

## De invloed van de uitgangsimpedantie op een passief wisselfilter

Auteur: Dr. Hans R.E. van Maanen (Temporal Coherence)

Datum van uitgifte: 5 februari 2012

Bij de discussie over de voor- en nadelen van buizenversterkers wordt vaak ook de hogere uitgangsimpedantie van buizenversterkers betrokken. In het algemeen hebben buizenversterkers een hogere uitgangsimpedantie dan transistorversterkers en daardoor een lagere dempingsfactor:

$$De = \frac{Z_l}{Z_u}$$

waarin

$De$  = Dempingsfactor

$Z_l$  = (Nominale) impedantie van de luidspreker  $\Omega$

$Z_u$  = Uitgangsimpedantie van de versterker  $\Omega$

Een vaak genoemd nadeel van een lage dempingsfactor is dat kleuring ontstaat omdat de impedantie van de luidspreker(box) geen constante is, maar nogal sterke fluctuaties vertoont. Vooral de resonanties in het laag (van de woofer zelf en -bij gebruik van het basreflexprincipe- van de poort) worden vaak genoemd omdat deze dan aanleiding geven tot extra laag, maar met een wat "boemerig" karakter omdat de versterker minder controle heeft over de gedragingen van de woofer. Echter zien we ook vaak "bulten" in de impedantie karakteristiek rond de wisselfrequenties tussen woofer en squawker en de wisselfrequentie van squawker en tweeter. Die ontstaan omdat de spoelinductie van de luidsprekerunit, die de lagere frequenties weergeeft, de impedantie doet oplopen richting de wisselfrequentie en de resonantie van de luidspreker, die de hogere frequenties weergeeft, evenzo. Dit geeft dan eveneens aanleiding tot kleuring. Beide verschijnselen zijn goed te zien in fig. 1, waarin de gemeten impedantie van een passief gewisselde bas-reflex luidsprekerbox staat getekend. De poortresonantie bij ca. 23 Hz en de wooferresonantie bij ca. 60 Hz zijn overduidelijk te zien, evenals de "bulten" rond de wisseling tussen woofer en squawker (bij ca. 500 Hz) en de wisseling tussen de squawker en tweeter (bij ca. 3500 Hz).

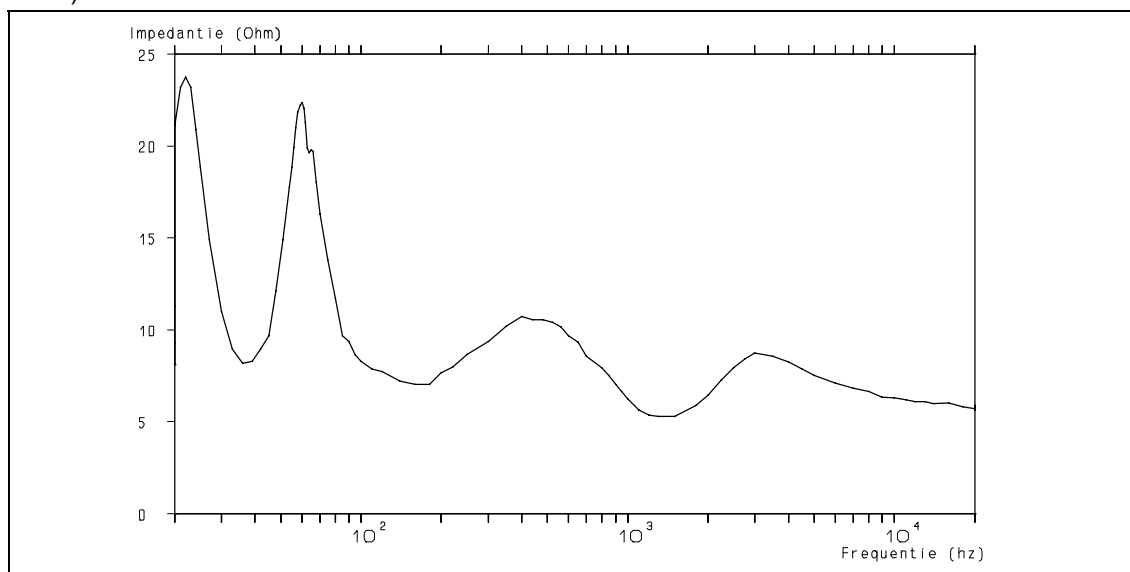


Figure 1: Impedantie zoals gemeten van een passief gewisselde 3-weg bas-reflex luidsprekerbox.

Maar een effect dat evenzeer een rol speelt wordt vrijwel nooit genoemd: de uitgangsimpedantie van de versterker heeft ook invloed op de tijdconstanten van het wisselfilter. En die invloed werkt op

een laagdoorlaatfilter precies de andere kant uit dan voor een hoogdoorlaatfilter. In een eenvoudig voorbeeld: bij een lage dempingsfactor begint de tweeter al bij lagere frequenties "in te komen" en de woofer blijft tot hogere frequenties weergeven, waardoor er rond de overname meer geluidsdruk wordt geproduceerd dan bij een hoge dempingsfactor. Dit effect komt dus bovenop de toename door de hogere impedantie. Maar om de gedachten te bepalen kunnen we een simpel voorbeeld doorrekenen. We nemen een tweeweg systeem met eerste orde filtering. We veronderstellen de luidsprekers als ideaal, zowel wat hun impedantiegedrag, dat voor beide units zuiver Ohms en gelijk aan elkaar is, als hun frequentie karakteristiek. Als we dan de tijdconstanten van het laag- en hoogdoorlaatfilter (LDL en HDL) hetzelfde kiezen krijgen we bij een zeer hoge dempingsfactor een perfect systeem. Dit volgt uit de volgende formules:

$$\tau_w = \frac{L}{R_w} \quad \tau_t = R_t C \quad \tau_w = \tau_t = \tau$$

$$LDL = \frac{1}{1 + j\omega\tau} \quad HDL = \frac{j\omega\tau}{1 + j\omega\tau}$$

$$LDL + HDL = \frac{1}{1 + j\omega\tau} + \frac{j\omega\tau}{1 + j\omega\tau} = \frac{1 + j\omega\tau}{1 + j\omega\tau} = 1$$

waarin:

$\tau_w$	=	Tijdconstante van filter voor de woofer	s
$L$	=	Zelfinductie van de woofer filterspoel	H
$R_w$	=	(Ohmse) impedantie van de woofer	$\Omega$
$\tau_t$	=	Tijdconstante van filter voor de tweeter	s
$R_t$	=	(Ohmse) impedantie van de tweeter	$\Omega$
$C$	=	Capaciteit van de tweeter filter condensator	F
$j$	=	Imaginaire operator ( $j^2 = -1$ )	
$\omega$	=	Hoekfrequentie (= $2\pi$ -frequentie)	rad/s

Als nu echter de uitgangsimpedantie van de versterker niet nul is, maar een zekere waarde  $R_u$  heeft verandert er wat:

$$LDL = \frac{R_w}{R_u + j\omega L + R_w} = \left( \frac{R_w}{R_u + R_w} \right) \left( \frac{1}{1 + j\omega \left( \frac{L}{R_u + R_w} \right)} \right)$$

$$HDL = \frac{R_t}{R_u + \frac{1}{j\omega C} + R_t} = \frac{j\omega R_t C}{1 + j\omega(R_u + R_t)C} = \left( \frac{R_t}{R_u + R_t} \right) \left( \frac{j\omega(R_u + R_t)C}{1 + j\omega(R_u + R_t)C} \right)$$

We zien nu dat de tijdconstanten in beide takken van het filter gewijzigd zijn. Als we de aannamen gebruiken dat de luidsprekerunits zuivere weerstanden zijn en dat  $R_w = R_t$  kunnen we de volgende substitutie gebruiken:

$$k = \frac{R_w}{R_u + R_w} = \frac{R_t}{R_u + R_t} \quad (< 1)$$

dan volgt:

$$LDL = k \left( \frac{1}{1 + j\omega k\tau} \right) \quad HDL = k \left( \frac{j\omega \frac{\tau}{k}}{1 + j\omega \frac{\tau}{k}} \right)$$

We zien dat in dit geval de woofer tot hogere frequenties doorloopt en de tweeter al bij lagere frequenties begint. Dit heeft uiteraard consequenties voor het somsignaal:

$$LDL + HDL = k \left( \frac{1}{1 + j\omega k\tau} + \frac{j\omega \frac{\tau}{k}}{1 + j\omega \frac{\tau}{k}} \right) = k \left( \frac{1 + j\omega \frac{2\tau}{k} - \omega^2 \tau^2}{1 + j\omega \left( k\tau + \frac{\tau}{k} \right) - \omega^2 \tau^2} \right)$$

Kijken we nu naar de verhouding tussen de overdracht bij lage en hoge frequenties in relatie tot de overdracht rond de overnamefrequentie (waar  $\omega^2 \tau^2 = 1$ ) dan zien wij dat deze gelijk is aan:

$$\frac{\frac{2}{k}}{k + \frac{1}{k}} = \frac{2}{1 + k^2}$$

Als  $k = 1$  (ideale spanningsbron met uitgangsimpedantie 0) treedt er geen toename op rond de overnamefrequentie, maar als  $k = 0.8$  (uitgangsimpedantie is  $\frac{1}{4}$  van de luidsprekerimpedantie) is er een toename van 1.72 dB. Bij een dempingsfactor van 2 wordt de toename al 2.83 dB. Het is evident dat dit soort effecten bij "High-End" systemen hoorbaar worden, nog afgezien van de fasefouten die extra geïntroduceerd worden.

Geconcludeerd mag worden dat een niet-verwaarloosbare uitgangsimpedantie van de versterker zijn invloed laat gelden op de eigenschappen en de gehoormatige bevindingen van een (passief gewisselde) luidsprekerbox. Dit betreft niet alleen de kleuring in het laag en het "boemerige" gedrag door de verminderde controle, maar ook rond de wisselfrequenties kan kleuring op gaan treden en het fase- en daarmee het tijdgedrag worden veranderd. Eigenlijk zou een luidsprekerfabrikant bij zijn luidsprekers een dempingsfactor moeten specificeren of een aanpassing aan de dempingsfactor voor de gebruiker mogelijk moeten maken.

De hier besproken problematiek is één van de vele redenen waarom "Temporal Coherence" systemen met actieve scheidingsfilters zijn uitgerust. Maar daarvoor zijn nog veel meer goede redenen, zoals uitgebreid beschreven in "The Advantages of "Active" Audio Systems over "Passive" Systems" (6 juni 2006) door Dr. Hans R.E. van Maanen, dat kan worden gevonden op [www.temporalcoherence.nl](http://www.temporalcoherence.nl) naast nog meer interessante artikelen.