

De stroom door bas-reflex luidsprekers met tone-burst signalen of

Waarom bas-reflex luidsprekers geen sympathieke belasting voor de versterker zijn

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

Datum van uitgifte: 27 Februari 2018

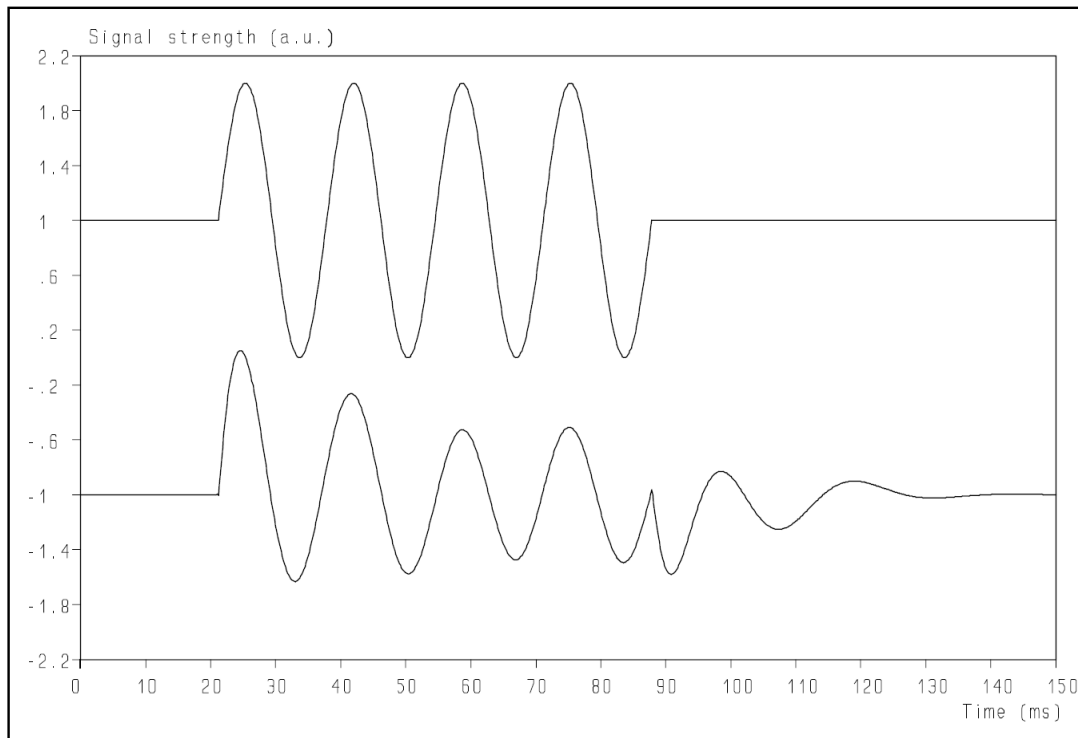
Veel mensen kijken naar de specificaties van luidsprekers om hun kwaliteit te beoordelen, waarbij de frequentiekaracteristiek als erg belangrijk wordt gezien. Daarnaast willen veel mensen compacte luidsprekers i.v.m. de ruimte thuis. Het gevolg is dat veel fabrikanten en ontwerpers hun toevlucht hebben gezocht in het bas-reflex concept: uit een relatief kleine behuizing komen veel lage tonen, waardoor de frequentiekaracteristiek er mooi uitziet. Maar er is een fundamentele behoudswet in de Natuurkunde: de wet van behoud van ellende. Deze slaat ook hier onmiddellijk toe, want een bas-reflex luidspreker heeft een aantal nadelen, die we hier voor het voetlicht zullen brengen.

De belangrijkste reden van de -op papier- indrukwekkende laagweergave van bas-reflex luidsprekers is het gebruik van twee resonanties: die van de woofer en die van de poort. Met continue sinussen ontstaat dan een mooie frequentiekaracteristiek, maar jammer genoeg voor de ontwerpers bestaat muziek maar weinig uit continue sinussen. Een belangrijke eigenschap van muziek is juist het dynamische karakter (denk aan de aanslagen van de concertvleugel, de klappen op pauken en drums, etc.). De vraag is dan of de bas-reflex luidspreker het dan nog steeds zo goed doet. Het antwoord is, helaas, nee: de resonanties hebben tijd nodig om op gang te komen en hebben tijd nodig om weer tot rust te komen. Het resultaat is een “traag” en “wollig” laag, dat zich duidelijker manifesteert naarmate kast groter is en (dus) de resonantiefrequenties lager liggen.

