

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

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

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

Problem

Problemstilling
Problemformulering

Løsning

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

Optimering

Relevante optimerings muligheder

Perspektivering

Diskussion og afsluttende ord

Demonstration

Problemet

Højtaleren

Multi-band RMS
Limiter
Gruppe 640

2

Problem

Problemstilling
Problemformulering

Løsning

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

Optimering

Relevante optimerings
muligheder

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

Højtaleren

- ▶ Størrelse
- ▶ Lydstyrke
- ▶ Lydkvalitet

Musik

- ▶ Genre
- ▶ Frekvensrespons

Brugsforvirring





Problemet

3 spørgsmål

Multi-band RMS
Limiter
Gruppe 640

3

Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

System

Resultater

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

Optimering

Relevante optimerings
muligheder

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

Hvad er problemstillingen?

Hvordan analyseres problemet?

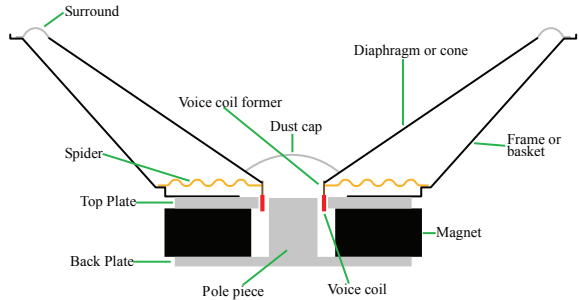
Hvad er løsningen?

Multi-band RMS
Limiter
Gruppe 640

4

Højtalereens 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

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

Problemet

Problemstilling

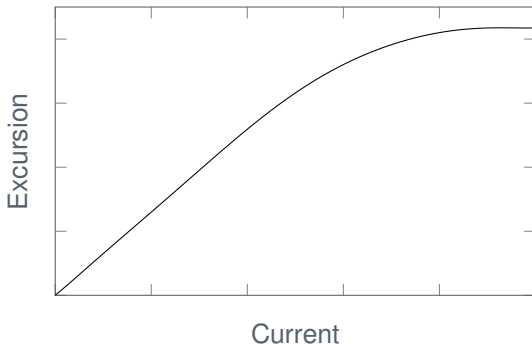
Multi-band RMS
Limiter
Gruppe 640

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
Perspektivering
Diskussion og
afsluttende ord
Demonstration

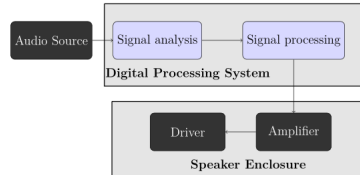
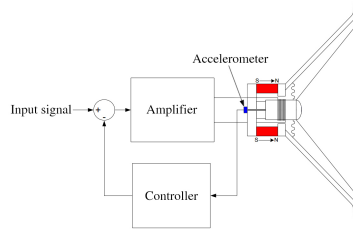
Designmetode

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

7

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?

40

Problem
Problemstilling
Problemformulering

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

Optimering
Relevante optimerings
muligheder

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

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

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

Dept. of Electronic Systems
Aalborg University
Denmark

8

Multibånds RMS limiter (0 - 530 Hz)

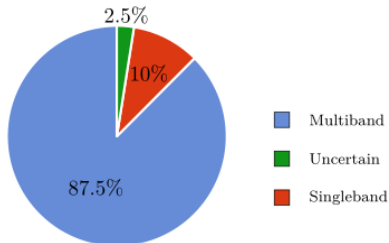
- Fire limiter bånd
- Et overordnet bånd

Baseret på lytteforsøg

Forskellige kombination

- Vægtning
- Lydforskel

Ikke muligt at finde systemer at teste
de forskellige konstellationer



40

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

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

System

- ▶ Fem RMS limiters

GUI

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

Platform

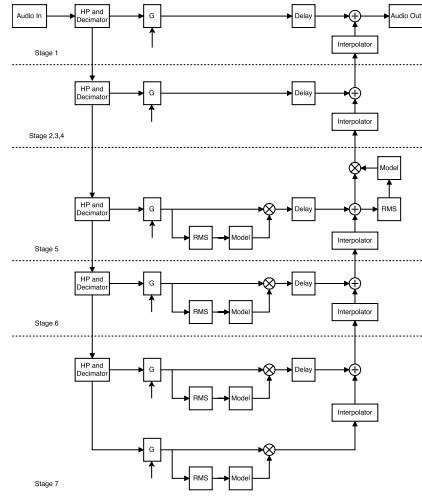
- ▶ Development Board TMDX5515EZDSP
- ▶ Dali Zensor 5

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

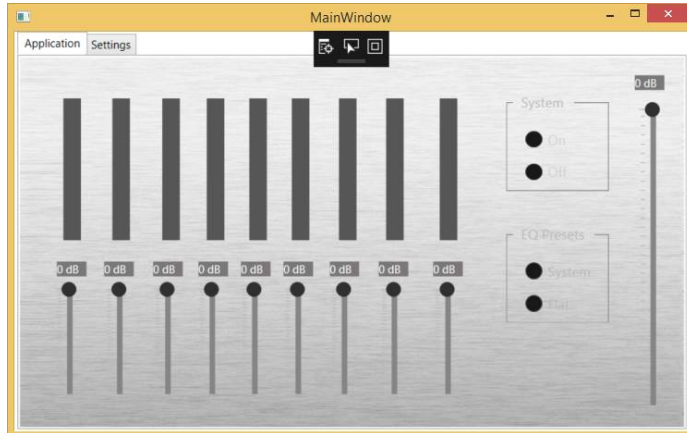
Optimering

Relevante optimerings
muligheder

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

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

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

Dept. of Electronic Systems
Aalborg University
Denmark

12

Frekvensrepons

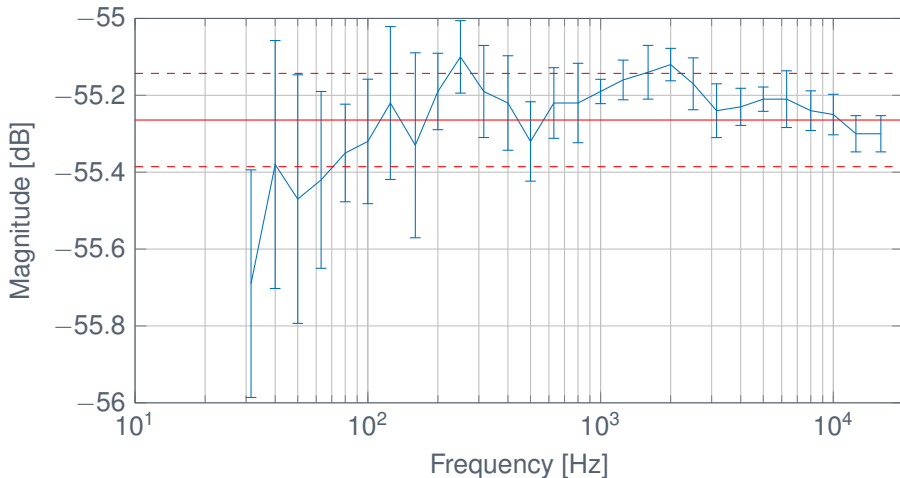
RMS limiter

Støjgulv

40

Multi-band RMS
Limiter
Gruppe 640

Bypassed frekvensrespons



13

Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

System

Resultater

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

Optimering

Relevante optimerings
muligheder

Perspektivering

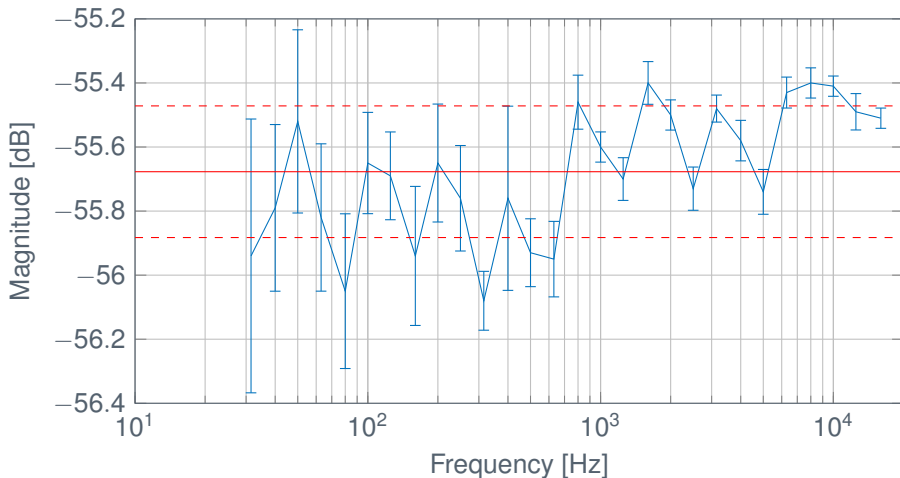
Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

40

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

Perspektivering

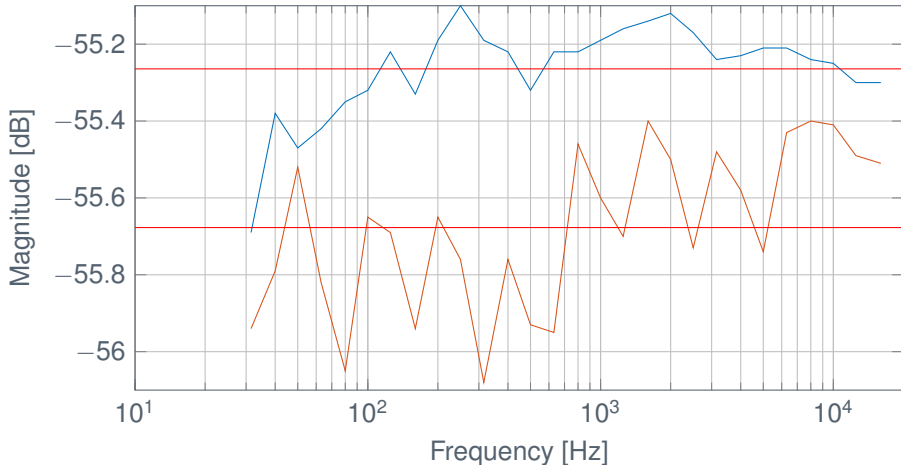
Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

40

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

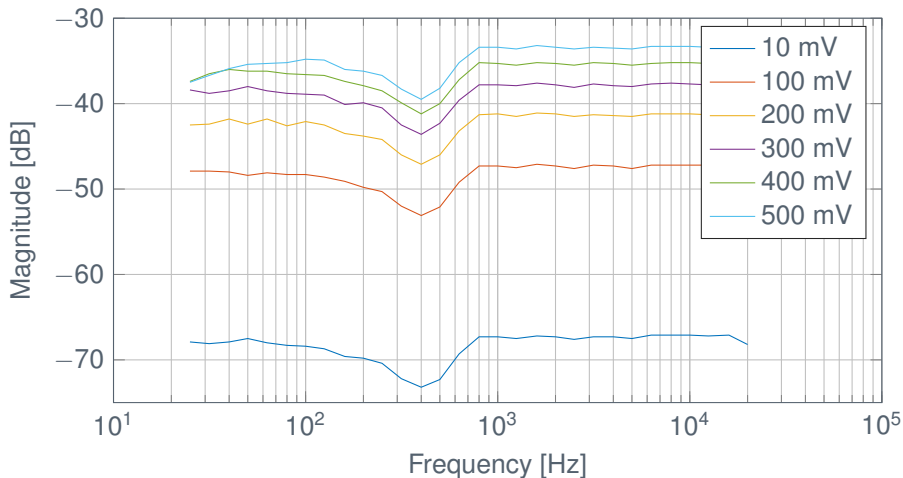
Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

40

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

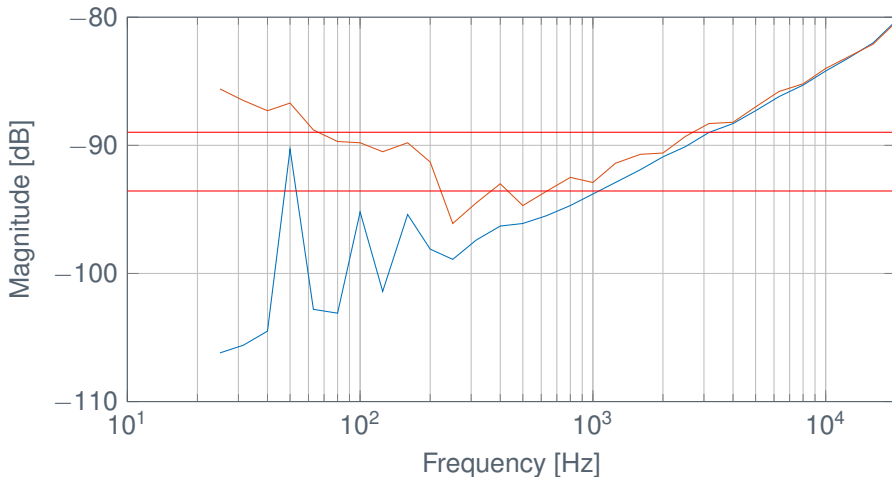
Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

Multi-band RMS
Limiter
Gruppe 640

Støj med og uden system



18

40

Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

System

Resultater

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

Optimering

Relevante optimerings
muligheder

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

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

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

19

► Downsampling
med faktor 2

► 7 gange

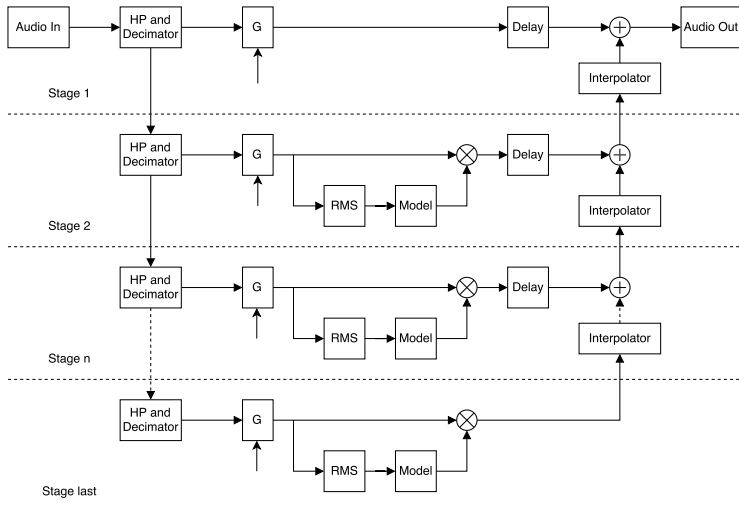
► 48 kHz

► 24 kHz

► 12 kHz

► ...

► 375 Hz



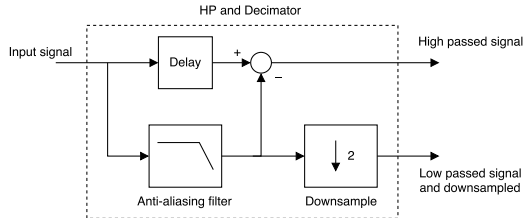
40

Funktionalitet:

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

Krav:

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

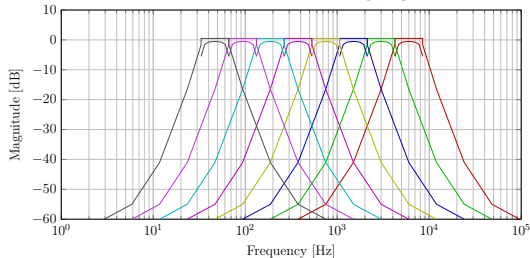
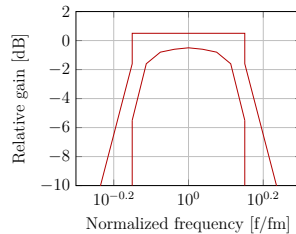


Krav:

✓ 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

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

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)

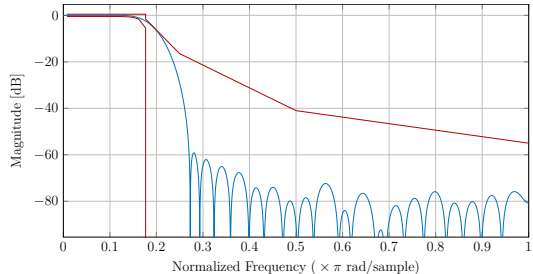
▶ $\omega_{\text{stop}} = 0.271 \frac{\pi \text{ rad}}{\text{sample}}$ (6.500Hz)

Metode brugt:

▶ Kaiser Window method

▶ Effektivt design

▶ Justerbar beta-værdi

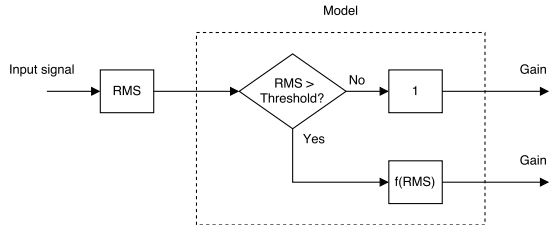


Funktionalitet:

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

23 **Krav:**

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

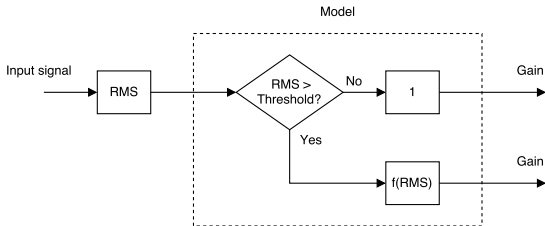


Funktionalitet:

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

Krav:

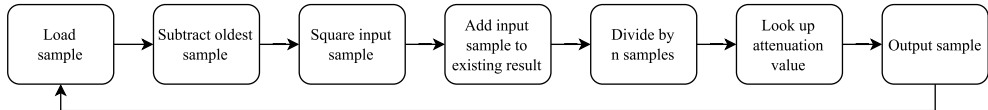
- Løbende Gennemsnit
- **Dæmpning til grænseværdi ved input på \geq grænseværdien**
- 0 s attack time
- 5 s release time



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:

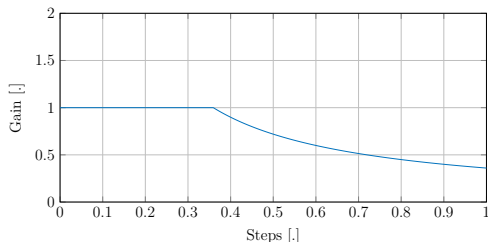
Finde Maksimalt gennem hele systemet = 40 dB

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

Look up tabellen laves:

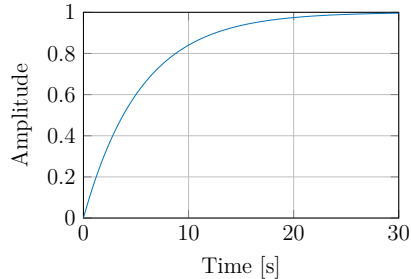
Opdele funktionen $\sqrt{\frac{\text{Threshold}^2}{\text{RMS}^2}}$ i 1024 steps

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

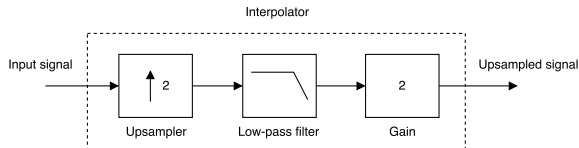


Funktionalitet:

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

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

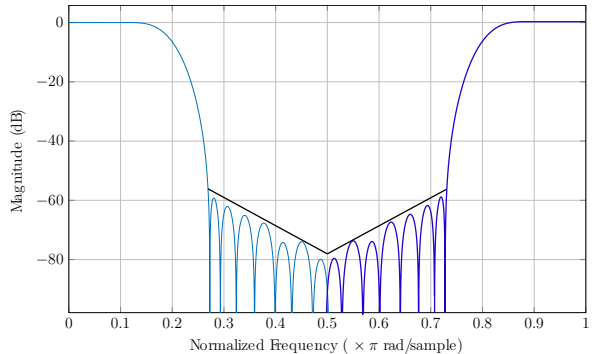
Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

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

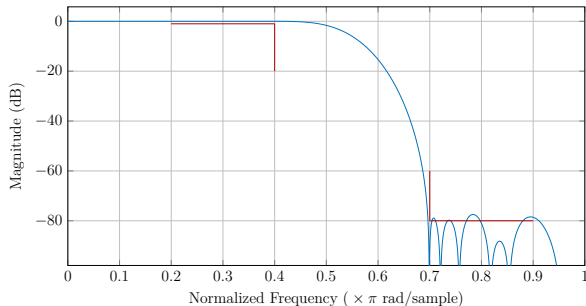
Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

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

Pouk Hoang

Optimering

Relevante optimerings
muligheder

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

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

32

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

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

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

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

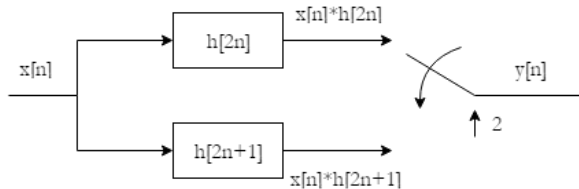
Generel reducere af anvendte instruktioner

- ▶ Dobbelt initialisering af buffere. (30 – 40 instruktioner)
- ▶ Reservering af cirkulære buffere
 - ▶ TMS320C5515 kan initialisere frem cirkulære buffere
 - ▶ Fire kan reserveres til udvalgte filtre
 - ▶ Færre instruktioner på initialisering (10 - 20 instruktioner)
- ▶ Færre funktionskald
- ▶ Multirate algoritme til scheduling frigør program memory

Zero-padding anvendes i interpolation

Halvdelen af udregningerne giver nul

Polyphase filter i interpolation halvere filter algoritmen





Optimering

Mindre delay gennem systemet

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

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

Dept. of Electronic Systems
Aalborg University
Denmark

Færre trin/bånd (stages) i systemet

IIR filter i interpolation

- Mindre delay
- Lille ulinearitet ved signalbåndbredde

35

40

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

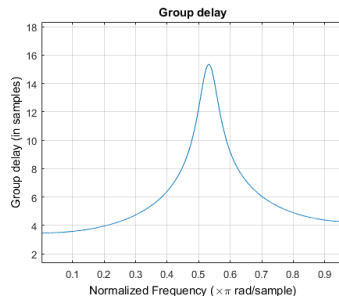
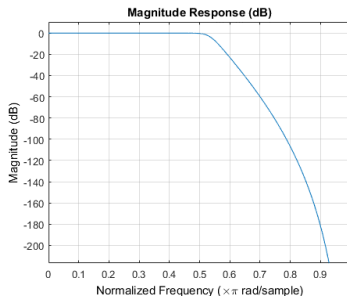
Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

Butterworth IIR filter

- $N = 8$
- $\text{Cutoff} = 0.5\pi$



36

40

Multi-band RMS
Limiter
Gruppe 640

Problem

Problemstilling

Problemformulering

Løsning

System

Resultater

Multi-Rate/stage

Decimation

RMS Limiter

RMS Limiter

Interpolation

Optimering

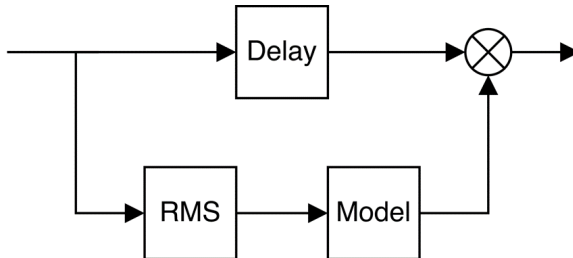
Relevante optimerings
muligheder

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

Delay i RMS limiter design for at beskytte mod transiente signaler



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

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

Systemet er velegnet til mindre højttalere

- Mere effekt kan afsættes uden at ødelægge wooferen

Forstærkningen for en aktiv højttaler kan øges

- Systemet sørger for at bassen holdes under en threshold

38

40



Diskussion og afsluttende ord

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

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

Dept. of Electronic Systems
Aalborg University
Denmark

Projekt uden konkrete fortilfælde

Projektet har undersøgt både feedback og feedforward som løsning

Størstedelen af projektet har været konceptudvikling

Projektet omhandler en aktuel problemstilling

39

40



Demonstration

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

Perspektivering

Diskussion og
afsluttende ord

Demonstration

40

40

Lad os alle gå mod lab



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK