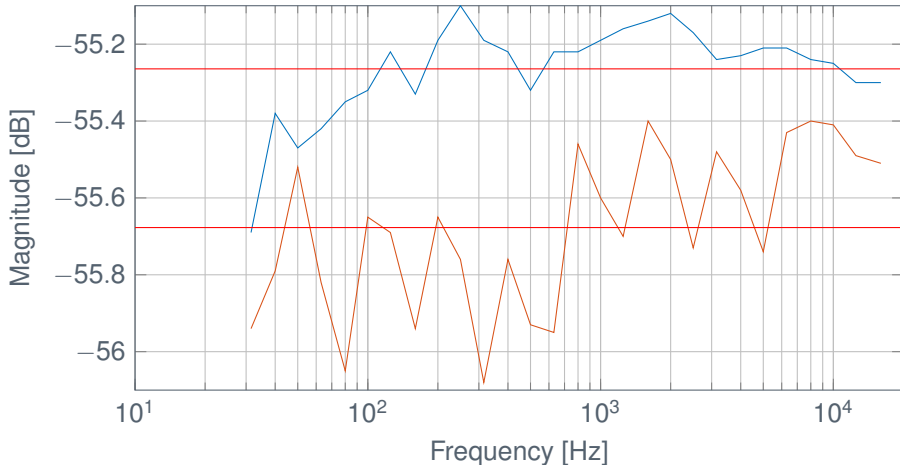
Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

35

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

## Sammenligning af frekvensrespons



15

Problem  
Problemstilling  
Problemformulering

Løsning

System  
**Resultater**  
Multi-Rate/stage  
Decimation  
RMS Limiter  
RMS Limiter  
Interpolation

Optimering

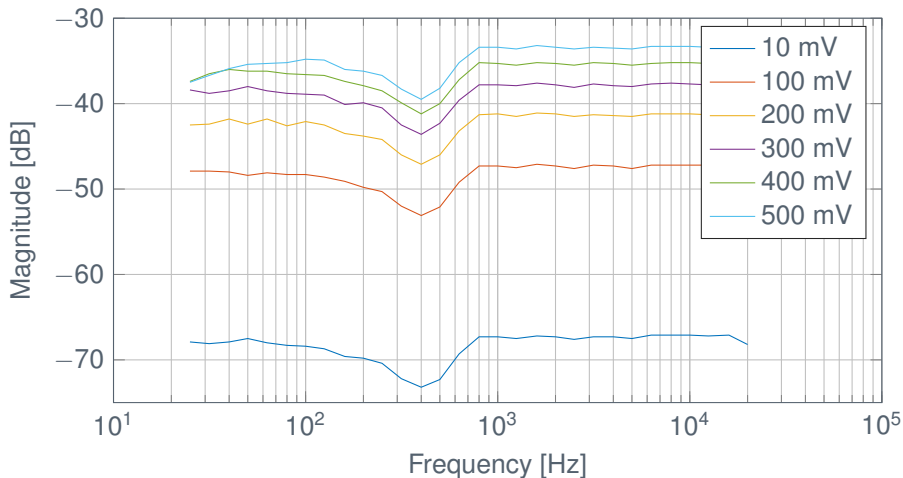
Relevante optimerings  
muligheder  
Implementerede  
optimeringer

Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration



## Frekvensrepons med limiter slået til ved forskellige amplituder





# Resultater

## Limiter

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

### Problem

Problemstilling  
Problemformulering

### Løsning

System

**Resultater**

Multi-Rate/stage  
Decimation  
RMS Limiter  
RMS Limiter  
Interpolation

### Optimering

Relevante optimerings  
muligheder  
Implementerede  
optimeringer

### Perspektivering & Konklusion

### Demonstration

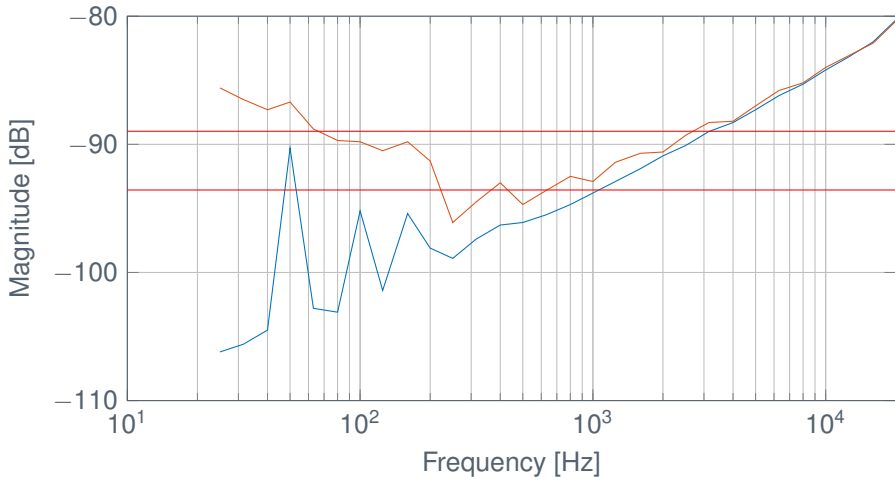
Dept. of Electronic Systems  
Aalborg University  
Denmark