Een veelgehoord tegenargument is: “maar mijn versterker heeft een hele hoge dempingsfactor”. Hoewel dit natuurlijk helpt, kan dit de nadelige effecten van de resonanties maar beperkt onderdrukken, omdat de weerstand van de spreekspoel niet nul is, maar een significante waarde heeft, die toch al gauw in de orde van 65% van de nominale impedantie ligt. En dan laten we voor het gemak de weerstand van de filterspoel en de luidsprekerkabel nog maar even buiten beschouwing. Kortom, het helpt wel, maar het is veruit onvoldoende. We zullen hier straks nog op terug komen.

Maar er zit nog een ander probleem gekoppeld aan het bas-reflex concept: de stroom die de versterker aan de luidspreker moet leveren verschilt nogal van de aangelegde spanning en ook daar zit een sterke tijdsafhankelijkheid in bij dynamische signalen, bijv. tone-bursts, zoals in fig. 1 is te zien. Het bovenste spoor is de aangelegde spanning van een tone-burst van 60 Hz, die een scherp begrensd begin en een scherp begrensd einde heeft. Hoewel natuurlijk nog steeds sterk verschillend van muziek heeft het een duidelijk meer dynamisch karakter dan continue sinussen. Dat de stroom, die een dergelijk signaal opwekt, sterk verschilt van de aangelegde spanning is duidelijk door het vergelijken van het onderste met het bovenste spoor. De vraag is alleen: valt dit te begrijpen?

Als we de twee signalen in ogenschouw nemen vallen een paar zaken onmiddellijk op: bij de start is de stroom duidelijk het grootst. Dit wordt veroorzaakt doordat de resonanties “op gang” moeten komen en dus meer energie vergen dan als ze eenmaal op gang gekomen zijn. Dat de amplitude niet nog groter is geworden wordt veroorzaakt door de weerstand van de spreekspoel, die de stroom beperkt houdt. Dit effect geeft ook in dit stadium al aan dat de dempingsfactor maar beperkte invloed heeft. Maar dat zal verderop nog duidelijker worden.



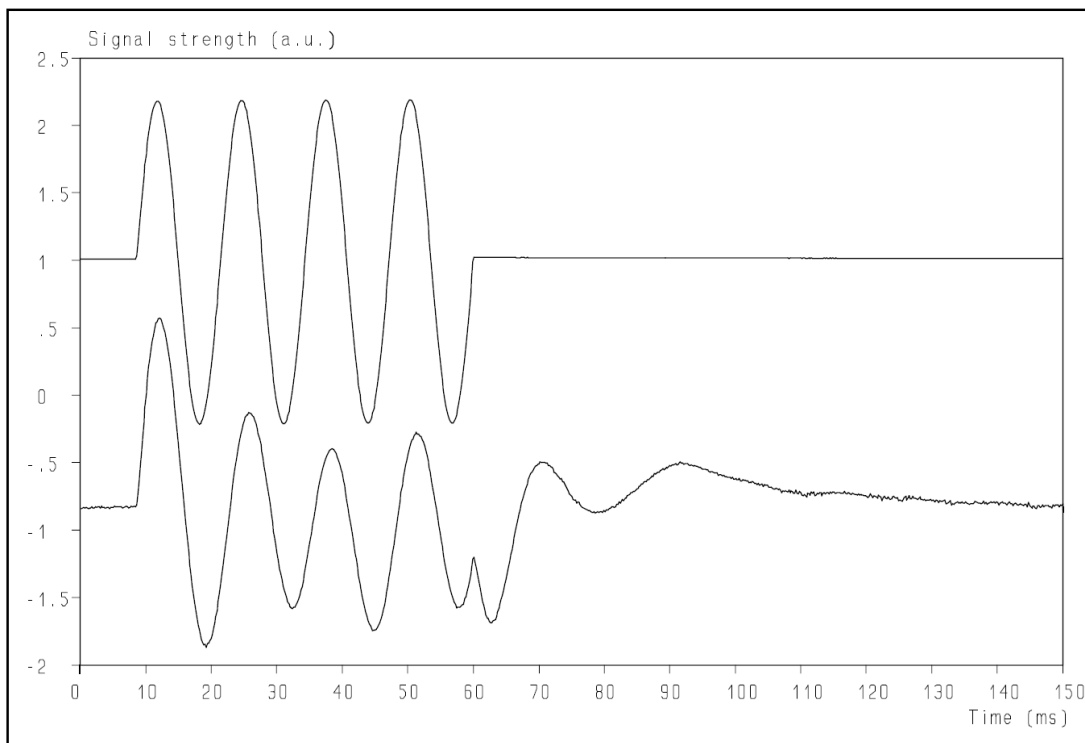
Figuur 1: *Berekende stroom door de bas-reflex luidspreker bij een aangelegde spanning zoals aangegeven door het bovenste spoor met een frequentie van 60 Hz. Het onderste spoor geeft de stroom door de luidspreker weer. Nadere uitleg en toelichting in de tekst.*

Vanaf de derde periode wordt de amplitude min of meer constant, maar aan het einde van de tone-burst komt er een scherpe knik in het signaal van de stroom. Dit wordt veroorzaakt door de energie, die in de resonanties is opgeslagen, teruggevoerd wordt naar de versterker, waardoor de richting van de stroom omkeert. Het uitdempen na de scherpe knik is evident en ook dit betekent dat de dempingsfactor van de versterker maar beperkt effectief is: in de berekening is deze nl. “oneindig” genomen, waardoor de energie van de resonanties maar geleidelijk kan worden afgevoerd en het geluid tijd nog geruime tijd door blijft gaan.

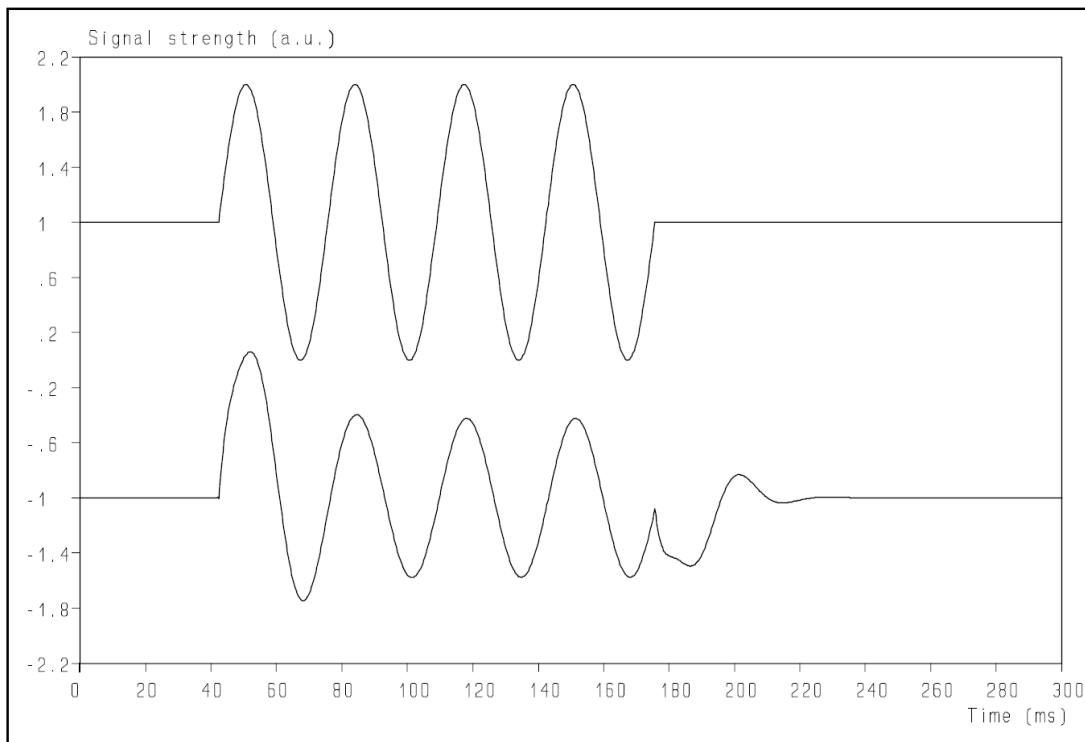
Een eenvoudige analogie kan e.e.a. wellicht verder verduidelijken. Om een auto in beweging te krijgen is vermogen nodig: hoe sneller deze op gang moet komen, des te meer energie is vereist. Maar het motorvermogen is beperkt, dus dit kan niet instantaan, evenmin als het opvoeren van de stroom door de luidspreker: zijn eigen weerstand stelt hier grenzen aan. Als de kruissnelheid eenmaal bereikt is, kan het motorvermogen teruglopen, omdat dan alleen nog de verliezen (rol- en luchtweerstand) gecompenseerd hoeven te worden. Als de auto weer tot stilstand moet komen, kan dat door de auto “uit te laten lopen” (dus alleen de verliezen het afrem-werk te laten doen door te ontkoppelen of de versnelling in z'n 'vrij' te zetten) of door te remmen. Het is duidelijk dat met remmen de auto eerder (en over een kortere afstand) tot stilstand komt dan met alleen uitrollen. Maar ook de remkracht is beperkt, dus ook de auto staat niet meteen stil: de bewegingsenergie moet afgevoerd worden. Dus zelfs met “vol in de remmen” is er tijd en afstand nodig. Het “op gang” komen van de resonanties en van de auto zijn begrensd, bij het remmen is er ook een begrenzing en bij de luidspreker is dat de mate, waarin de stroom teruggevoerd kan worden, de versterker in. Ook nu wordt deze weer door de weerstand van de spreekspoel gelimiteerd. De dempingsfactor is dus beperkt qua invloed, maar het moge duidelijk zijn dat versterkers waarvan de uitgangsimpedantie een significante fractie van de weerstand van de luidspreker is (zeg 1 Ω

of meer) dit wel van invloed begint te worden. Bij deze waarden van de uitgangsimpedantie wordt het “remmen” merkbaar minder en worden de nadelen van de resonanties sterker benadrukt. Een manier om hier paal en perk aan te stellen is het gebruik van impedantiecompensatie, iets dat echter vrijwel nooit gebeurt en zeker voor bas-reflex ontwerpen niet simpel te doen (maar wel mogelijk) is.

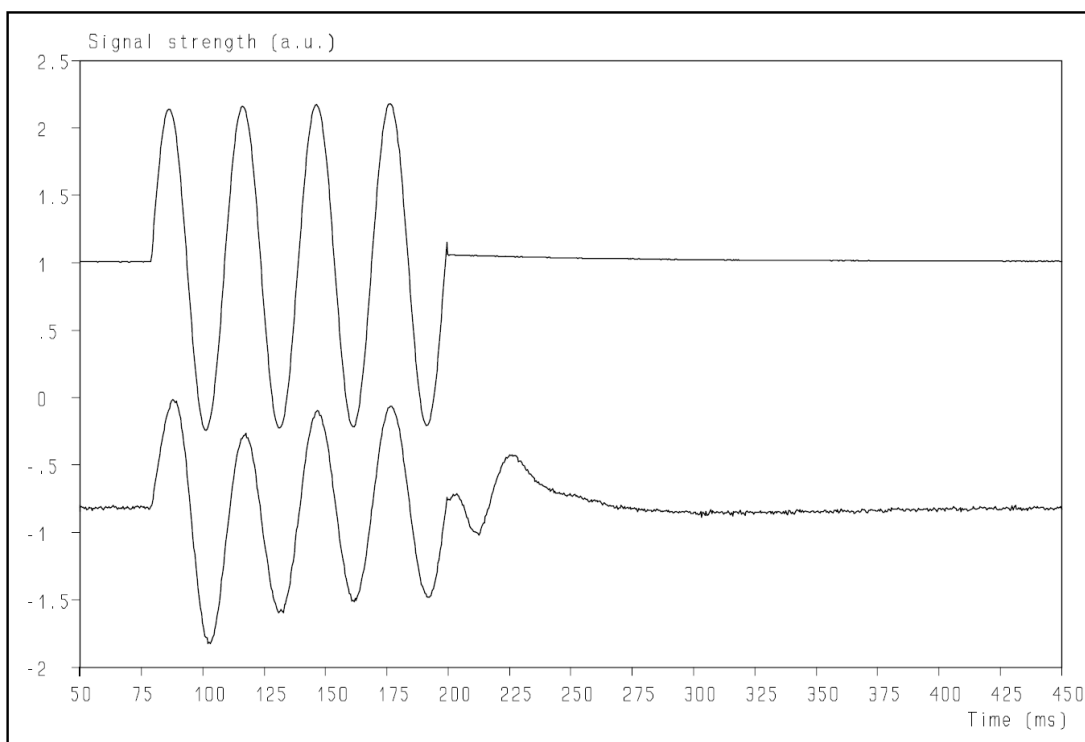
Nu is de vraag echter of de berekeningen voldoende met de realiteit overeenstemmen om dit soort conclusies te mogen trekken. Daartoe zijn metingen gedaan aan een bas-reflex luidspreker, waarvan de eigenschappen redelijk overeenstemmen met die van de berekeningen (maar zeker niet identiek zijn, zo liggen de resonantiefrequenties wel in de buurt van elkaar, maar zijn niet gelijk). De resultaten van nog aanvullende berekeningen en de bijpassende metingen staan in de figuren 2 – 6. De omstandigheden worden in de onderschriften nader gespecificeerd.



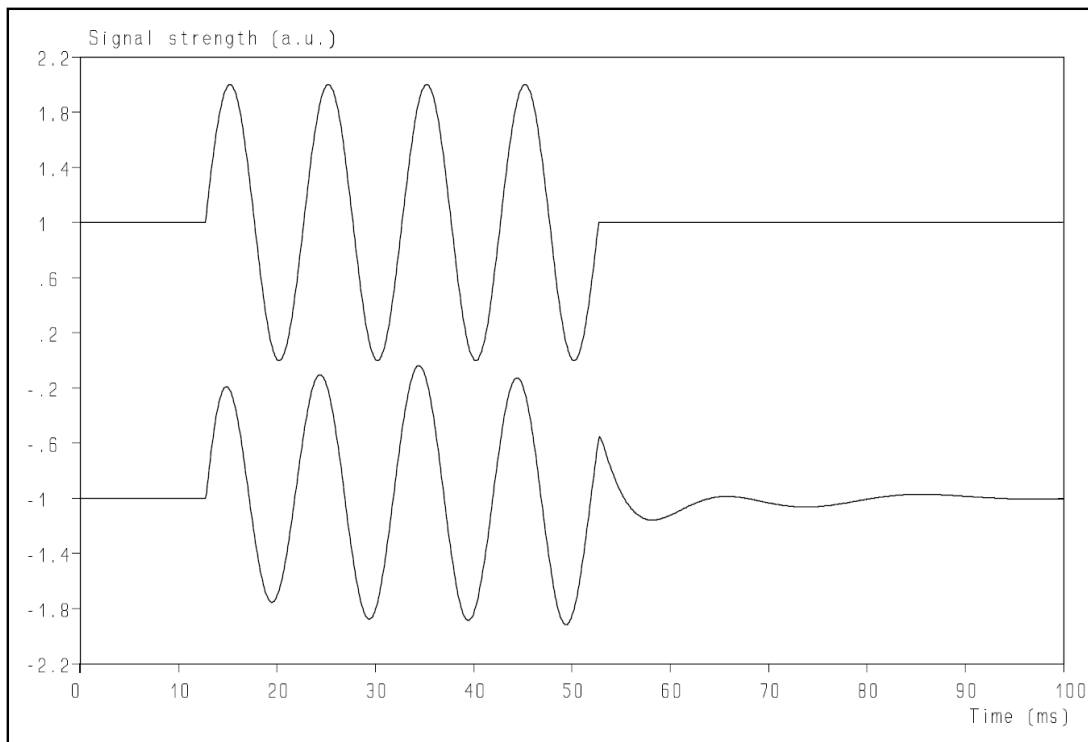
Figuur 2: Gemeten stroom door een bas-reflex luidspreker met als ingangssignaal een toneburst van 70 Hz, zoals te zien is in het bovenste spoor. Het onderste spoor is de gemeten stroom door de luidspreker. Vergelijk met figuur 1.



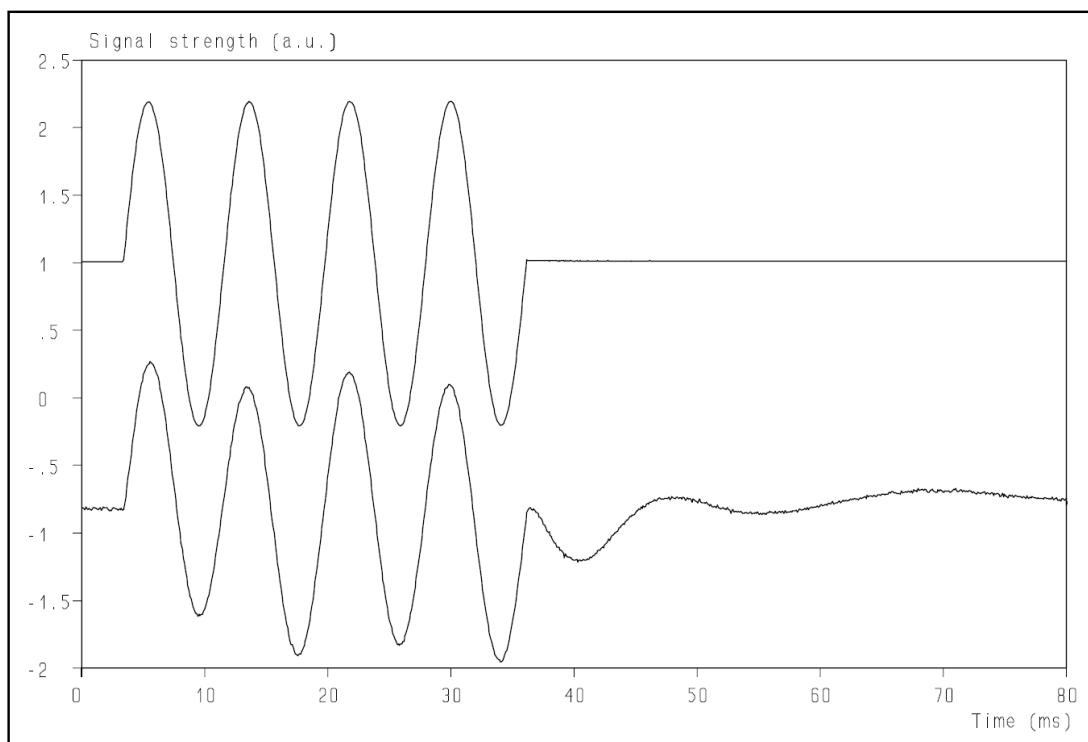
Figuur 3: *Berekende stroom door een bas-reflex luidspreker met als ingangssignaal een tone-burst van 30 Hz, zoals te zien is in het bovenste spoor. Het onderste spoor is de berekende stroom door de luidspreker.*



Figuur 4: *Gemeten stroom door een bas-reflex luidspreker met als ingangssignaal een tone-burst van 30 Hz, zoals te zien is in het bovenste spoor. Het onderste spoor is de gemeten stroom door de luidspreker.*

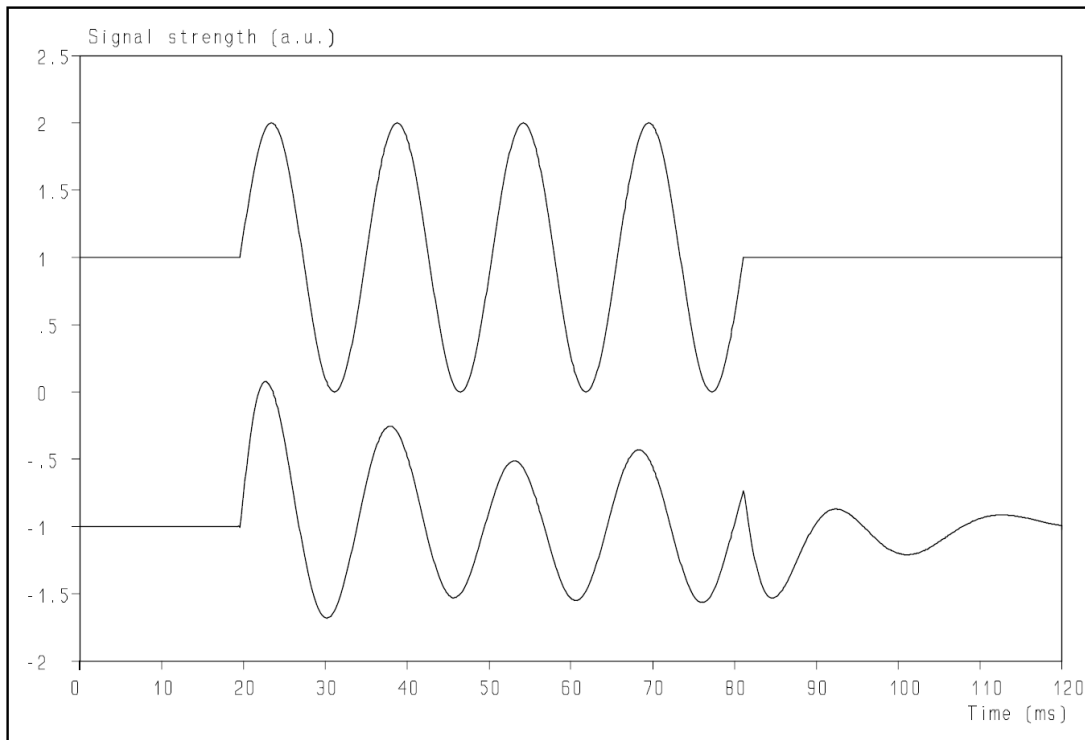


Figuur 5: *Berekende stroom door een bas-reflex luidspreker met als ingangssignaal een tone-burst van 100 Hz, zoals te zien is in het bovenste spoor. Het onderste spoor is de berekende stroom door de luidspreker.*

