

Het gebruik van een Linkwitz Transform bij tweeters

Tweeters zijn meestal gesloten systemen en hebben van nature een tweede orde laag afval. Verschillende factoren bepalen uiteindelijk waar de laagafval begint en met welke Q. De wereld is natuurlijk niet ideaal, er zullen dus best wel afwijkingen zijn van simpele mathematische modellen.

Voor het inzetten van een tweeter wordt er een hoog doorlaat filter gebruikt om deze te gebruiken in een frequentiegebied waarvoor deze geschikt is. Dit ligt over het algemeen hoger dan de natuurlijke laag afval dat deze tweeter heeft. Als je een tweeter zou gebruiken ongefilterd en alleen gebruik zou maken van zijn natuurlijke laag afval, dan zou deze onderin zijn werkgebied te veel vervormen.

Voor een goed filter verloop moet je echter wel rekening houden met de eigen laag afval van de tweeter anders kloppen je filter curves niet en is de sommatie met de andere driver niet goed.

Linkwitz-transforms worden regelmatig gebruikt om met name bij gesloten systemen het laag van een woofer verder door te laten lopen naar beneden. Je kan met een Linkwitz-Transform (LT) de kantel frequentie en Q van een laagafval aanpassen.

Er zijn verschillende calculators/simulators voor Linkwitz-transforms, je geeft de huidige kantel frequentie en Q van je systeem op en de gewenste kantel frequentie en Q, vervolgens kun je hiermee simuleren of worden de biquad coëfficiënten voor een DSP-filter uitgerekend

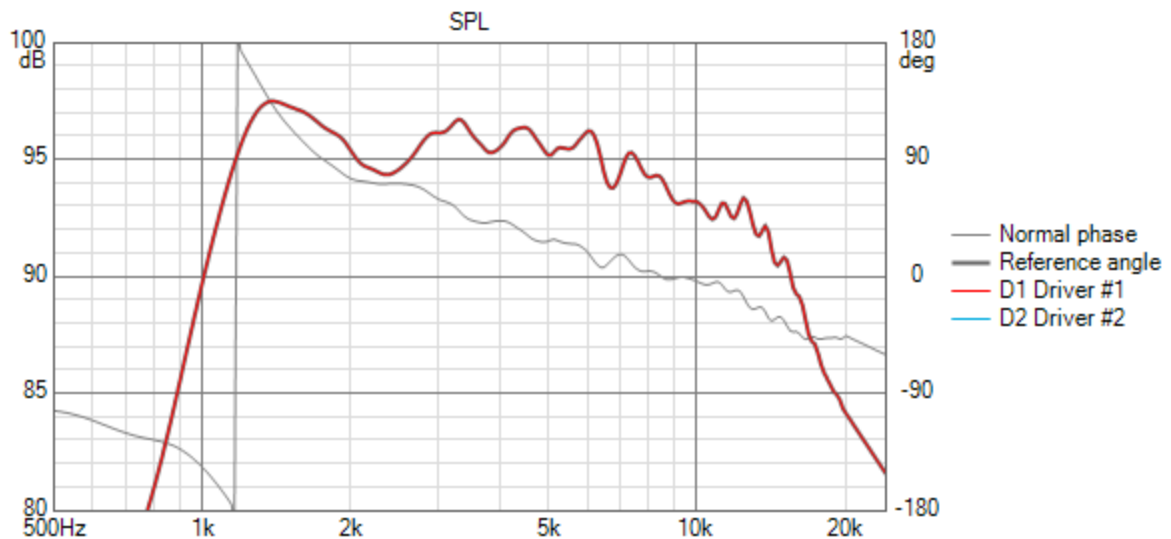
Om het laag verder door te laten lopen wordt de kantel frequentie naar beneden verlegt, maar die kun je ook naar boven verleggen. Dit naar boven verleggen is dus goed bruikbaar om bepaalde target curves te verkrijgen van een hoog doorlaat filter voor een tweeter.

Een LT is het gemakkelijk te implementeren met een DSP en een heel bruikbare techniek om een cross-over filter voor een tweeter mee te maken.

Zal een voorbeeld uitwerken in VituixCAD met de Dayton Audio ND25FW-4 tweeter. Dit is een goedkope tweeter met (kleine) waveguide. Maar het gebruik van een LT is ook met andere tweeters toe te passen. Dayton Audio geeft ook meetgegevens van zijn producten en die gebruik ik hier in dit voorbeeld. Iedereen kan dus met deze openbare gegevens zelf het een en ander naspelen.

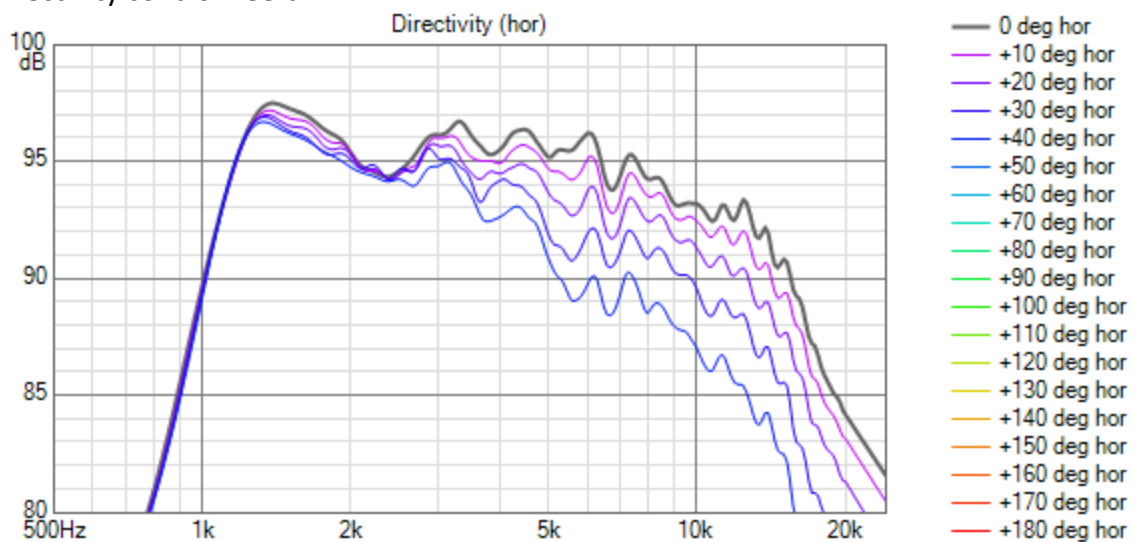
De methode is natuurlijk ook toepasbaar met eigen metingen, maar het gaat hier om een tweeter met waveguide. Deze is wat minder gevoelig voor diffractie effecten, dus zullen de geleverde meetgegevens waarschijnlijk redelijk overeenkomen met daadwerkelijke metingen in een behuizing.

Figuur 1 laat de frequentieresponse van de ND25FW-4 tweeter zien volgens de gegevens van Dayton Audio. Vanwege de waveguide loopt de frequentie response af in het hoog, dit zal met filtering "recht" getrokken moeten worden.



Figuur 1: Frequentie response van de ND25FW-4 tweeter.