17

35

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

## Støj med og uden system



18

35

Problem  
Problemstilling  
Problemformulering

Løsning

System  
**Resultater**  
Multi-Rate/stage  
Decimation  
RMS Limiter  
RMS Limiter  
Interpolation

Optimering

Relevante optimerings  
muligheder  
Implementerede  
optimeringer

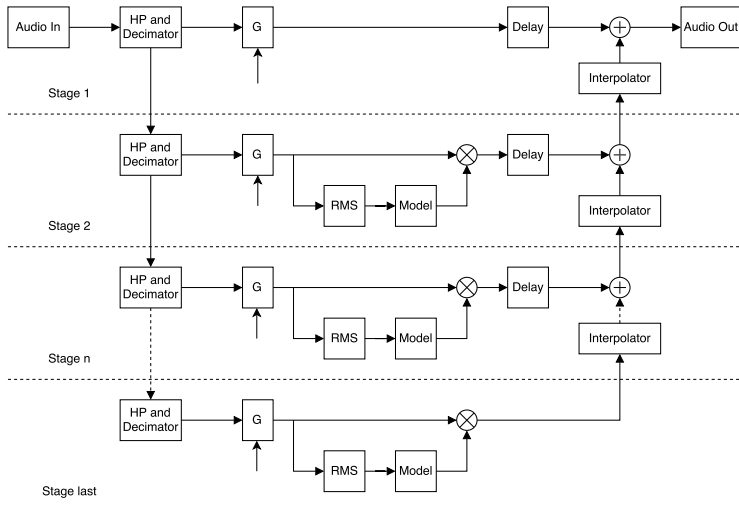
Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

### ► Downsampling med faktor 2

### ► 7 gange

- 48 kHz
- 24 kHz
- 12 kHz
- ...
- 375 Hz

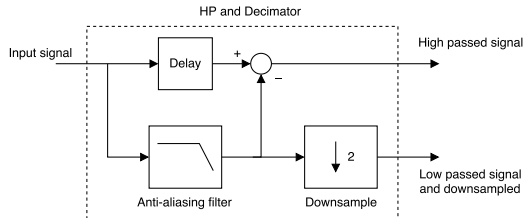


## Funktionalitet:

- Lavpas filter til Anti-Aliasing
- Spektral subtraktion til højpas filtrering

## Krav:

- Overholde IEC 6964 - Class 2
- Lineær fase
- 60 dB dæmpning ved  $\frac{f_s}{2L}$

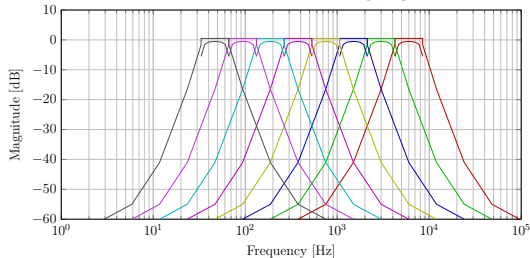
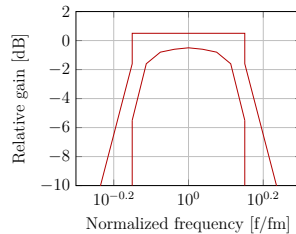