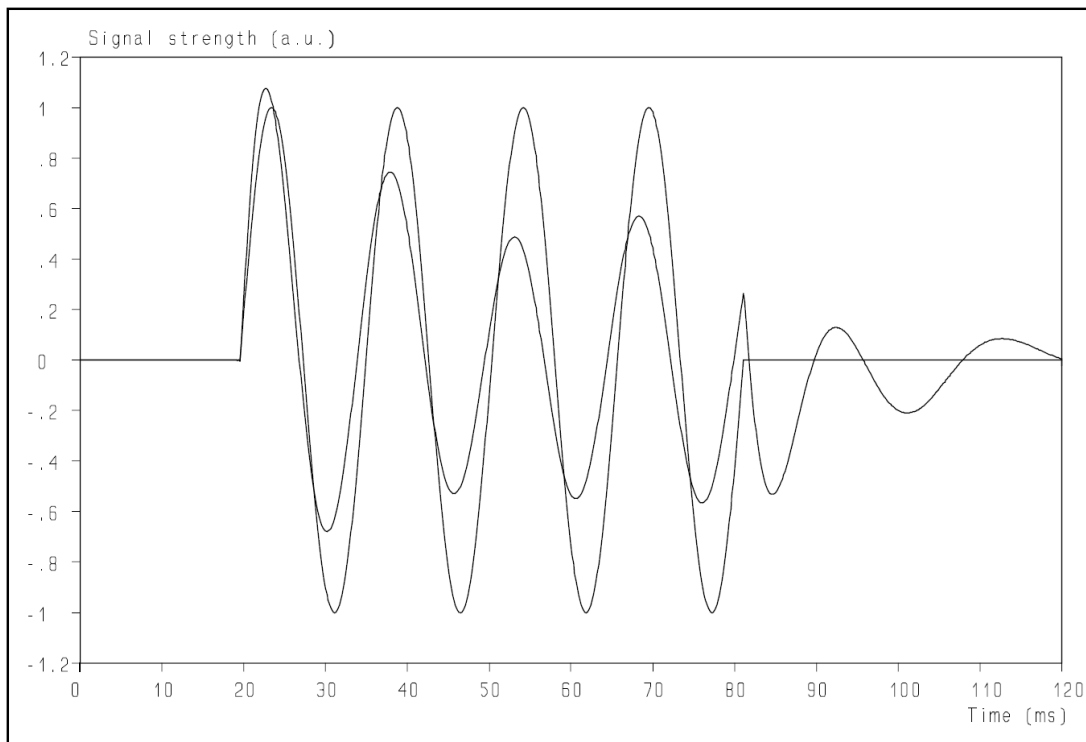


Figuur 6: *Gemeten stroom door een bas-reflex luidspreker met als ingangssignaal een tone-burst van 110 Hz, zoals te zien is in het bovenste spoor. Het onderste spoor is de gemeten stroom door de luidspreker.*

Zoals we boven al hebben gezien heeft het gebruik van resonanties nadelige gevolgen voor het tijdgedrag van bas-reflex luidsprekers. Het is niet de eerste keer dat hierop wordt gewezen. Maar er is nog een ander nadeel van dit type weergevers: het geeft aanleiding tot het terugsturen van stroom de versterker in, wanneer de versterker eigenlijk geen stroom wil leveren, laat staan opnemen. En als er fasefouten ontstaan tussen spanning en stroom als de frequentie niet overeenkomt met een resonantie, kan het gebeuren dat de versterker een “positieve” uitgangsspanning en tegelijkertijd een “negatieve” stroom moet leveren. Dit is te zien in fig. 7, waarbij een frequentie van 65 Hz gebruikt is, die iets naast de resonantiefrequentie van 60 Hz ligt. Om e.e.a. nog duidelijker te illustreren zijn beide sporen “door elkaar heen” getekend in fig. 8. Waarom de versterker dit niet fijn vindt komt door het feit dat deze ontworpen is voor een zuiver Ohmse belasting. Dan zijn spanning en stroom met elkaar in fase en geeft een “positieve” spanning een “positieve” stroom. Om dat te bereiken moet de “bovenste” transistor worden “opengezet” en dat gaat probleemloos. Maar als bij een “positieve” spanning een “negatieve” stroom moet worden geleverd moet de “onderste” transistor worden opengezet en dat kan alleen door intern een foutspanning op te wekken die niets anders is dan vervorming. Gehoormatig is dit duidelijk waarneembaar en veelal storend. Dus niet alleen geven de resonanties aanleiding tot “traag” en “wollig” laag, ze beïnvloeden ook, in negatieve zin, de interactie tussen de versterker en de luidspreker.



Figuur 7: *Berekende stroom door een bas-reflex luidspreker met als ingangssignaal een tone-burst van 65 Hz, zoals te zien is in het bovenste spoor. Het onderste spoor is de berekende stroom door de luidspreker.*



Figuur 8: Als figuur 7, maar zonder verschuiving van de sporen om de verschuivingen van de fase duidelijker tot uitdrukking te laten komen.

Overigens treedt dit probleem bij vrijwel alle luidsprekers op omdat deze zelden zuiver Ohms zijn. Maar bij bas-reflex luidsprekers worden deze geaccentueerd omdat er zoveel energie in de resonanties kan worden opgeslagen. De interactie tussen de luidspreker en de versterker dient daardoor meer aandacht te krijgen. Impedantiecompensatie wordt dan extra aantrekkelijk, maar dit gebeurt vrijwel nooit.

De analyse van beide problemen leidt tot de onvermijdelijke conclusie dat het gebruik van resonanties om frequentiekaracteristieken “recht” te trekken vermeden dient te worden, zeker in hoogwaardige audioapparatuur. Deze resonanties introduceren vertragingen en versmeringen die niets met de oorspronkelijke muziek van doen hebben, doch slechts storende artefacten zijn. De “dempingsfactor” van de luidspreker heeft hier slechts beperkt invloed op als de uitgangsimpedantie van de versterker klein is t.o.v. de weerstand van de spreekspoel. Daarnaast compliceren, lees verslechteren, deze resonanties de interactie tussen de versterker en de luidspreker.

Een interessante vraag is waarom bas-reflex luidsprekers gewoonlijk het laag *gehoormatig* harder weergeven dan luidsprekers die wèl tijdcorrect zijn. Dit verschijnsel wordt door recensenten en ervaren luisteraars opgemerkt, maar is ook terug te vinden in professionele artikelen (zie de presentatie van Mike Turner, Berlijn 2017, op www.temporalcoherence.nl). Het antwoord ligt bij de niet-lineaire eigenschappen van het menselijk gehoor. Neem even het voorbeeld van een signaal dat bestaat uit 6 harmonischen, van 1 t/m 6 (dus grondtoon + de eerste vijf bovenharmonischen). Verwijder nu de grondtoon, maar door het niet-lineaire gedrag ontstaat in ons gehoor de grondtoon, die we dan toch horen! Dus als een luidspreker de lage tonen “te laat” weergeeft, horen wij deze wel degelijk door dit effect van ons gehoor omdat de boventonen eerder aankomen dan de grondtoon. Maar enige tijd later komen de lage tonen alsnog bij de luisteraar aan en nemen we ze dus nogmaals waar. Ergo, de lage tonen worden gedurende een langere tijd dan oorspronkelijk aanwezig in de muziek, waargenomen en krijgen dus meer “gewicht” in het eindresultaat. Dit effect treedt uiteraard

niet op bij luidsprekers die tijdcorrect zijn, dus *gehoormatig* minder laag weergeven (maar dat niet doen!). Dit effect wordt duidelijk geïllustreerd door de metingen van Mike Turner, gepresenteerd tijdens een workshop van een conventie van de Audio Engineering Society (Berlijn, 2017), waarvan een representatief voorbeeld staat in figuur 9. Ook dit kan alleen maar als een artefact worden aangemerkt dat vermeden zou dienen te worden. Maar doordat bas-reflex luidsprekers wijdverbreid zijn, vinden veel mensen dit “normaal” en beoordelen ze tijdcorrecte luidsprekers als “onjuist”! De wereld op z'n kop, dus.



Figuur 9: Representatief voorbeeld van de tijdvertraging en tijdversmering van een bas-reflex luidspreker, waardoor ook de lengte van de tijd, waarin laag gehoord wordt, duidelijk toeneemt. Bovenste (gele) spoor: ingangssignaal, onderste (paarse) spoor: akoestische signaal zoals gemeten op 1 m afstand van de luidspreker. Metingen verricht en gerapporteerd door Mike Turner tijdens een workshop de conventie van de Audio Engineering Society (Berlijn, 2017).

De berekeningen in dit verslag zijn uitgevoerd op basis van de impedantie van het bas-reflex gedeelte van de luidspreker. Het is redelijk om te veronderstellen dat de verschillen tussen de berekende en gemeten waarden van de stroom voor een deel veroorzaakt worden door het (passieve) scheidingsfilter en de impedantie van de andere luidsprekerunits. Dat er toch grote overeenkomsten te bespeuren zijn betekent dat de impedantie van het bas-reflex gedeelte het gedrag van de stroom goed beschrijft. Dit maakt de analyse van dit soort systemen eenvoudiger omdat de impedantiemeting een relatief eenvoudige meting is, die routinematig kan worden uitgevoerd.