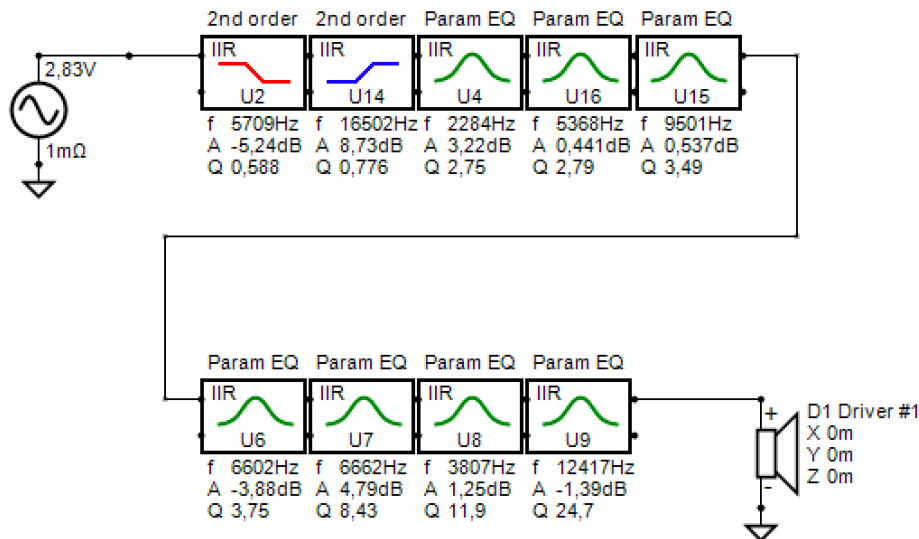
Figuur 2 laat zien dat de tweeter door gebruik van de waveguide een mooie zogenoemde directivity control heeft.



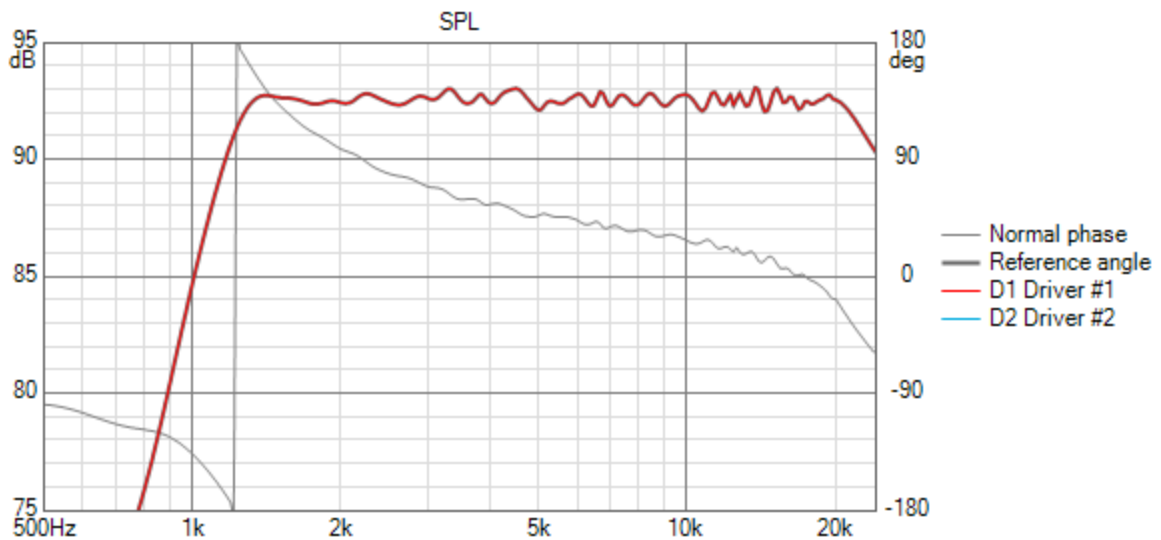
Figuur 2: De frequentie response van de ND25FW-4 tweeter onder verschillende hoeken.

Figuur 3 laat de gebruikte filters zien om de frequentie response vlak te maken van ongeveer 1 kHz tot 20 kHz. Er is een behoorlijke hoeveelheid EQ-secties gebruikt om het zo vlak mogelijk te maken. Nu zijn EQ-secties redelijk “goedkoop” in een DSP en iets minder heftig filteren is zeker een optie, maar voor de duidelijk is er hier voor gekozen om de frequentieresponse behoorlijk vlak te maken.

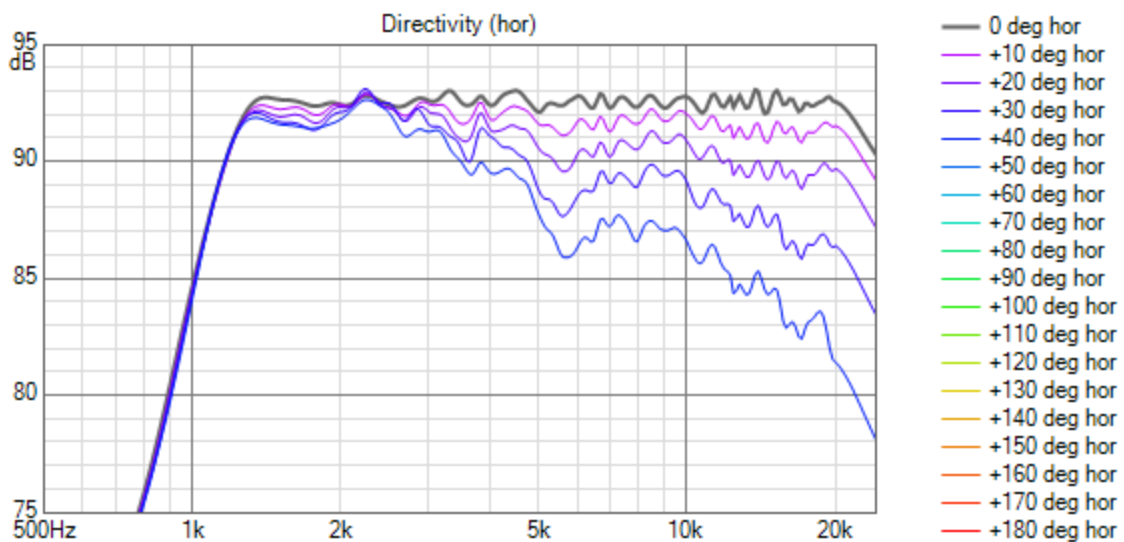
Figuur 4 en Figuur 5 laten zien wat de frequentieresponse is na filtering, on-axis en onder verschillende hoeken.



Figuur 3: De gebruikte filter secties om frequentieresponse vlak te maken.

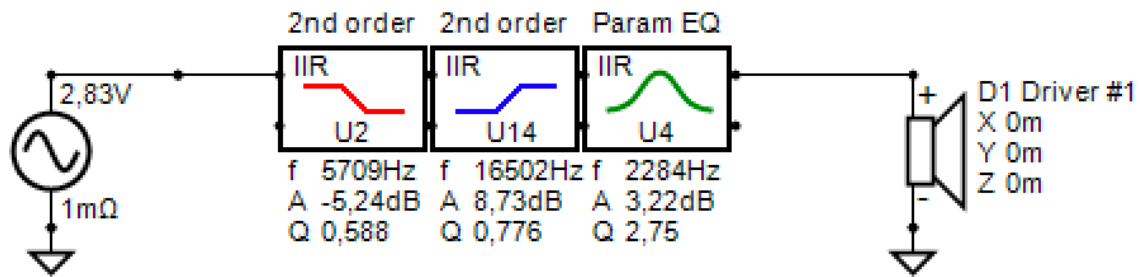


Figuur 4: frequentieresponse na filtering

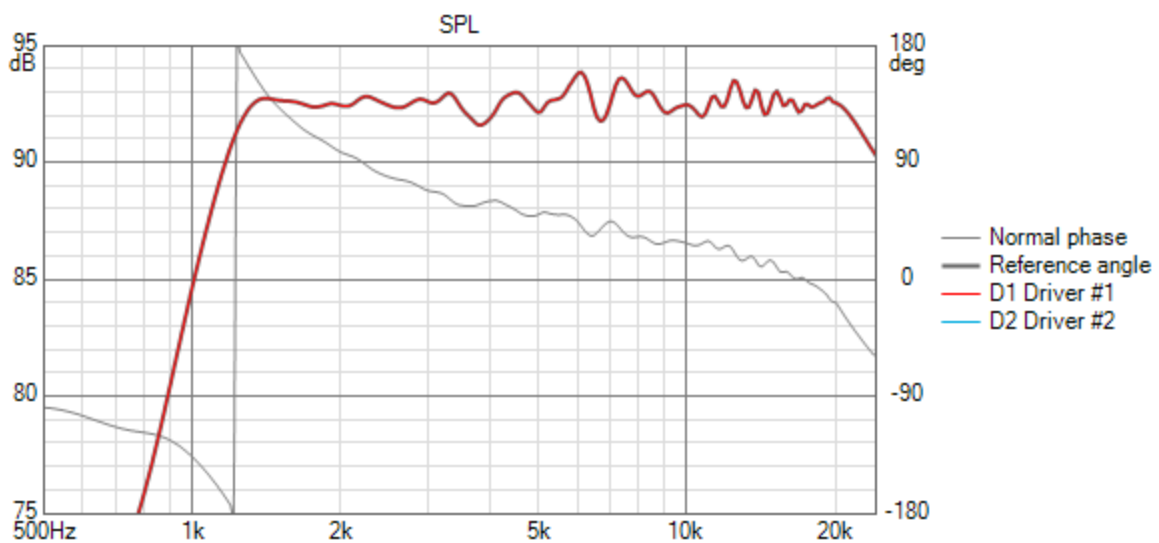


Figuur 5: De frequentieresponses na filtering onder verschillende hoeken.

Mocht je wat minder heftig willen filteren dan laat Figuur 6 een mogelijk beperkter filter zien en Figuur 7 de bijbehorende response.



Figuur 6: Een mogelijke beperktere filtering.



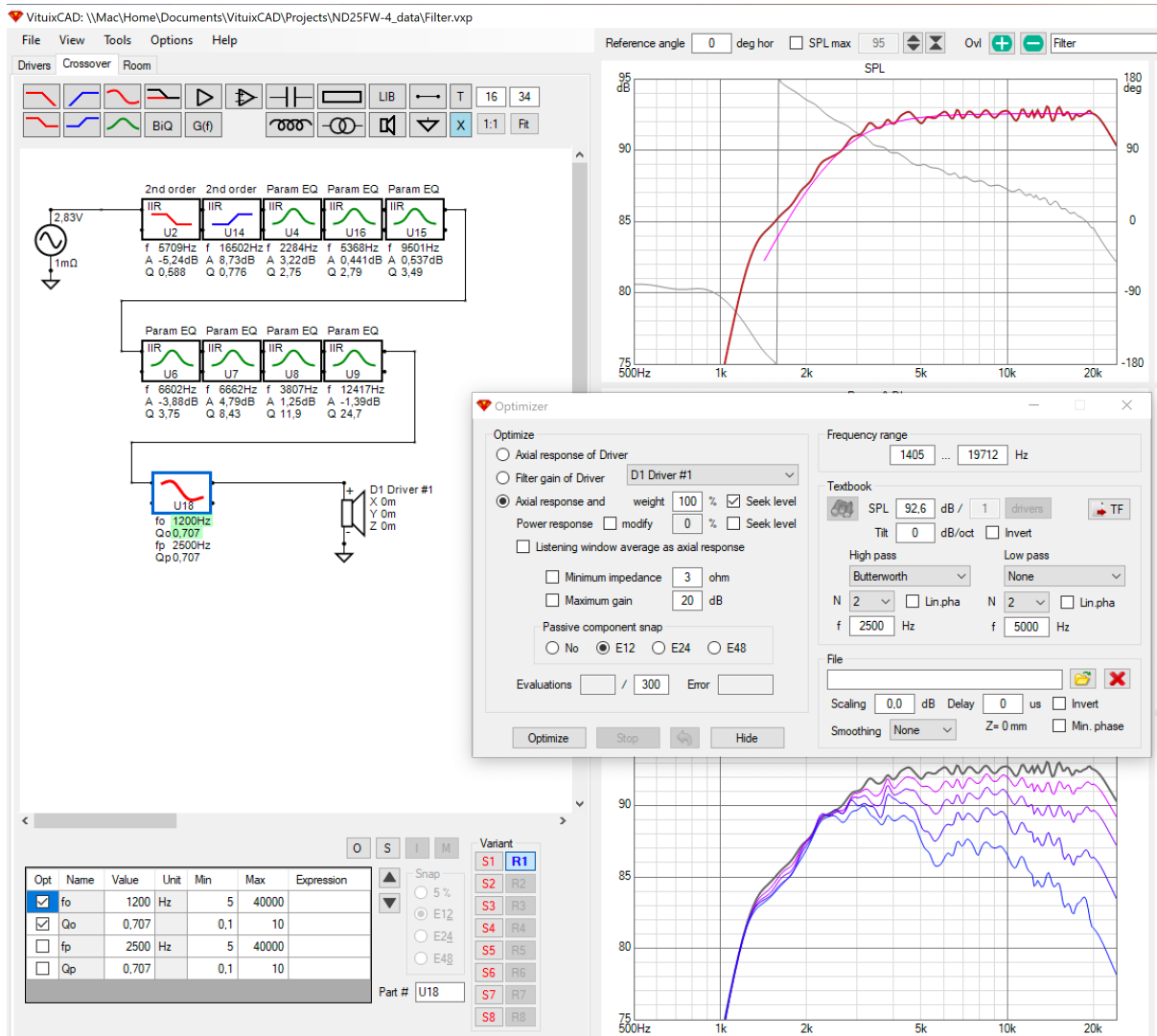
Figuur 7: De frequentieresponse met beperkte filtering.

In dit voorbeeld willen we de tweeter een cross-over frequentie geven van 2500 Hz met een Linkwitz-Riley 24 dB/oct target curve. Het is goed om te realiseren dat een LR-24 feitelijk een cascade is van twee Butterworth 12 dB/oct filters. En dat een Butterworth filter een tweede orde filter is met een Q van 0,707.

We voegen dus een LT toe met initieel een target frequentie (fp) van 2500 Hz en een Qp van 0,707 en zetten de initiële frequentie (fo) op 1350, de Fres van de tweeter. De Qts is niet vermeld, dus zetten we de Qo voor gemak op 0,707.

Figuur 8 laat de initiële instellingen zien, let op dat target SPL goed ingesteld staat in de "Optimizer", in dit geval op 92.6 dB en dat de "High pass" curve is ingesteld op Butterworth met een kantel frequentie van 2500. We zien dat met de initiële instellingen van fo en Qo van de LT, dat we al een redelijke benadering van de target curve hebben.

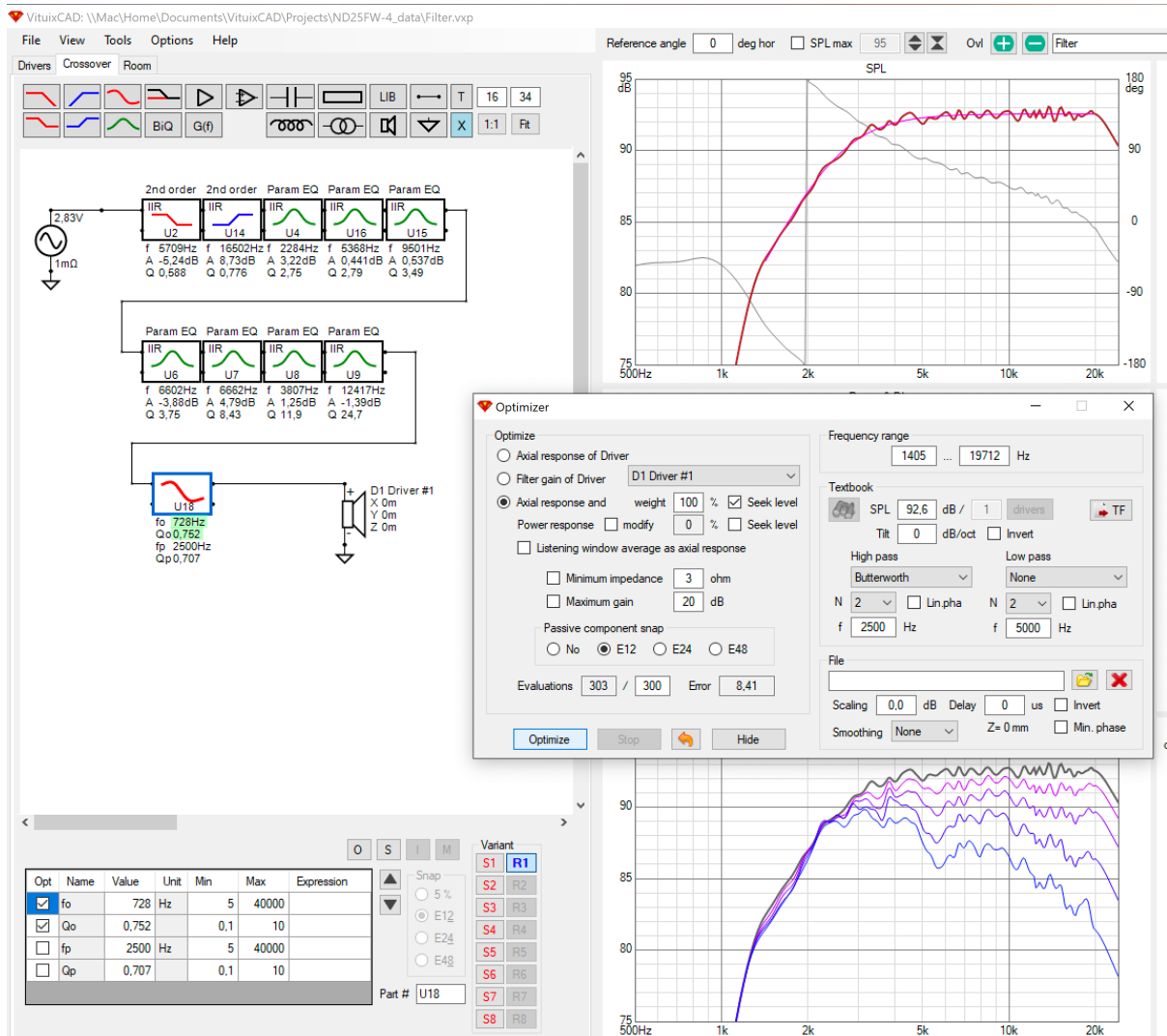
De optimaliseer optie staat aan bij de fo en Qo, dus na klikken op de "Optimize" knop worden die parameters aangepast, zodat de target curve zo goed mogelijk benaderd wordt.



Figuur 8: De initiële instelling van de LT en de "Optimizer".

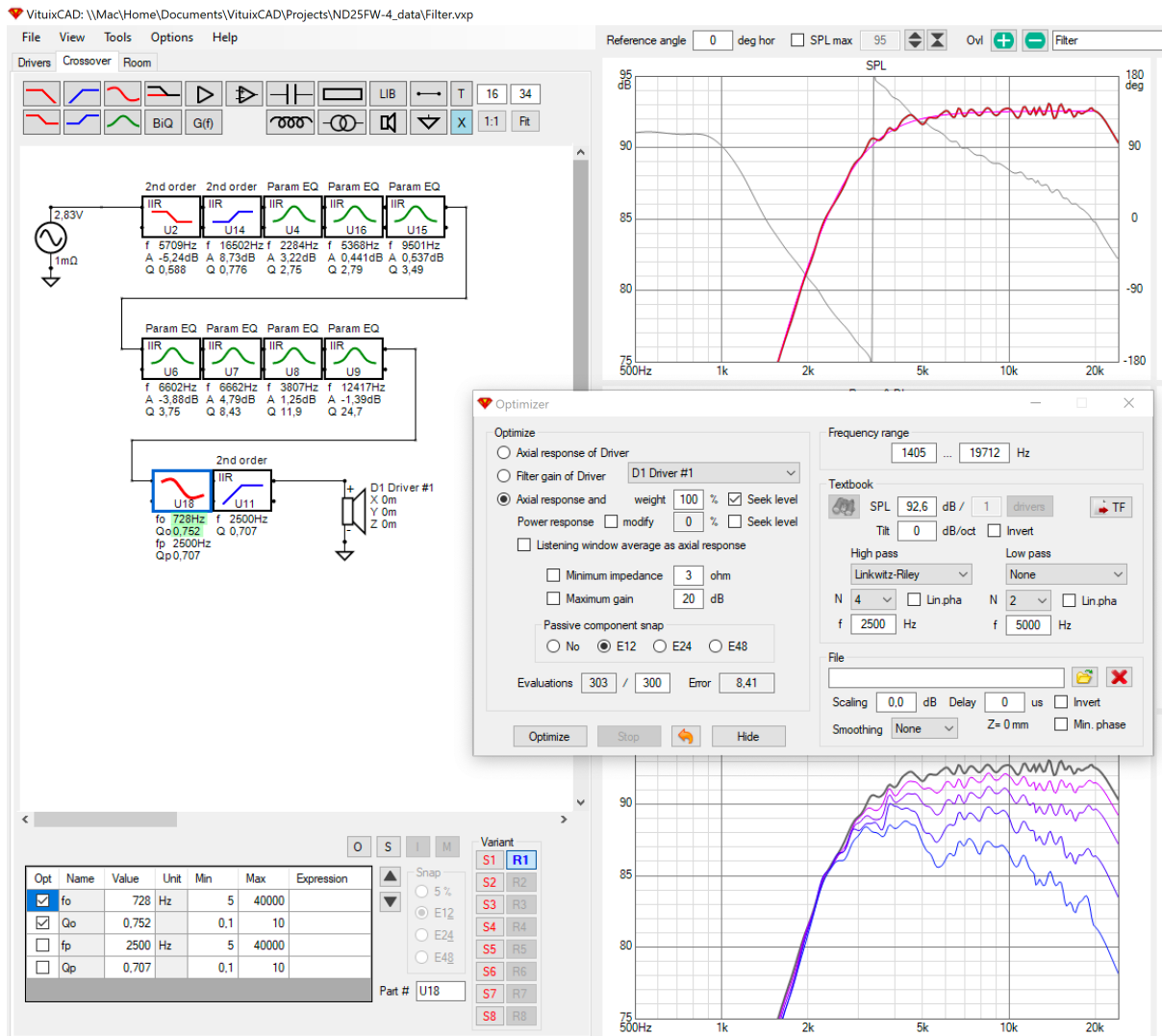
Figuur 9 laat resultaat zien na optimalisatie van de fo en Qo parameter, de target curve wordt nu al heel goed benaderd.

Let wel op dat je de target curve niet te laag in frequentie laat beginnen. Anders geeft de optimalisatie te veel aandacht aan het matchen van de curve daar, terwijl de SPL-output laag is en totaal effect klein. Het goed matchen van de curve laag in de frequentie kan ten kosten gaan van andere meer belangrijke gebieden. In dit geval begint de target curve ergens tussen de 1100-1200 Hz.



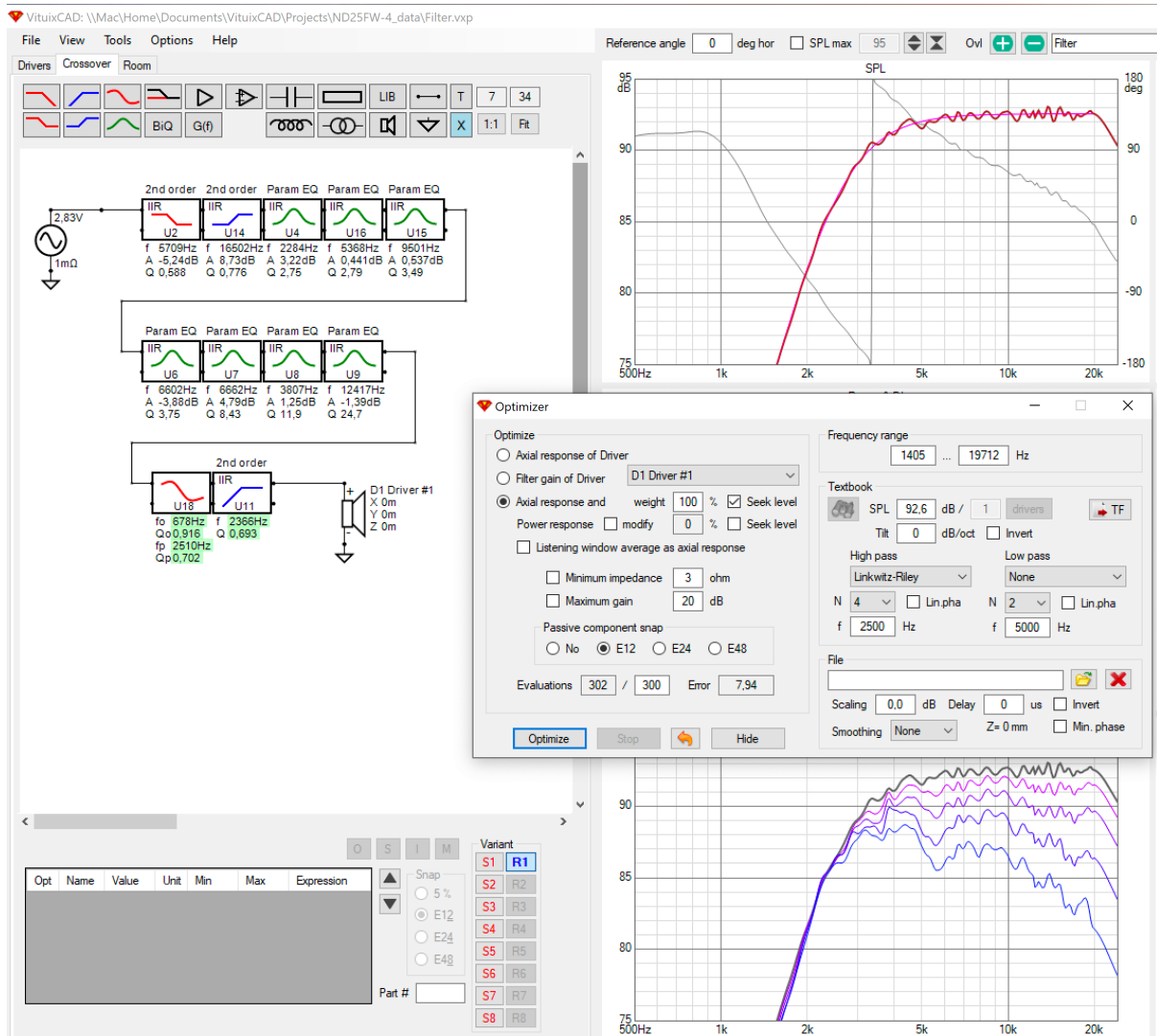
Figuur 9: Resultaat na optimaliseren van de f_o en Q_o parameter.

In Figuur 10 is nu een tweede orde hoog doorlaat filter toegevoegd, met $f = 2500$ Hz en $Q = 0,707$. De target curve is nu een 4^e orde LR filter en de curve wordt gelijk al goed benaderd vanwege de vorige stap.



Figuur 10: Een tweede orde filter met Q 0,707 is toegevoegd en target curve is nu een vierde orde LR.

Figuur 11 laat resultaat zien nadat er meer parameters aangezet zijn om te optimaliseren en deze stap ook is uitgevoerd. Verschil met resultaat uit Figuur 10 is klein maar de gemeten error van de afwijking van de curve is iets kleiner geworden.

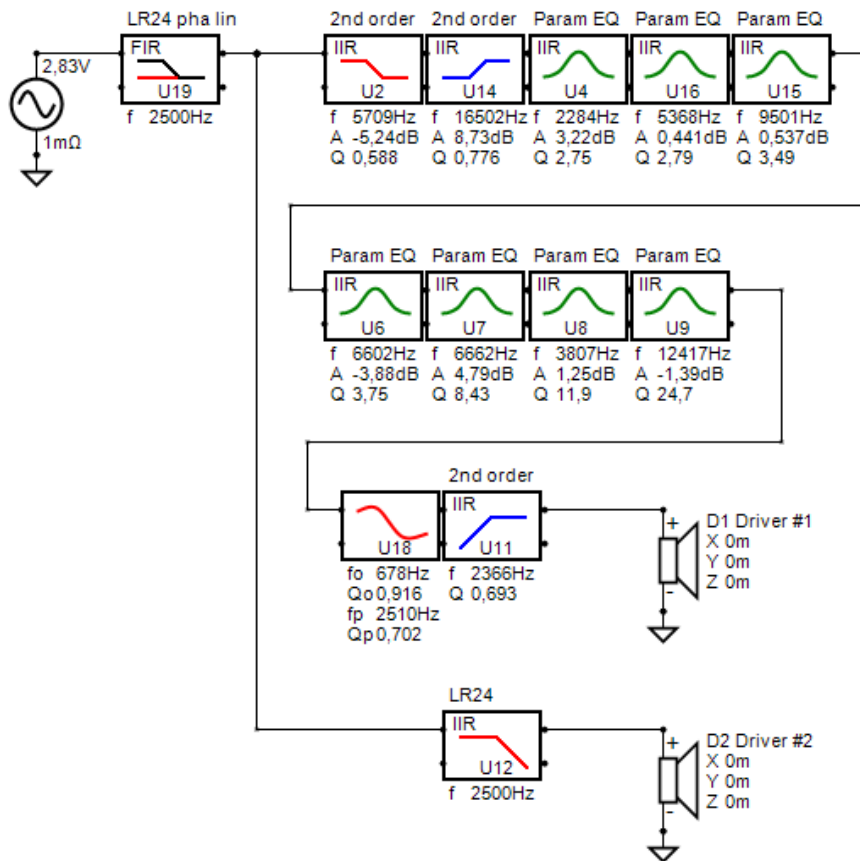


Figuur 11: Wat extra parameters zijn aangezet om te optimaliseren deze zijn in groen aangegeven door VituixCAD..

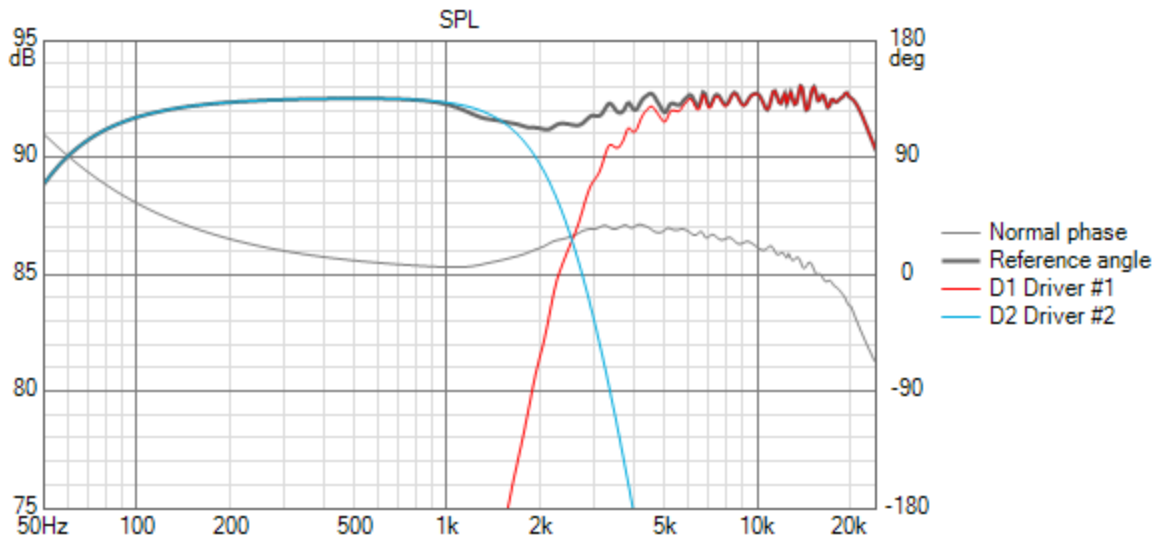
Om te verifiëren of filter inderdaad goed is, wordt een mid-woofer driver toegevoegd met een 4^e orde LR laag doorlaat filter. Het gebruikte model is ontleend aan een Dayton Audio RS180-4 driver. Echter is deze wat geïdealiseerd, zodat er niet allemaal rimpelingen zijn in de frequentieresponse die de aandacht afleiden.

Het globale fase verloop en laag afval komen wel overeen met de echte akoestische output. Zie het model als een daadwerkelijke meting waarbij flinke smoothing is toegepast. Dit soort modellen zijn fijn om filter opzetten mee te verifiëren. Zoals gezegd word je niet afgeleid door allerlei rimpelingen in frequentieresponse, maar heb je wel rekening te houden met het fase verloop van de driver.

In Figuur 12 is het schema van het filter te zien, er is een fase linearisatie stap met FIR-filter toegevoegd om fase terug te draaien, hierdoor is het fase verloop tussen de twee drivers beter te zien en te beoordelen.



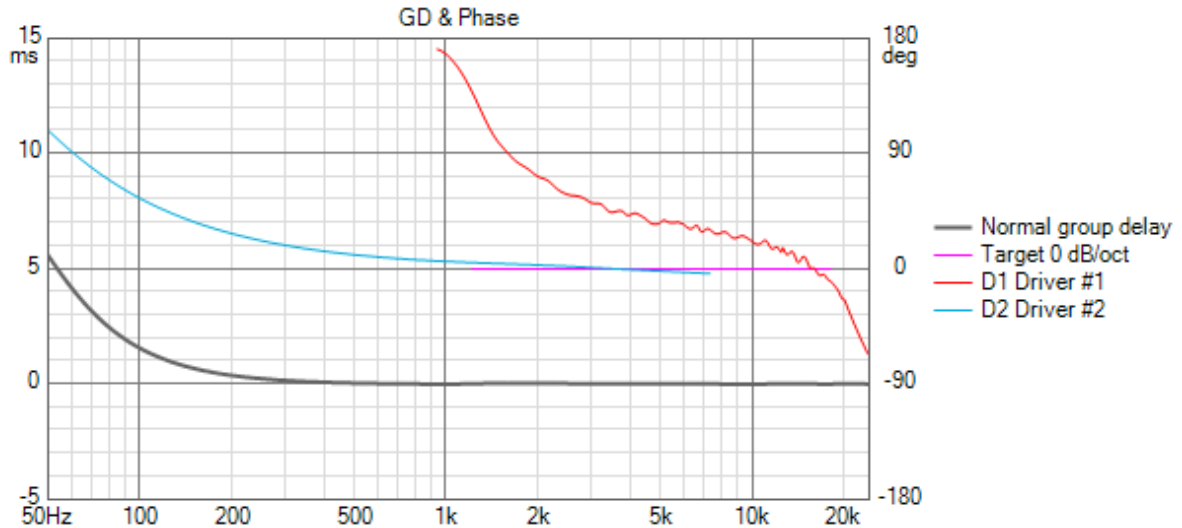
Figuur 12: Filter met mid-woofer en laagdoorlaat filter, plus fase linearisatie.



Figuur 13: De frequentie response van woofer met tweeter.

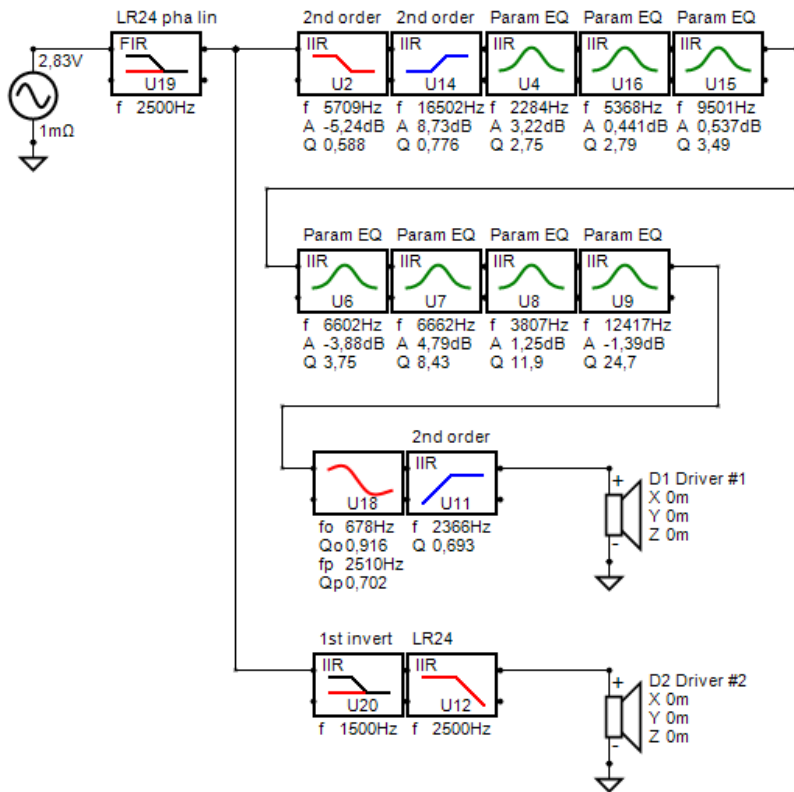
Figuur 13 laat frequentie response zien als de mid-woofer toegevoegd is. In overname gebied is een kleine dip te zien, de sommatie was toch niet helemaal optimaal. Als we kijken naar fase verloop van de drivers onderling in Figuur 14 is ook duidelijk waarom dat zo is.

Bij de overname frequentie is faseverschil tussen de drivers ongeveer 55 graden. Ondanks dit forse verschil in fase, is de dip in frequentie response maar ongeveer 1,5 dB. Dit komt omdat het fase verloop van de beide filter helften elektrisch hetzelfde is. Het elektrische faseverschil tussen de twee filters is dus altijd 0 graden.



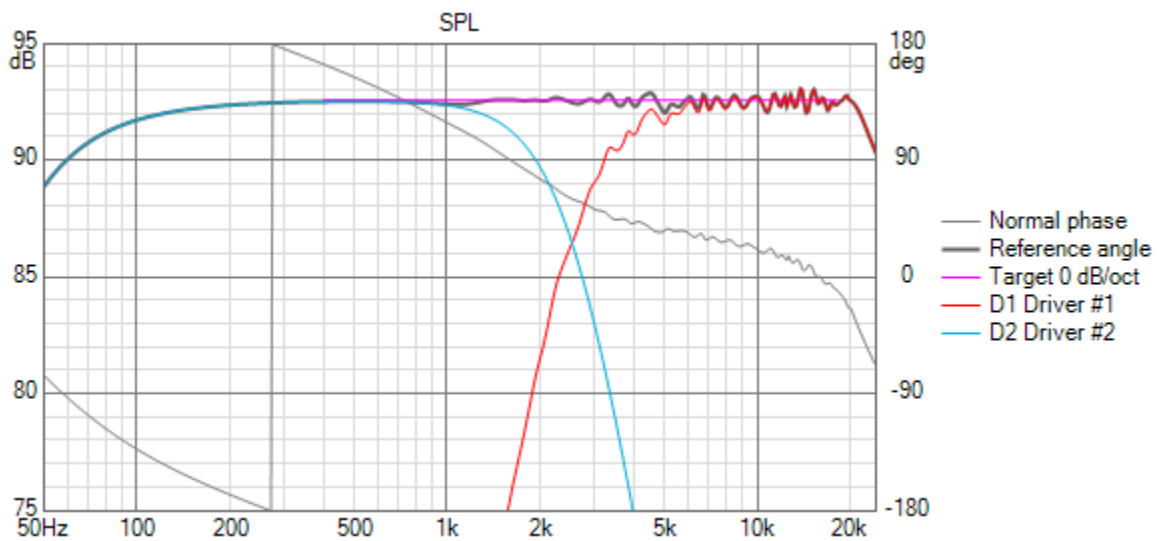
Figuur 14: In blauw het fase verloop van de mid-woofer en in rood van de tweeter.

We zouden met een FIR filter de fase van de tweeter terug kunnen draaien naar die van de woofer, echter zou een FIR-filter altijd latency introduceren, wat niet altijd gewenst is. Het FIR-filter aan de ingang is puur optioneel, zodat het verloop van de fase beter te zien is. Je kan het toevoegen als de gebruikte DSP-oplossing FIR filters ondersteunt, maar het hoeft niet.



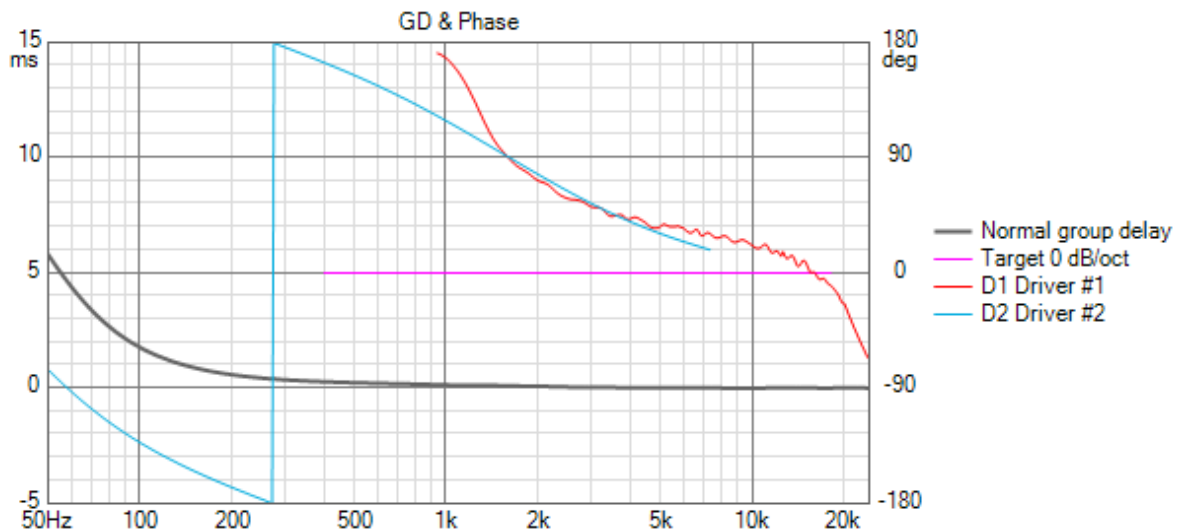
Figuur 15: Een eerste orde all-pass filter is toegevoegd.

Een andere oplossing is het toevoegen van een all-pass filter om de fase van de woofer meer in lijn met de tweeter te brengen, dit is te zien in Figuur 15. In Figuur 16 is te zien dat dan de dip verdwenen is en de sommatie beter verloopt.



Figuur 16: De frequentieresponse na toevoeging van het all-pass filter

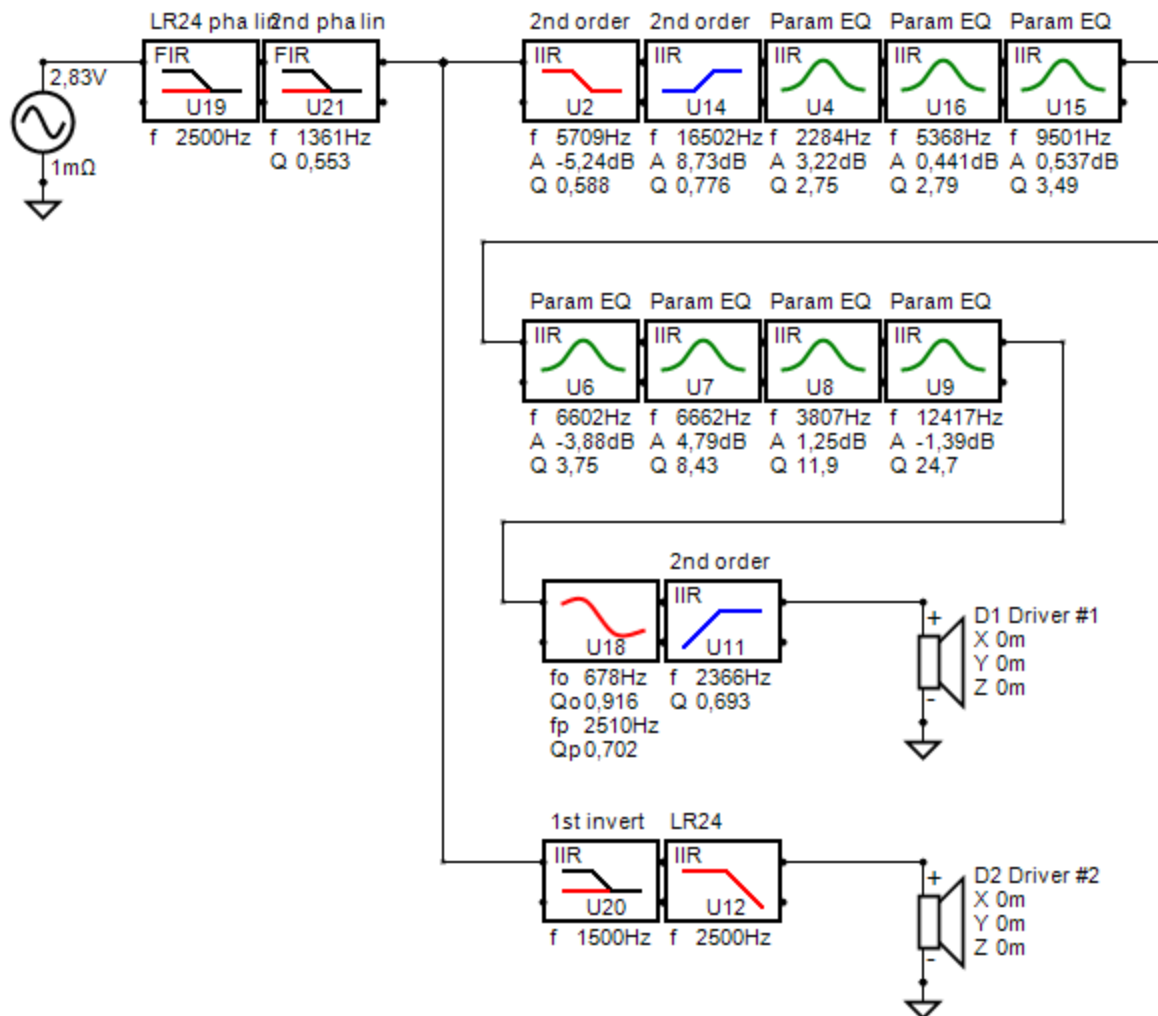
Figuur 17 laat zien dat door gebruik van all-pass filter de fase van de woofer in overname gebied goed in de buurt bij die van de tweeter blijft.



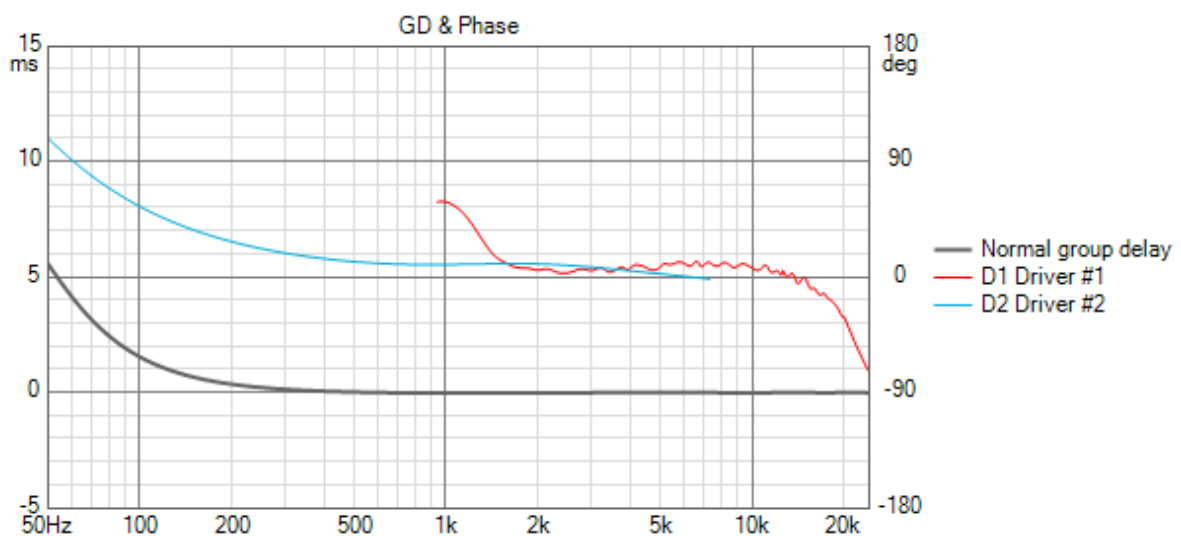
Figuur 17: De fase van de woofer en tweeter zijn in cross-over gebied dicht bij elkaar.

Mocht je een FIR-filter willen toepassen, om de fase te lineariseren, dan is het fase verloop van de all-pass ook weer terug te draaien. Voordeel van een FIR filter aan de ingang is dat die als er geen latency gewenst is overgeslagen kan worden.

Figuur 18 laat schema zien met de extra fase linearisatie, en in Figuur 19 is effect te zien op de fase en group delay.



Figuur 18: Schema met extra fase linearisatie



Figuur 19: het fase verloop en group delay met de extra fase linearisatie.