## Krav:

✓ Overholde IEC 6964 - Class 2

► Lineær fase

► 60 dB dæmpning ved  $\frac{fs}{2L}$



Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

System

Resultater

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

Optimering

Relevante optimerings  
muligheder

Implementerede  
optimeringer

Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

## Krav:

✓ Overholde IEC 6964 - Class 2

✓ Lineær fase

✓ 50. Orden FIR

✓ Type 1

✓ Symmetrisk

✓ Lige orden

✓ 60 dB dæmpning ved  $\frac{fs}{2L}$

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

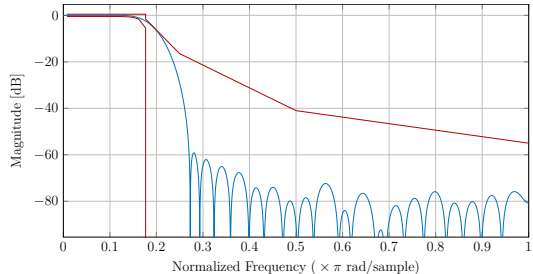
▶  $\omega_{\text{stop}} = 0.271 \frac{\pi \text{ rad}}{\text{sample}}$  (6.500Hz)

## Metode brugt:

▶ Kaiser Window method

▶ Effektivt design

▶ Justerbar beta-værdi

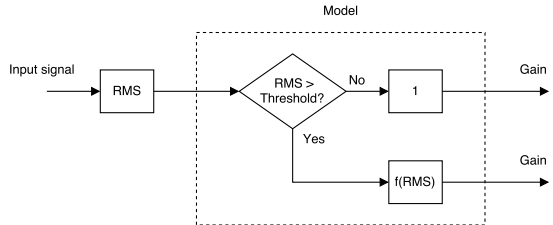


## Funktionalitet:

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

## Krav:

- Løbende Gennemsnit
- **Dæmpning til grænseværdi ved input på  $\geq$  grænseværdien**
- 0 s attack time
- 5 s release time



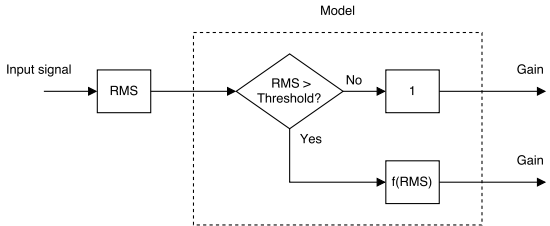


## Funktionalitet:

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

## Krav:

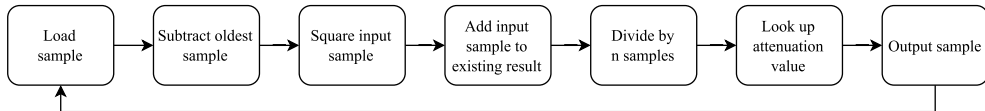
- Løbende Gennemsnit
- **Dæmpning til grænseværdi ved input på  $\geq$  grænseværdien**
- 0 s attack time
- 5 s release time



## Krav:

### ✓ Løbende Gennemsnit

- ▶ Nødvendige samples:  $n = \frac{fs}{f_{lowest}}$ 
  - ▶ Band 1-4:  $n = \frac{375Hz}{30Hz} = 12.5 \approx 16$
  - ▶ Band 5:  $n = \frac{3000Hz}{30Hz} = 100 \approx 128$



Grænseværdier bestemmes ved at:

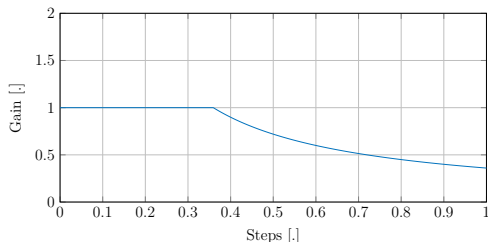
Finde Maksimalt gennem hele systemet = 40 dB

Grænseværdien findes ved  $\text{Threshold} = \frac{\sqrt{150W \cdot 5\Omega}}{100} = 0.3V$

Look up tabellen laves:

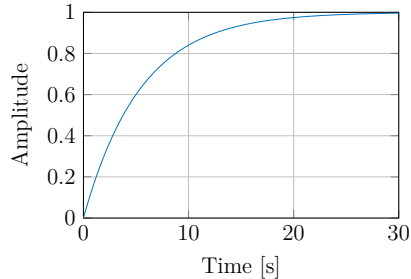
Opdele funktionen  $\sqrt{\frac{\text{Threshold}^2}{\text{RMS}^2}}$  i 1024 steps

Beregn en Lookup tabel ved brug af formlen  $\sqrt{\frac{\text{Threshold}^2}{(\frac{n}{1024})^2}}$



### Krav:

- ▶ 0 s attack time
  - ▶ Påfør gain med det samme
- ▶ 5 s release time
  - ▶  $H(s) = \frac{\omega_c}{s + \omega_c}$
  - ▶  $\tau = 5 \text{ s}$ 
    - ▶  $\omega_c = \frac{1}{\tau}$
  - ▶  $H(s) = \frac{0.2}{s + 0.2}$
- ▶ Impuls Invariant metode
  - ▶  $H(s) = T \frac{0.2}{1 - e^{-0.2T} z^{-1}}$



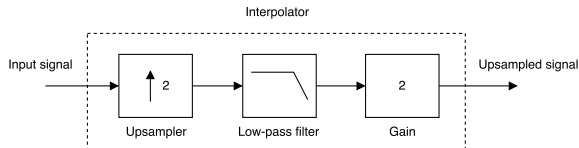
## Funktionalitet:

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

28

## Krav:

- ▶ Må ikke interfere med decimation filter bandwidth
- ▶ 60 dB dæmpning ved  $\frac{f_s}{2L}$



# Opbygning

Må ikke interfere med decimation filter bandwidth

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

System

Resultater

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

29

Optimering

Relevante optimerings  
muligheder

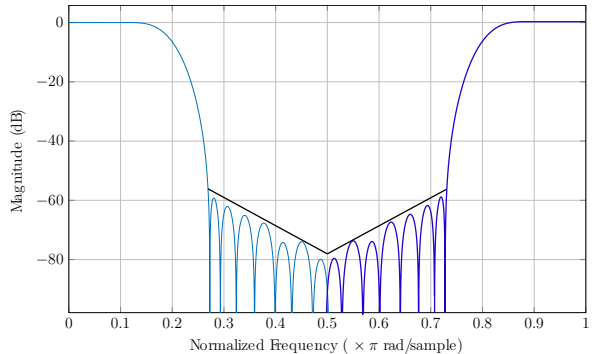
Implementerede  
optimeringer

Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

## Krav:

- ▶ Må ikke interfere med decimation filter bandwidth
  - ▶ over  $0.3 \frac{\pi \text{ rad}}{\text{sample}}$
  - ▶ under  $0.7 \frac{\pi \text{ rad}}{\text{sample}}$
- ▶ 60 dB dæmpning ved  $\frac{fs}{2L}$



# Opbygning

60 dB dæmpning ved  $\frac{fs}{2L}$

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

System

Resultater

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

30

Optimering

Relevante optimerings  
muligheder

Implementerede  
optimeringer

Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

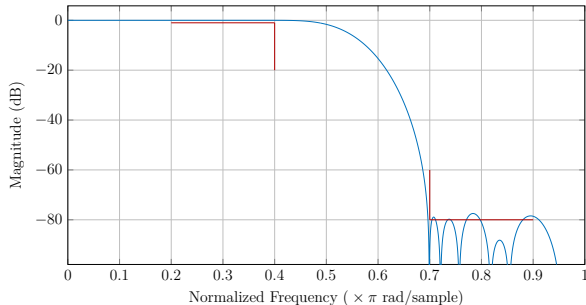
## Krav:

✓ Må ikke interferere med  
decimation filter bandwidth

✓ 60 dB dæmpning ved  $\frac{fs}{2L}$

► 34. Orden FIR

► Type 1





# Optimering

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

## Problem

Problemstilling  
Problemformulering

## Løsning

System  
Resultater  
Multi-Rate/stage  
Decimation  
RMS Limiter  
RMS Limiter  
Interpolation

## Optimering

Relevante optimerings  
muligheder  
Implementerede  
optimeringer

## Perspektivering & Konklusion

## Demonstration



# Optimering

## Relevante optimerings muligheder

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

System

Resultater

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

Optimering

Relevante optimerings  
muligheder

Implementerede  
optimeringer

Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

- ▶ 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



# Optimering

## Implementerede optimeringer

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

System

Resultater

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

Now it goes real crazy

Optimering

Relevante optimerings  
muligheder

Implementerede  
optimeringer

33

Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

35



# Perspektivering/Konklusion

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

## Problem

Problemstilling  
Problemformulering

## Løsning

System  
Resultater  
Multi-Rate/stage  
Decimation  
RMS Limiter  
RMS Limiter  
Interpolation

## Optimering

Relevante optimerings  
muligheder  
Implementerede  
optimeringer

## Perspektivering & Konklusion

Demonstration

► something

34

35



# Demonstration

Jamen hva' ska' æ kost, Tonni?

Multi-band RMS  
Limiter  
Gruppe 640

Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

System

Resultater

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

Optimering

Relevante optimerings  
muligheder

Implementerede  
optimeringer

Perspektivering &  
Konklusion

Demonstration

35

35

Now it goes real crazy



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK