

ASCEE

www.ascee.nl
info@ascee.nl
+31 6 189 71 622

Omnidirectionele puntbron

Casper Jansen

3 oktober 2023

Inleiding



Inleiding



Welke eigenschappen van een luidspreker zorgen voor een goede klank?

Inleiding



Welke eigenschappen van een luidspreker zorgen voor een goede klank?

1) Frequentierespons

- bereik
- vlakheid

Inleiding



Welke eigenschappen van een luidspreker zorgen voor een goede klank?

- 1) Frequentierespons
 - bereik
 - vlakheid
- 2) Richtwerking
 - frequentie-afhankelijk
- 3) ...

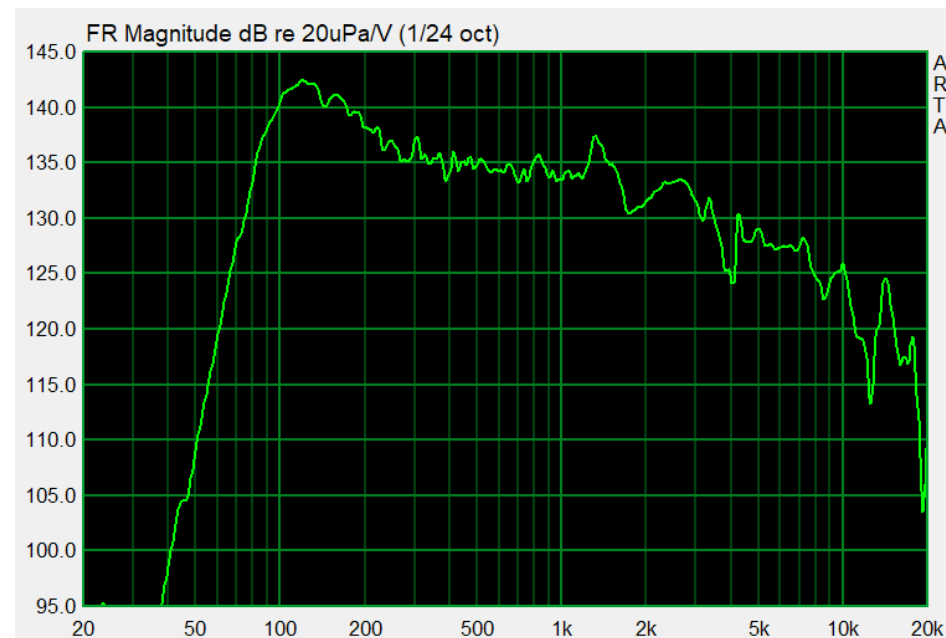
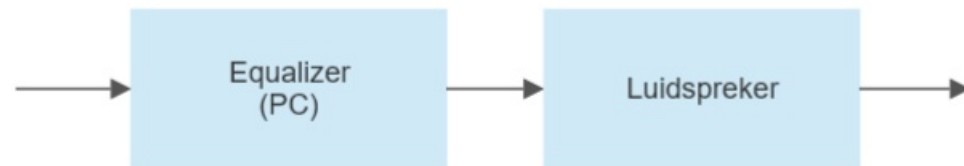
1. Frequentierespons



Streven:

- Bereik 20 Hz – 20 kHz
- Maximale afwijking ± 1 dB
- Fase is minder belangrijk

Totaal = equalizer * luidspreker



Voorbeeld: luidspreker

1. Frequentierespons



Streven:

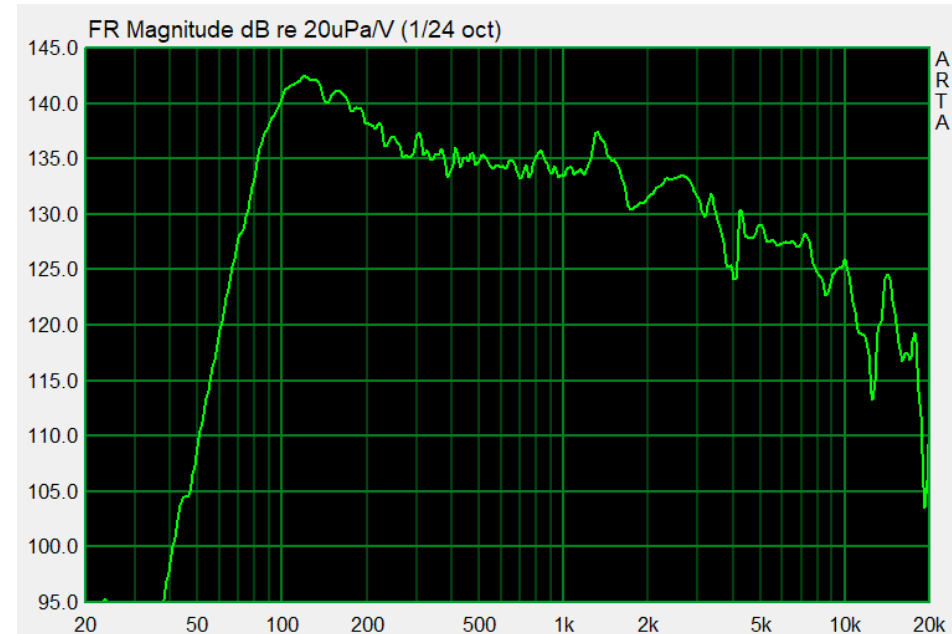
- Bereik 20 Hz – 20 kHz
- Maximale afwijking ± 1 dB
- Fase is minder belangrijk



Totaal = equalizer * luidspreker

Equalizer: ?

- Kies: $\text{equalizer} = (\text{luidspreker})^{-1}$?
Nee, oneindige versterking bij lage en hoge tonen
- Kies: $\text{totaal} = \text{doelcurve}$
 $\rightarrow \text{equalizer} * \text{luidspreker} = \text{doelcurve}$



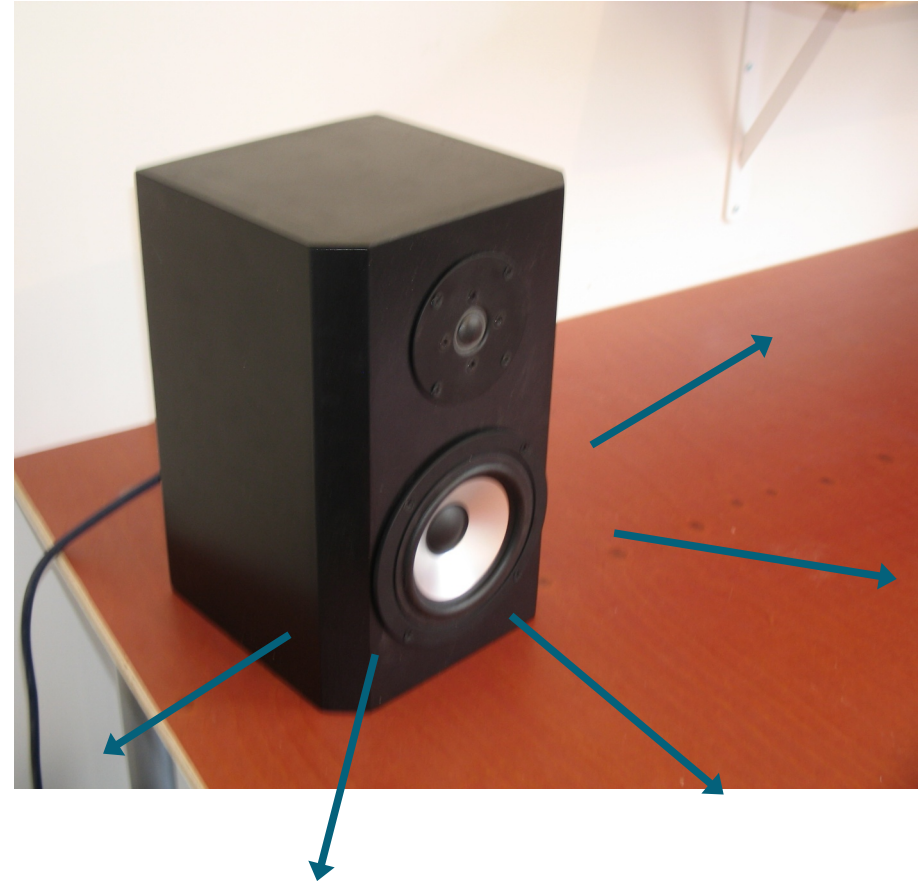
Voorbeeld: luidspreker

2. Richtwerking



Frequentie-afhankelijk

- De frequentierespons is afhankelijk van de afstralingshoek
- 'De frequentierespons' bestaat niet!
Het zijn er oneindig veel.



2. Richtwerking

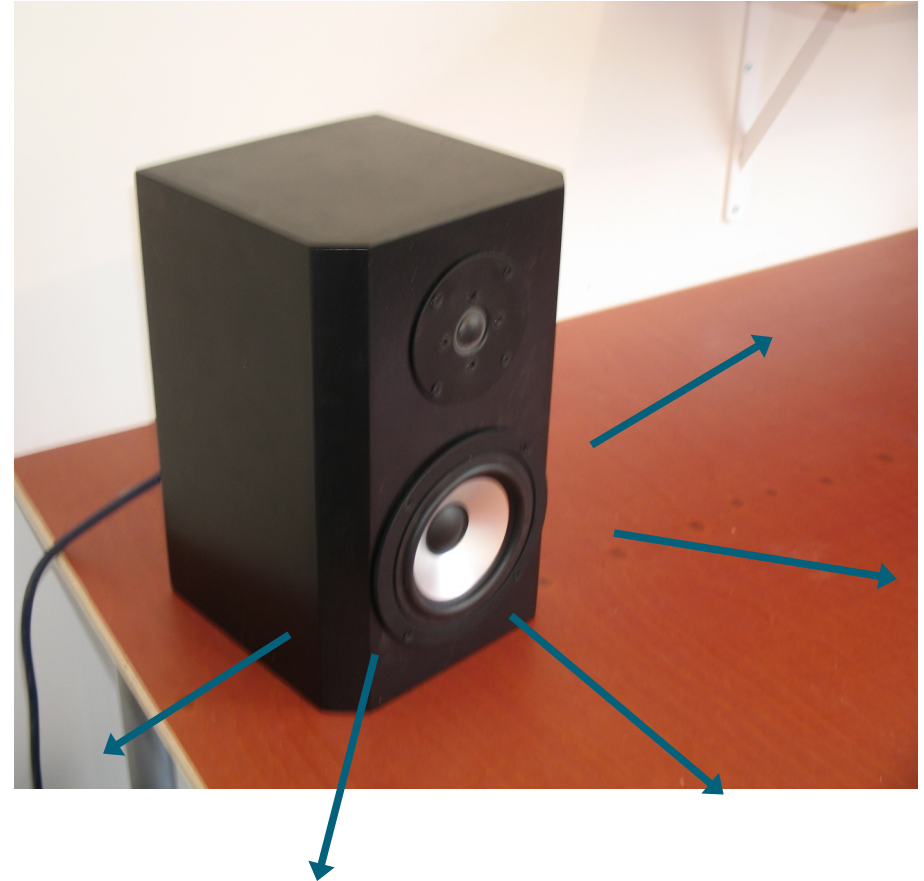


Frequentie-afhankelijk

- De frequentierespons is afhankelijk van de afstralhoek
- 'De frequentierespons' bestaat niet!
Het zijn er oneindig veel.

equalizer * **luidspreker** = doelcurve

Wat moeten we hier invullen?



2. Richtwerking

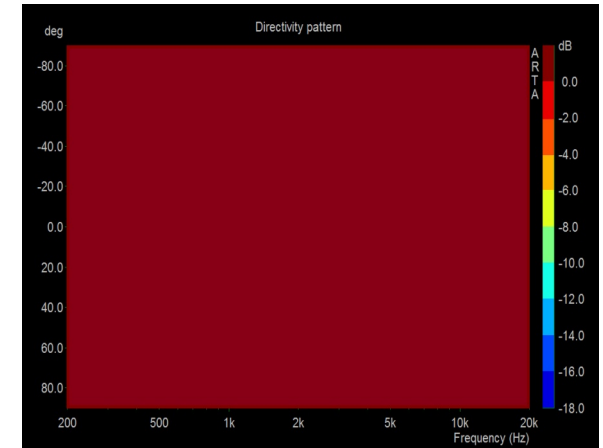
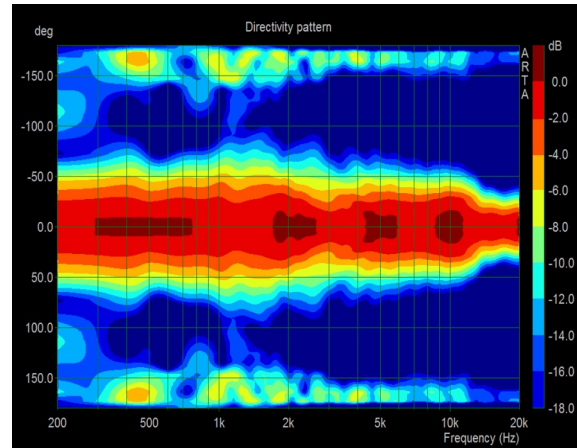


2. Richtwerking



Mogelijke oplossing:
'luidspreker' heeft dezelfde
frequentierespons onder elke
hoek – eventueel op een ander
niveau.

- Meerdere bronnen,
individueel aansturen,
waveguide
- Puntbron

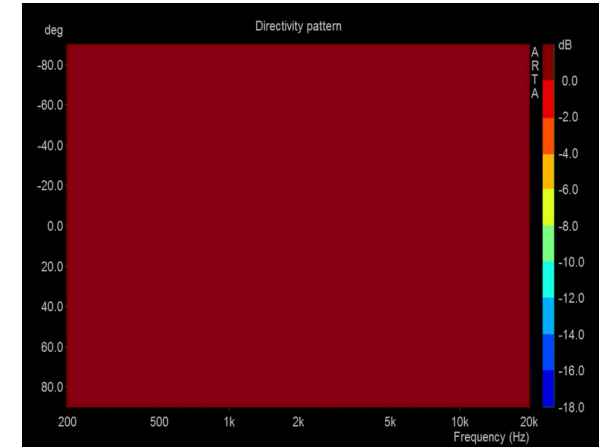


2. Richtwerking



~~De frequentierespons is afhankelijk van de afstraalhoek~~

- ‘De frequentierespons’ bestaat !
Het is er maar één.



Bepalen equalizer



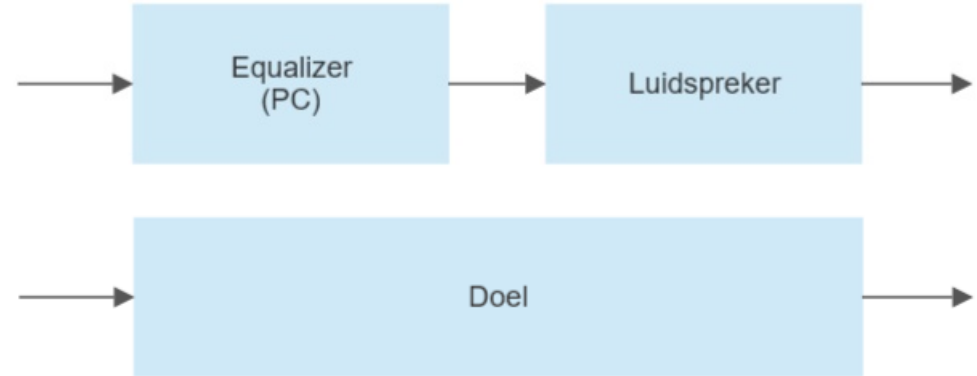
Totaal = equalizer * luidspreker

equalizer = (luidspreker)⁻¹

equalizer * luidspreker = doel

kan niet

kan wel



Bepalen equalizer



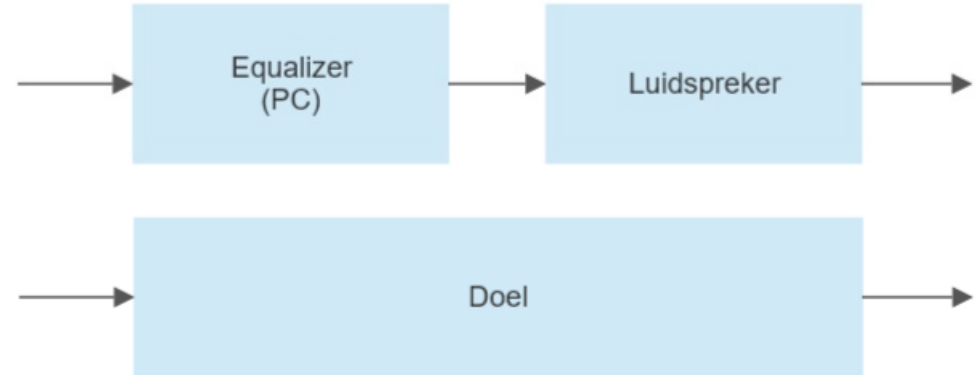
Totaal = equalizer * luidspreker

equalizer = (luidspreker)⁻¹

equalizer * luidspreker = doel

kan niet

kan wel



Berekenen: frequentiedomein of tijdsdomein?

Frequentiedomein	Tijdsdomein
Intuïtief	Causaliteit goed controleerbaar
Makkelijk rekenen	Resultierend FIR-filter makkelijk te implementeren

Bepalen equalizer



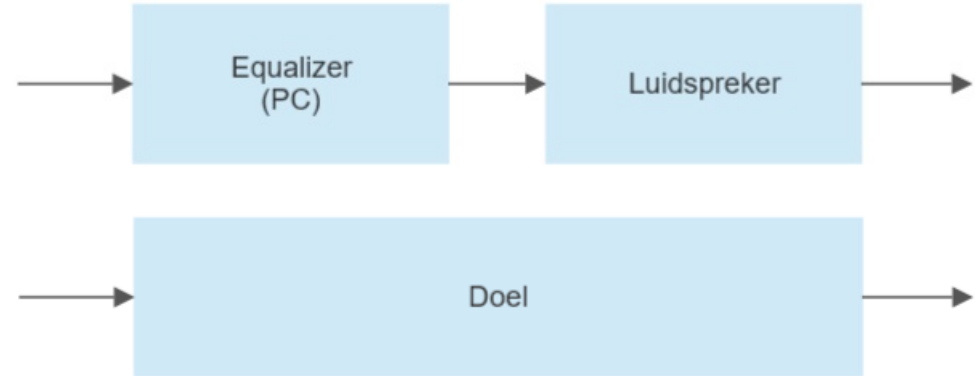
Totaal = equalizer * luidspreker

equalizer = (luidspreker)⁻¹

equalizer * luidspreker = doel

kan niet

kan wel



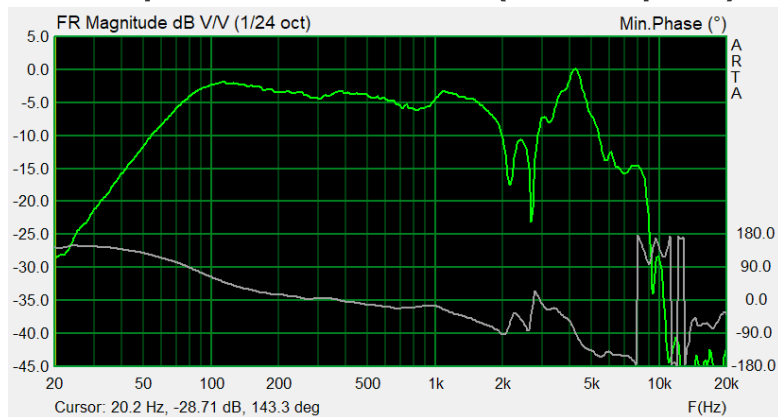
Berekenen: frequentiedomein of tijdsdomein?

Frequentiedomein	Tijdsdomein
Intuïtief	Causaliteit goed controleerbaar
Makkelijk rekenen	Resultierend FIR-filter makkelijk te implementeren

Bepalen equalizer

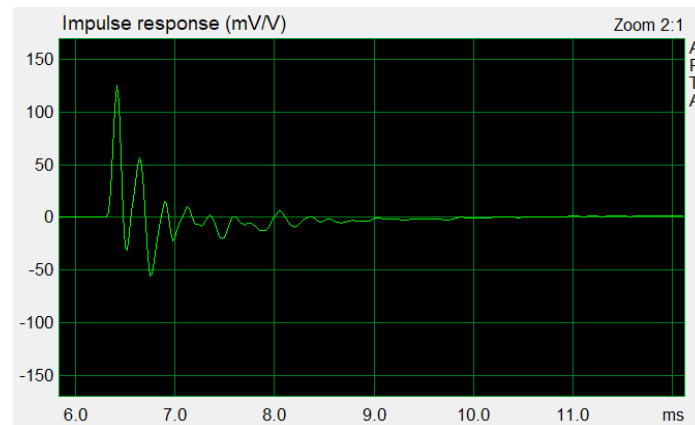


Frequentiedomein (bode plot)

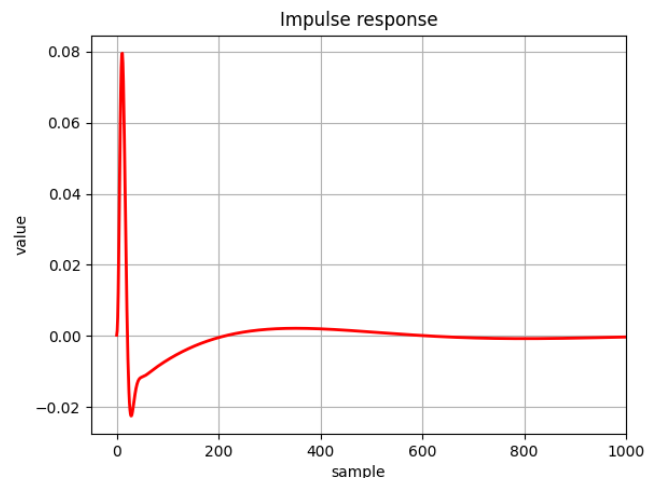
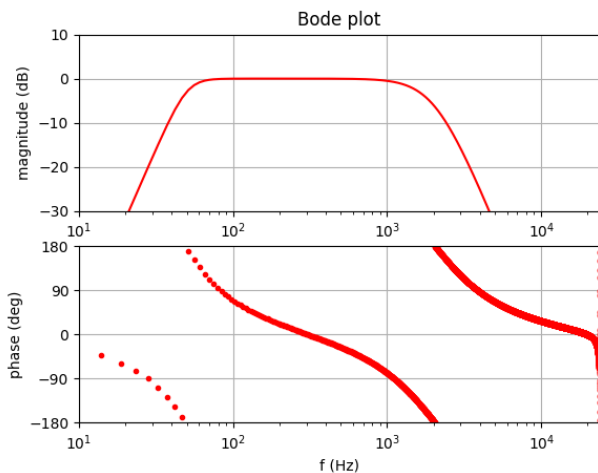


luidspreker

Tijdsdomein: impulsrespons



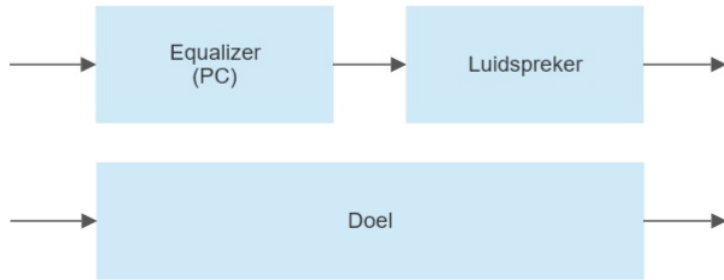
doelcurve



Bepalen equalizer

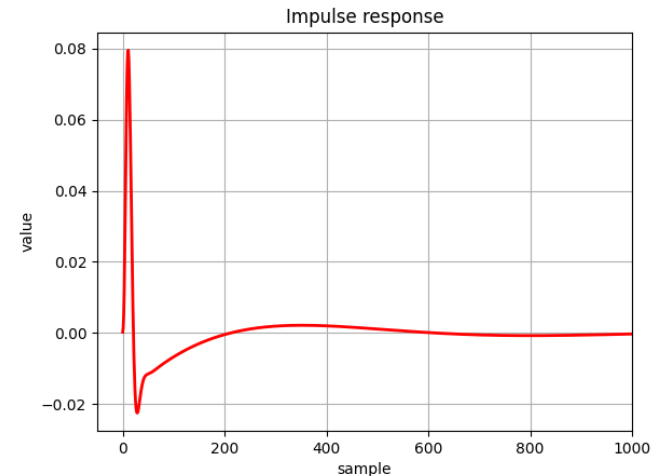
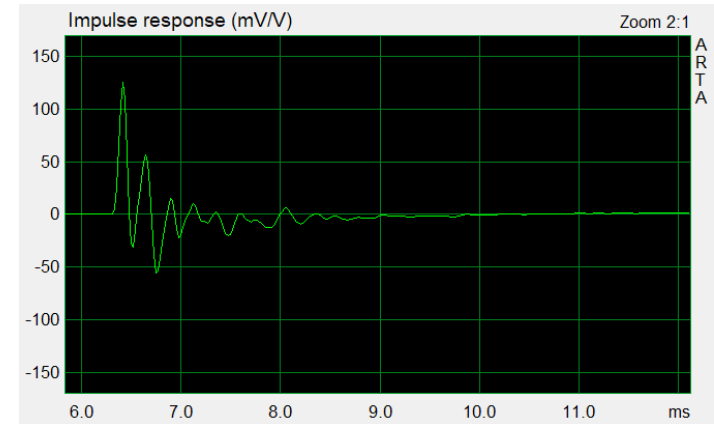


luidspreker



doelcurve

Impulsrespons



Bepalen equalizer



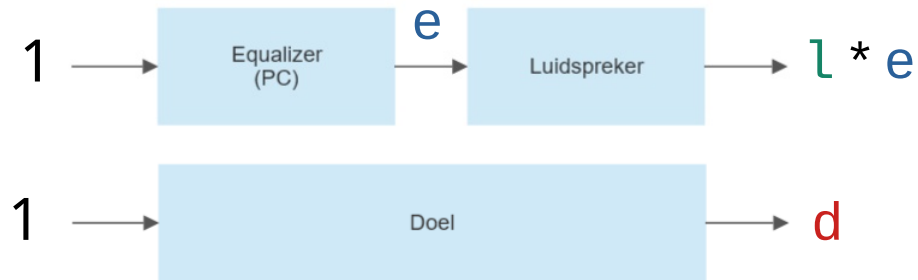
impulsrespons

d: doelcurve

l: luidspreker

e: equalizer

*: *convolutie*





Bepalen equalizer

impulsrespons

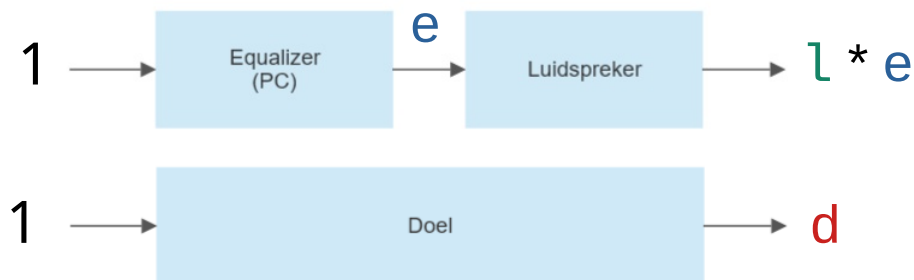
d: doelcurve

l: luidspreker

e: equalizer

Onbekende

*: convolutie



Hoe bepaal je de optimale equalizer?



Bepalen equalizer

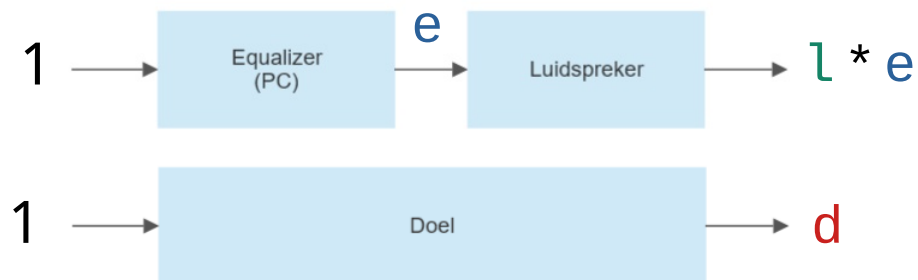
impulsrespons

d: doelcurve

l: luidspreker

e: equalizer

*: convolutie



Methode gebaseerd op Tsujino & Elliott (1991)

$$d = L e$$

L: Toeplitz-matrix van **l**

$$e = \text{pinv}(L) d$$

oplossing, exact



Bepalen equalizer

impulsrespons

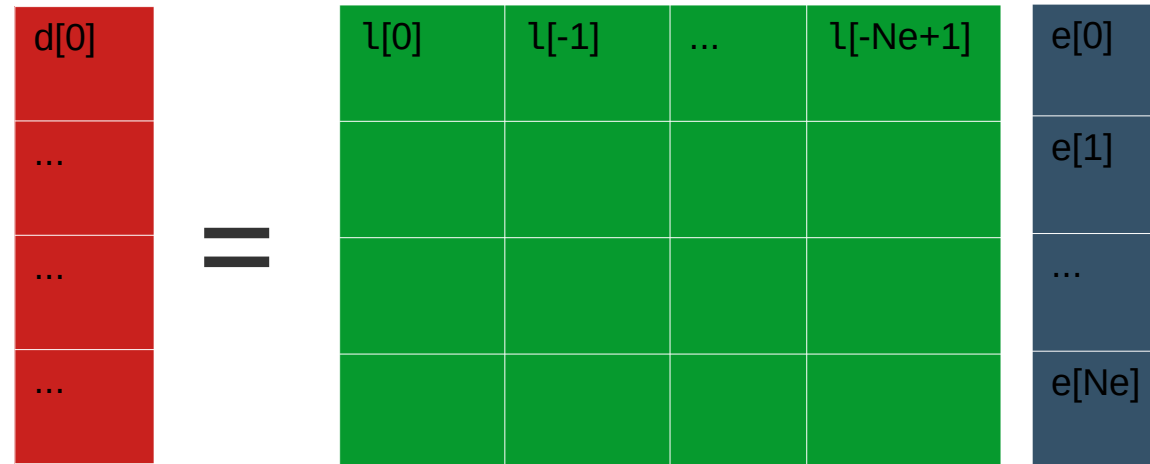
d: doelcurve

L: luidspreker

e: equalizer

```
e = [e[0]; e[1]; ... ; e[Ne-1]];      column vector (equalizer)
d = [d[0]; d[1]; ... ; d[Nd-1]];      column vector (filtered luidspreker)
L = [L[0] , L[-1] , ... , L[-Ne+1]     Toeplitz matrix (luidspreker)
     L[1] , L[0] , ... , L[-Ne+2]
     L[2] , L[1] , ... , L[-Ne+3]
     . . . . .
     L[Nd-1], L[Nd-2], ... , L[Nd-Ne]]
```

$$d = L e$$





Bepalen equalizer

impulsrespons

d: doelcurve

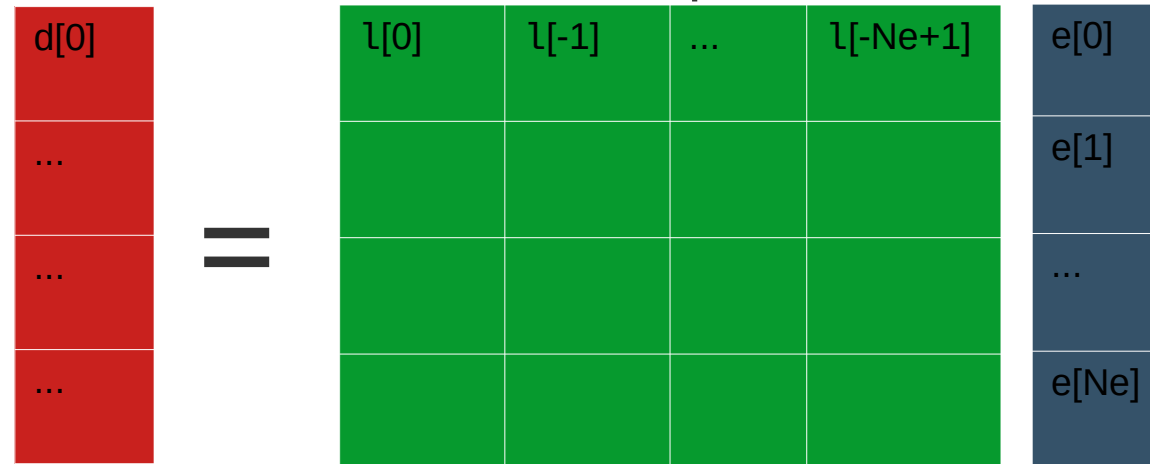
l: luidspreker

e: equalizer

```
e = [e[0]; e[1]; ... ; e[Ne-1]];      column vector (equalizer)
d = [d[0]; d[1]; ... ; d[Nd-1]];      column vector (filtered luidspreker)
L = [l[0] , l[-1] , ... , l[-Ne+1]      Toeplitz matrix (luidspreker)
     l[1] , l[0] , ... , l[-Ne+2]
     l[2] , l[1] , ... , l[-Ne+3]
     . . . . .
     l[Nd-1], l[Nd-2], ... , l[Nd-Ne]]
```

index l loopt af →

$$d = L e$$



Bepalen equalizer



impulsrespons

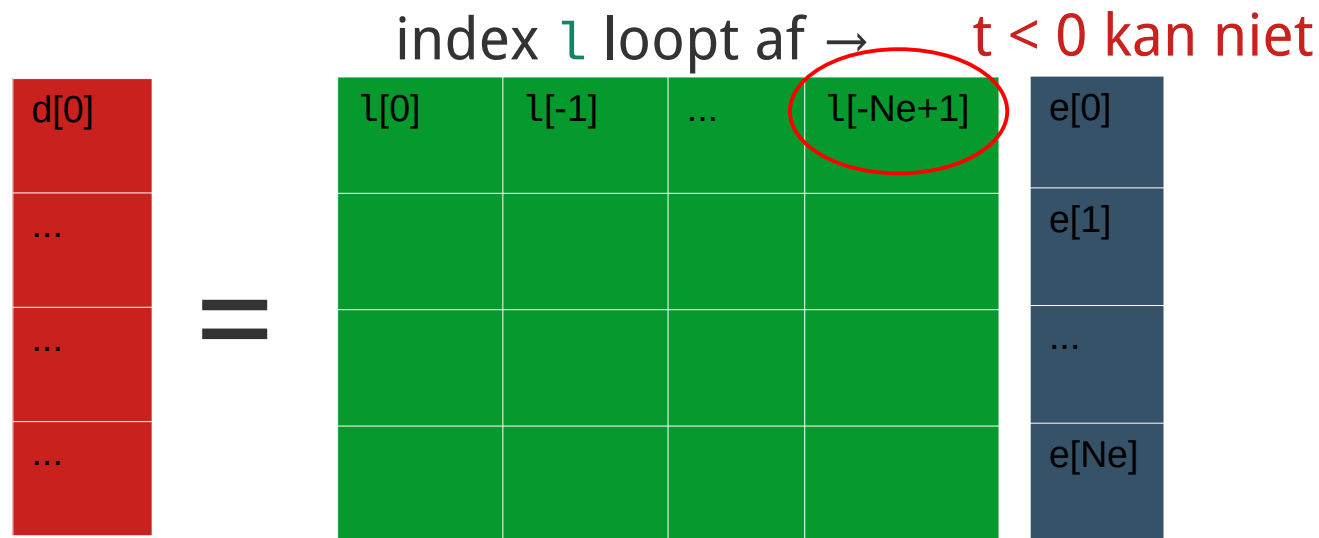
d: doelcurve

l: luidspreker

e: equalizer

```
e = [e[0]; e[1]; ... ; e[Ne-1]];      column vector (equalizer)
d = [d[0]; d[1]; ... ; d[Nd-1]];      column vector (filtered loudspeaker)
L = [l[0]  , l[-1]  , ... , l[-Ne+1]    Toeplitz matrix (loudspeaker)
     l[1]  , l[0]   , ... , l[-Ne+2]
     l[2]  , l[1]  , ... , l[-Ne+3]
     .     .     .     .
     l[Nd-1], l[Nd-2], ... , l[Nd-Ne]]
```

$$d = L e$$





Dat was de inleiding

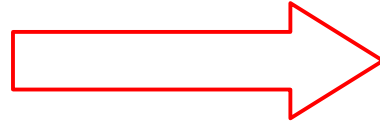
Onderzoeksvraag:
Hoe goed werkt dit?



Praktijk

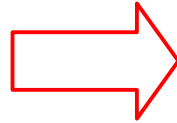
2.000 – 20.000 Hz

- 1" (25 mm) hogetonenluidspreker
- LAVOCE TN100.70
- Kegel: opening \varnothing 10 mm ($\frac{1}{4}\lambda$ bij 9 kHz)



50 – 2.000 Hz

- 4" (102 mm) basluidspreker
- Dayton TCP115-4
- Buis: opening \varnothing 50 mm ($\frac{1}{4}\lambda$ bij 1.7 kHz)

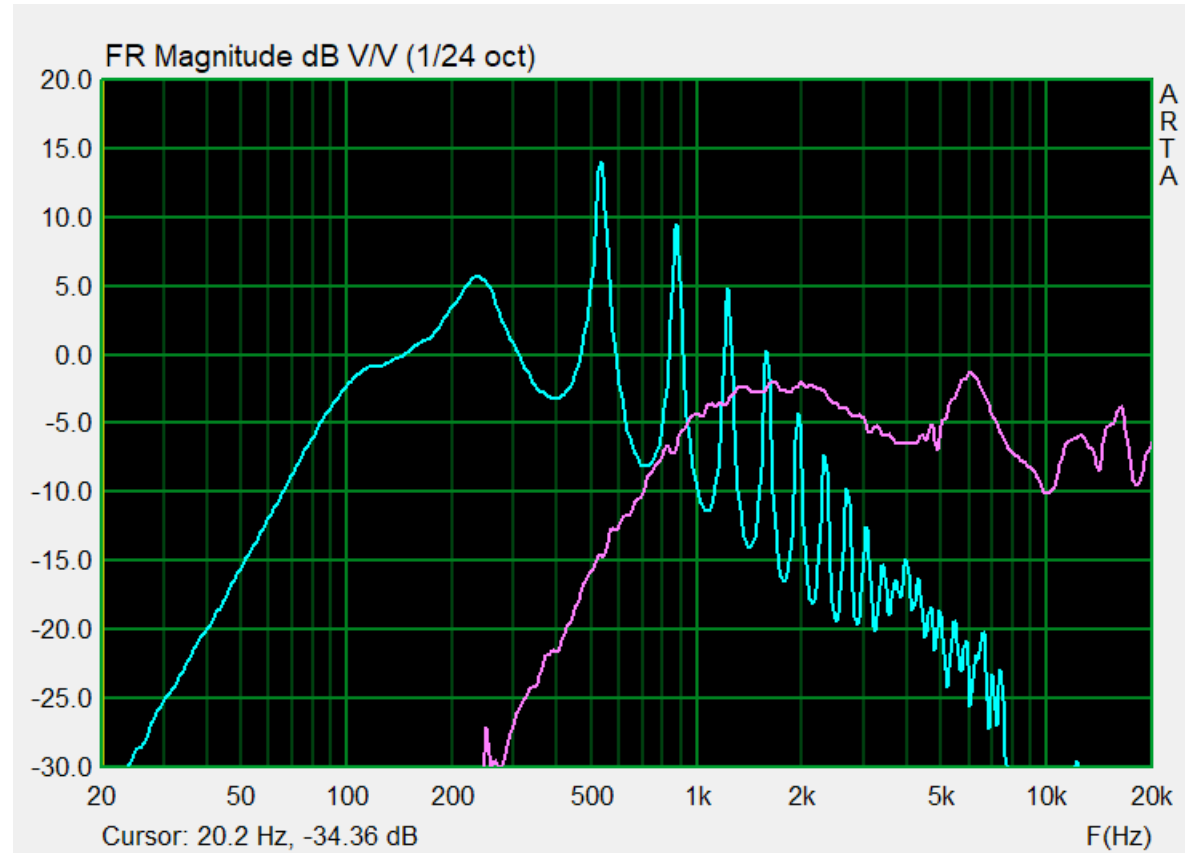


Praktijk



Basluidspreker

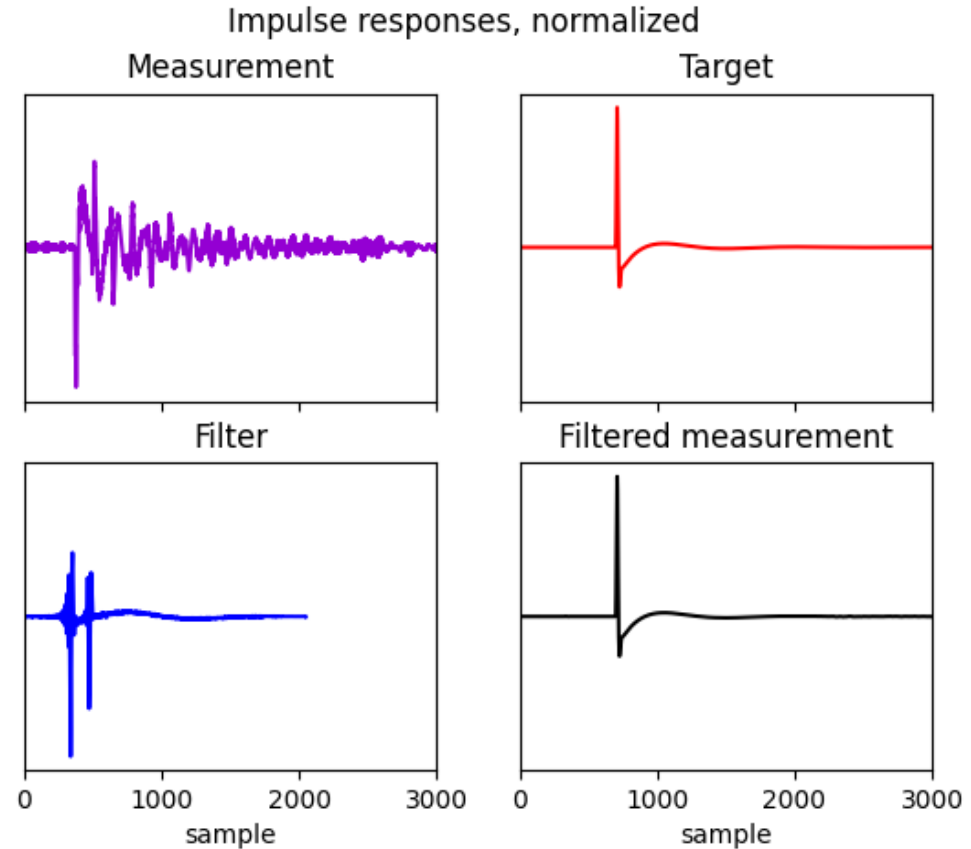
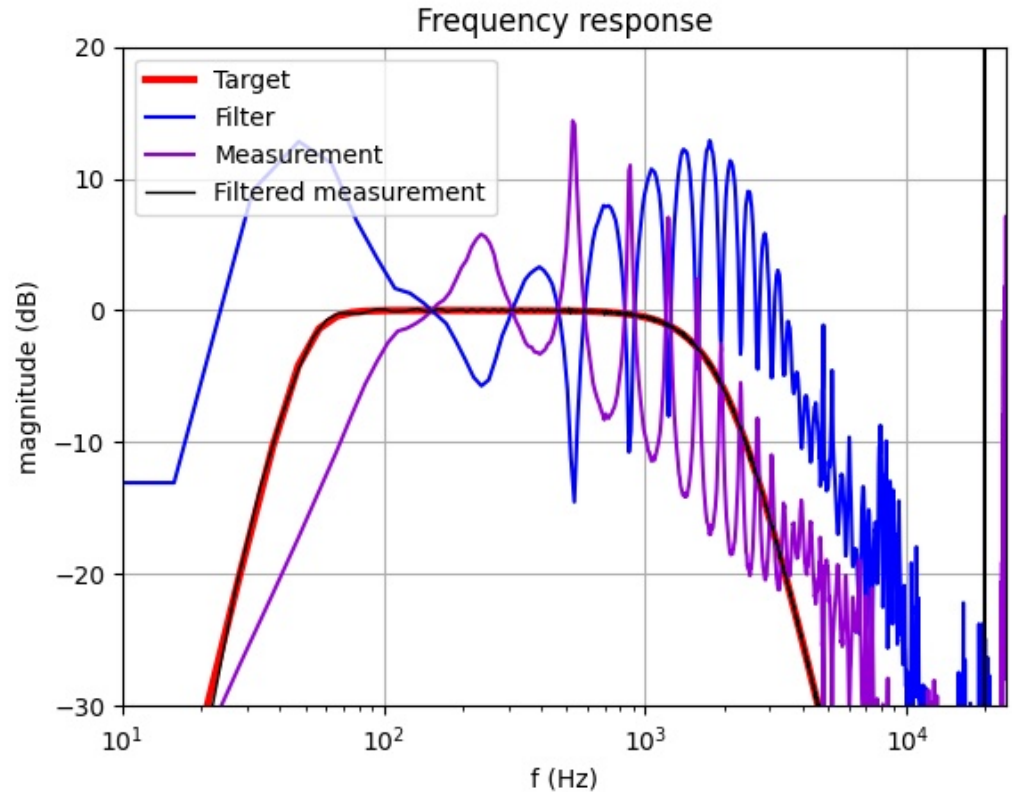
- Absoluut niet vlak
- Resonantiepieken 15 dB
- Het klinkt als...
een luidspreker achter een buis



Praktijk

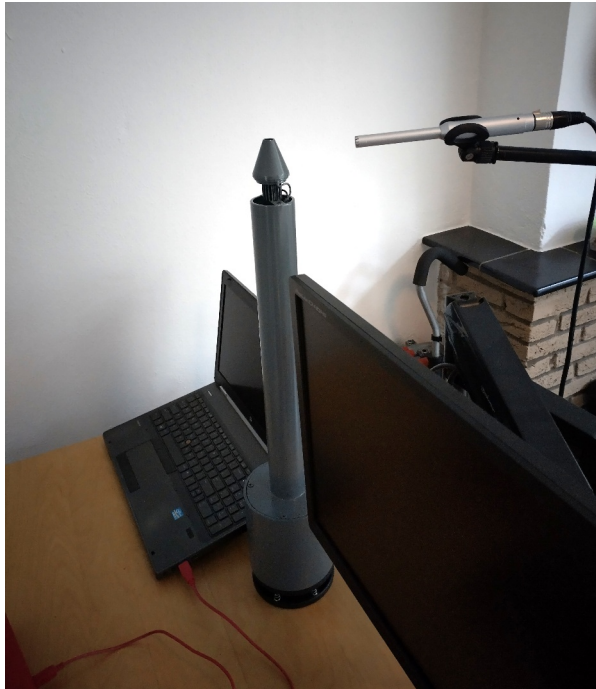


Meting basluidspreker + simulatie equalizer

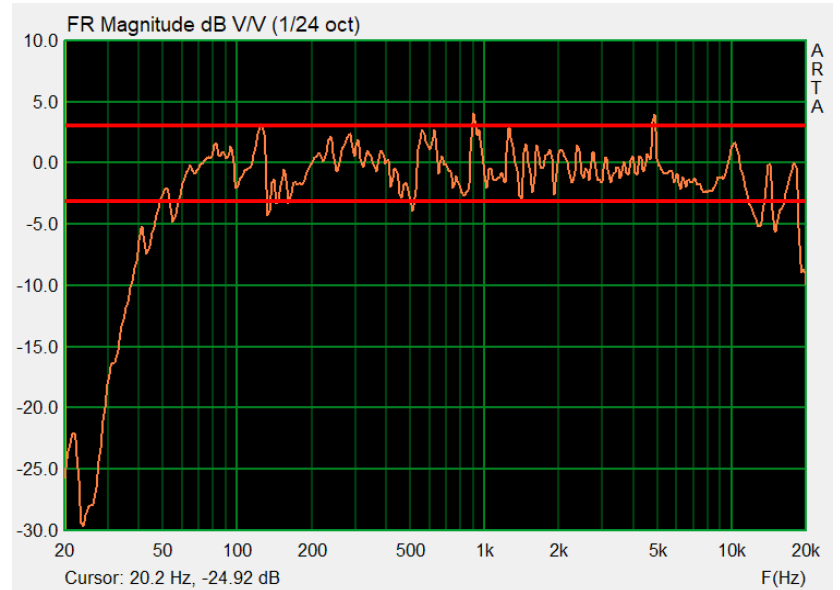
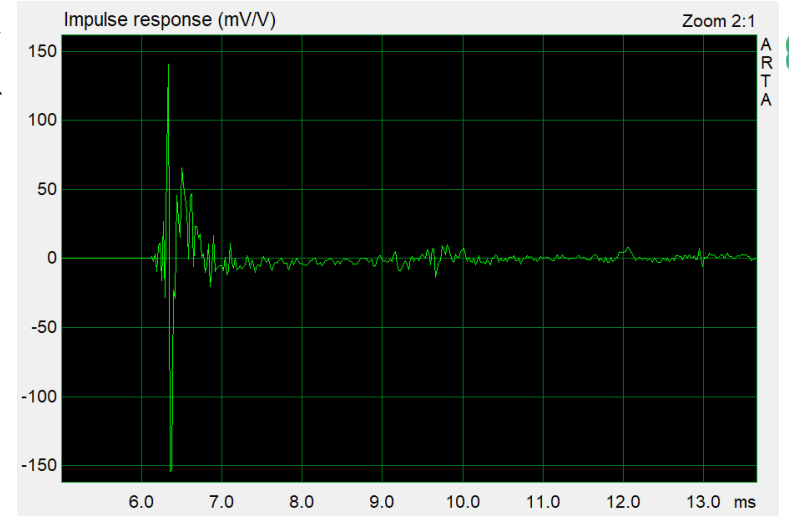


Praktijk

8 maanden later, augustus:
Meting luidspreker incl. equalizer
... en reflecties



+/- 3 dB



Praktijk



Basluidspreker

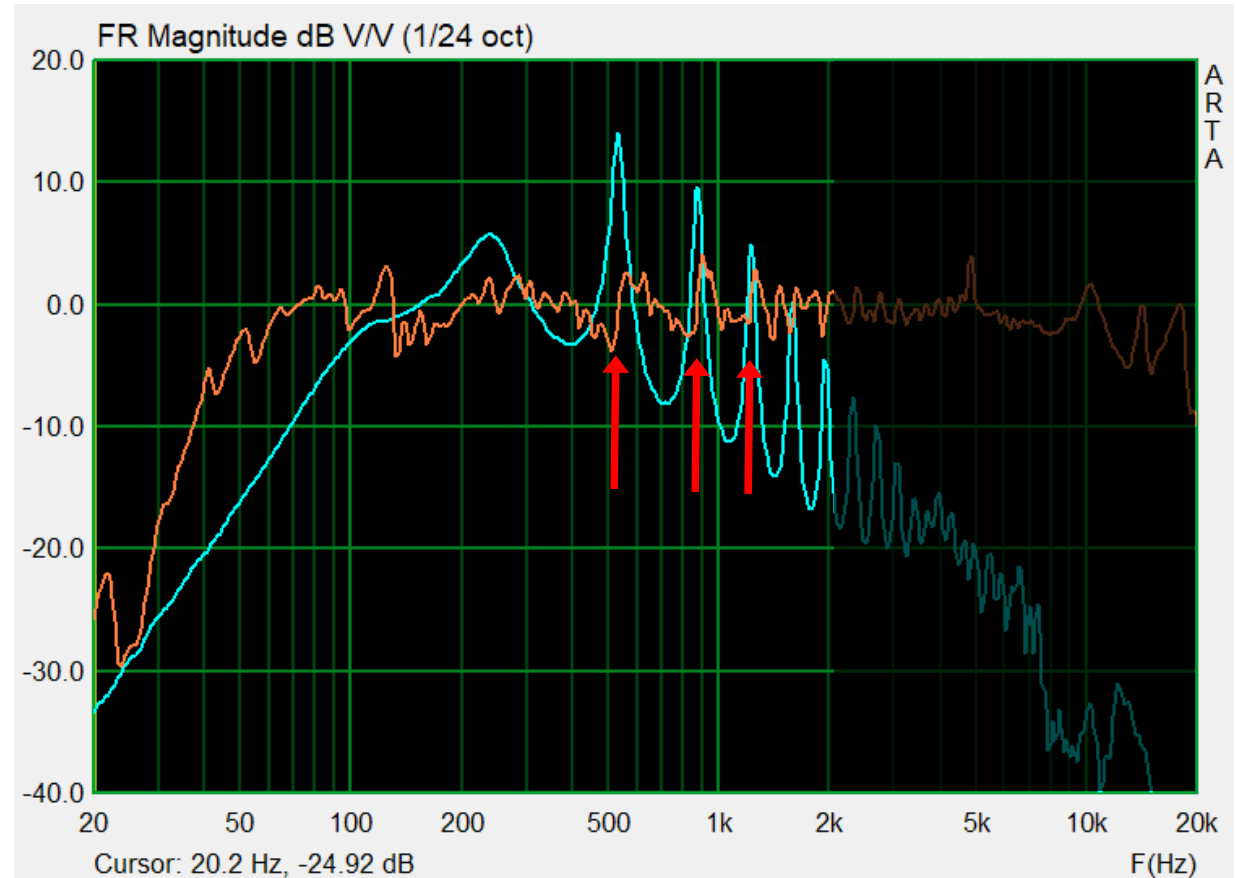
50 Hz – 2 kHz

Zigzag ↔ smalbandige piek

Equalizer en luidspreker komen niet exact meer overeen

Pieken van luidspreker omhoog geschoven in frequentie

In augustus (nameting) warmer dan in december (equalizer instellen)



Praktijk



Hogetonenluidspreker

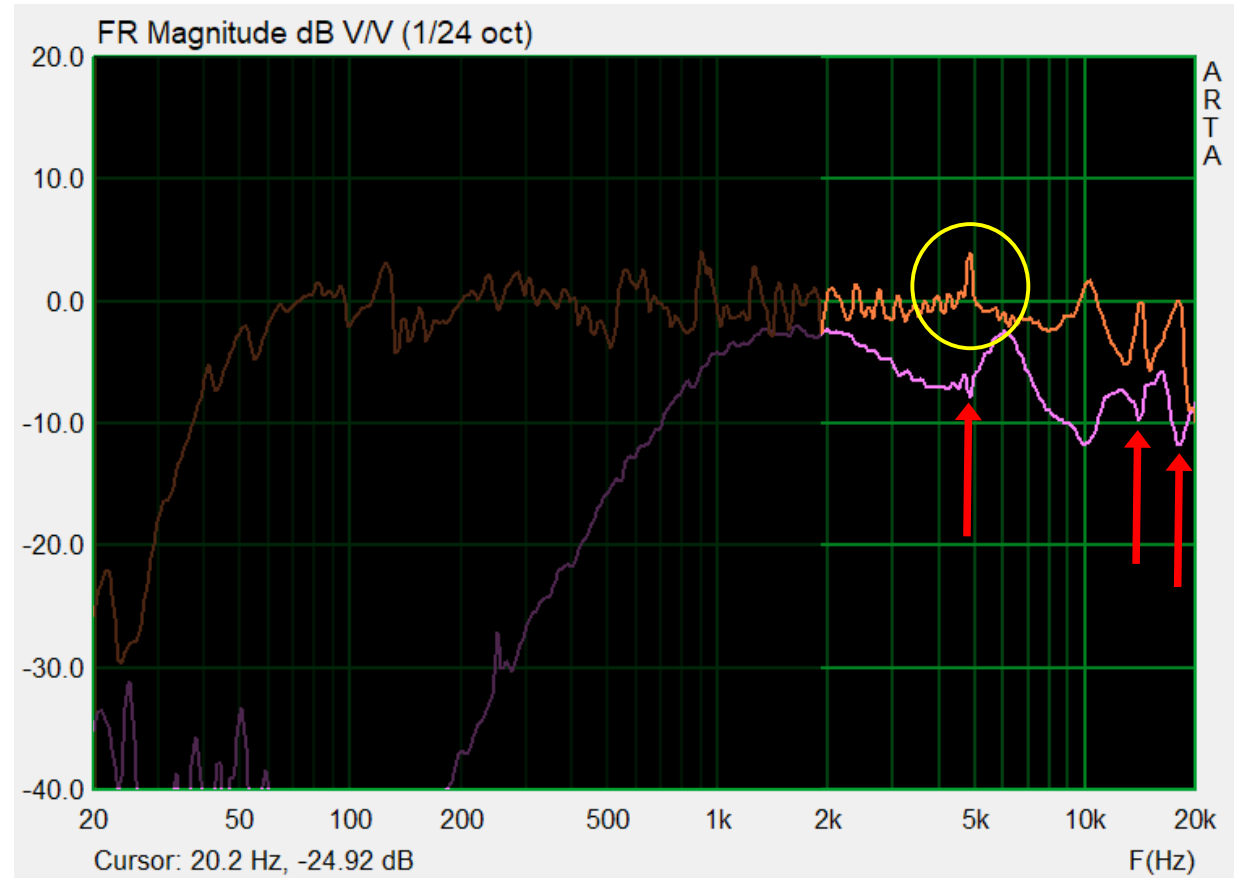
2 - 20 kHz

resonantie 5 kHz

3D-geprinte kegel

pieken 10, 14, 18 kHz

?



Praktijk



Demo

- Origineel
 - -12 dBFS
 - Basluidspreker: laagdoorlaatfilter $f = 2$ kHz
 - Hogetonenluidspreker: hoogdoorlaatfilter $f = 2$ kHz
 - Speciaal voor demo: hoogdoorlaatfilter $f = 80$ Hz i.v.m. voldoende SPL
- Gefilterd met FIR-filter
 - -0 dBFS
 - Individueel FIR-filter voor basluidspreker en hogetonenluidspreker
 - Bevat dezelfde hoog- en laagdoorlaatfilters

Conclusie



‘Hoe goed werkt dit?’ (methode equalizer)

- Goed genoeg voor dagelijks gebruik
- Resonanties niet geheel weg → Geen hi-fi

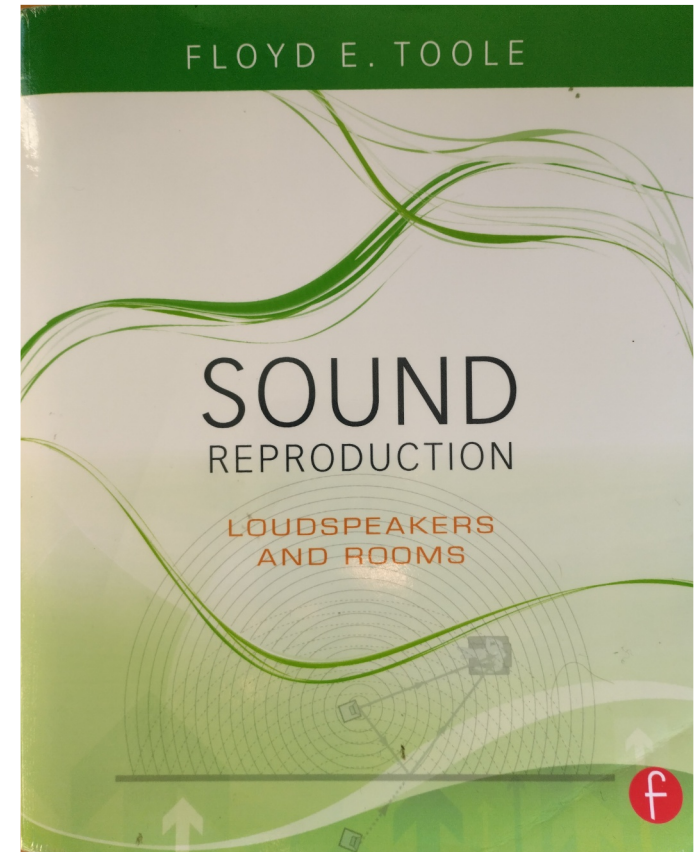
Verbeteringen

- Resonanties dempen voor tijdsinvarianter systeem
 - Reeds gedaan bij tweeter
- Maak kegel van tweeter van dikker materiaal
 - De resonanties zorgen er vermoedelijk voor dat het geen puntbron is

Meer info



- Paper FIR-filter: M. Tsujino and S. Elliott, "A globally optimal formulation for feedforward active sound control", *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 5, no. 3, pp. 167-181, 1991.
- Boek: Floyd Toole (2017) "Sound Reproduction: The Acoustics and Psychoacoustics of Loudspeakers and Rooms"
- Forum, zelfbouw (NL)
<https://zelfbouwaudio.nl/forum/>
- Forum, zelfbouw (int)
<https://www.diyaudio.com>
- Forum, metingen en discussie (int)
<https://www.audiosciencereview.com>





ASCEE

www.ascee.nl
info@ascee.nl
+31 6 189 71 622