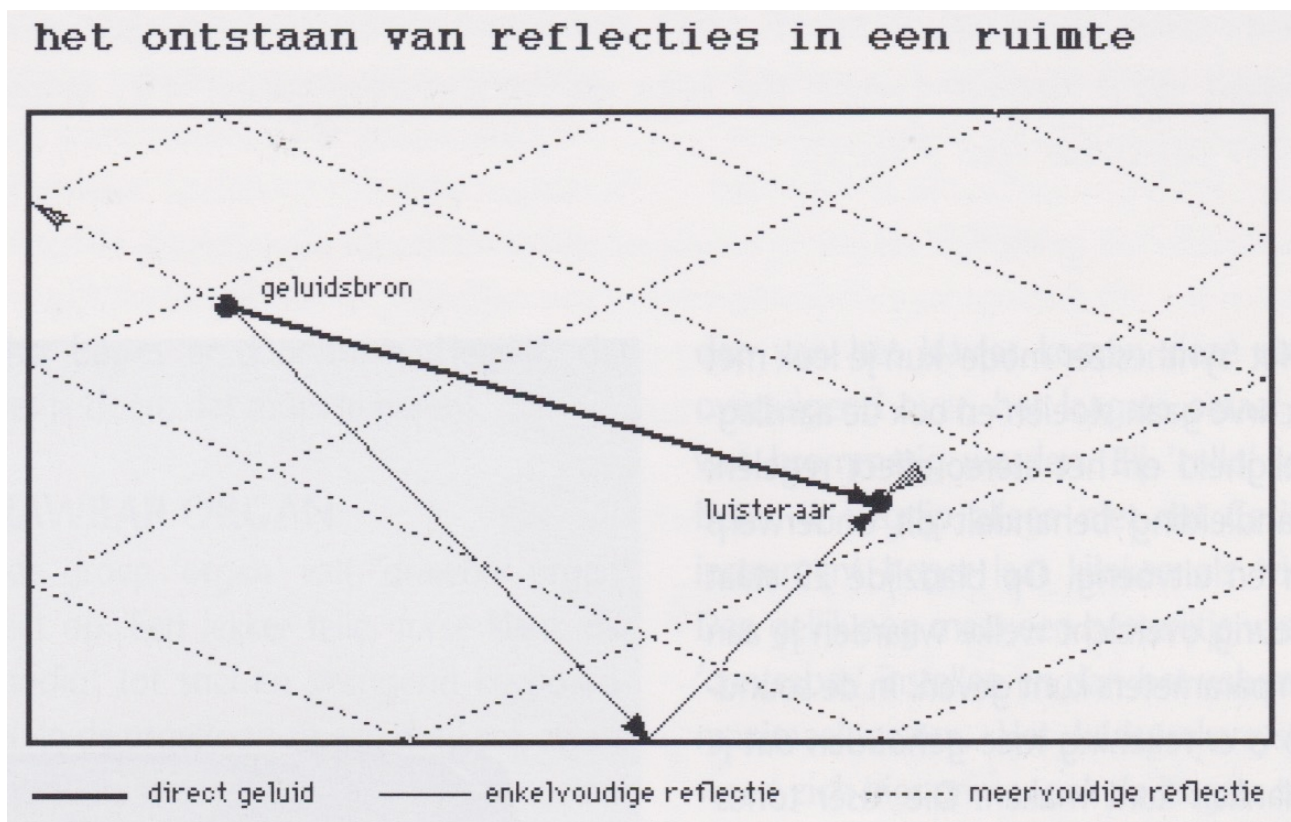


Moeder van alle kunstmatige galmen

Martin Schroeder's Nagalmschema (1962) Gebaseerd op kamfilters en all pass filters, varianten van de tijdvertrager, ofwel in goed Nederlands: Time Delay

Echo's

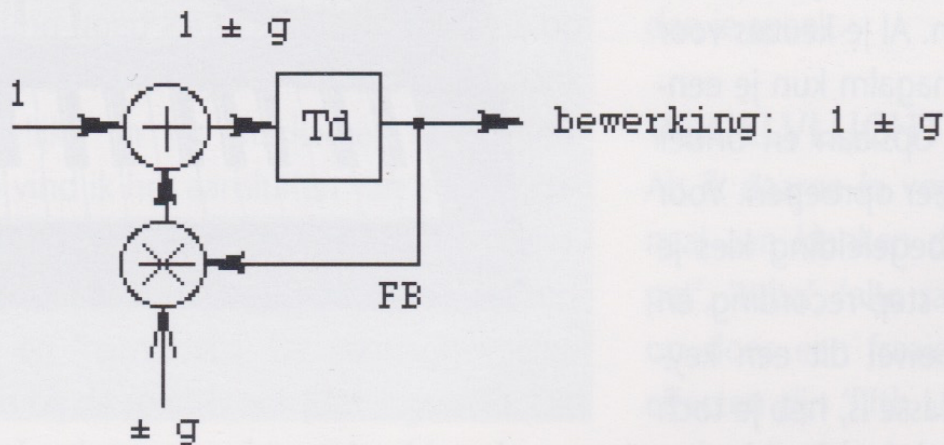
Eenvoudig gezegd kunnen we stellen dat nagalm in een ruimte ontstaat door reflecties, weerkaatsingen van het geluid via wanden, plafond en vloer. Deze reflecties kunnen we beschouwen als echo's, die in de tijd gezien steeds dichterbij elkaar vallen met aan het einde een zodanig grote dichtheid dat we het ervaren als diffuse nagalm. In de afbeelding 'het ontstaan van reflecties in een ruimte' zien we, vereenvoudigd voorgesteld, hoe dat gebeurt. Allereerst horen we het directe signaal van de bron. Daarna de enkelvoudige, vroege weerkaatsingen. Vervolgens ontstaan er meervoudige reflecties, de driedimensionale weerkaatsingen via wanden, plafond en vloer.



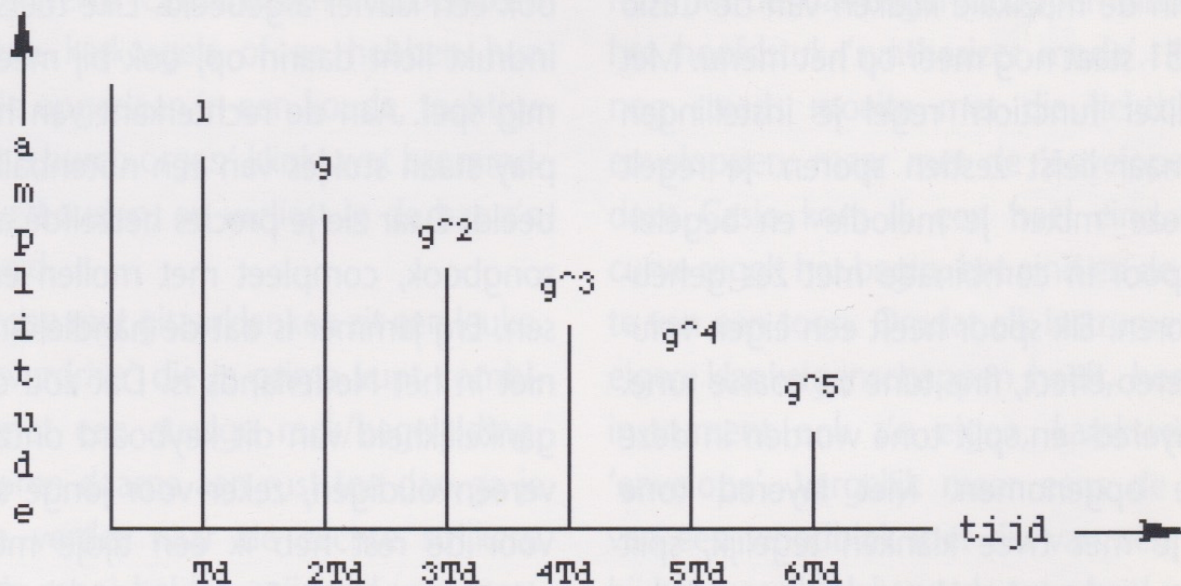
Kamfilter

Met slechts één kamfilter kunnen simpele echo's worden gesimuleerd. Het hart van zo'n kamfilter wordt gevormd door een tijdvertrager (T_d). In de afbeelding zien we het basisschema dat aangeeft hoe zo'n kamfilter is samengesteld. Het onderste plaatje laat de zogenoemde pulsresponsie (de echo's) in de tijd zien. Aan de hoogte van de staafjes zien we hoe het echosignaal in de tijd in volume afneemt. Evenzeer zien we dat die echo's totaal regelmatig zijn: in tijdsintervallen

die slechts worden bepaald door de ingestelde tijdvertragingwaarden. Nog lang geen nagalm dus...



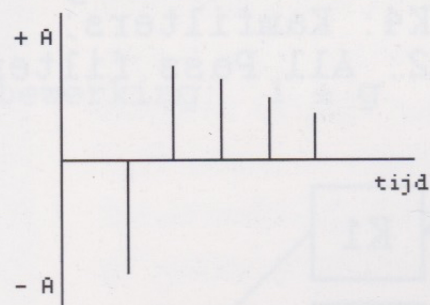
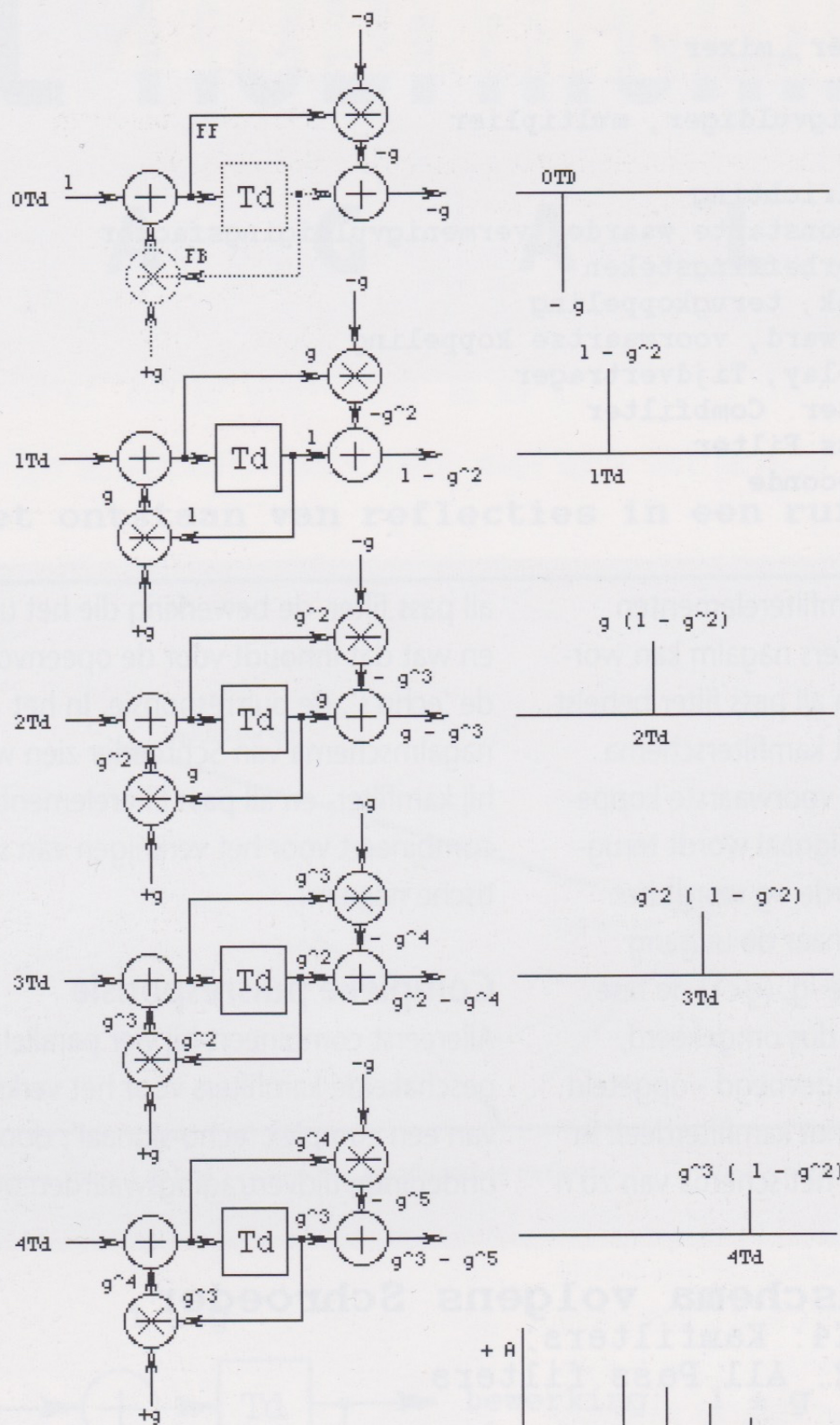
Time delay, pulsresponsies bij positieve feedbackwaarde van g



Schroeder's kunstmatige nagalm

Manfred Schroeder publiceert als eerste een schema hoe met meerdere kamfilterelementen samen met all pass filters nagalm kan worden gerealiseerd. Zo'n all pass filter behelst een uitbreiding op het kamfilterschema met een zogenoemde voorwaartse koppeling.

all pass filter, werking en pulsresponsie-volgorde

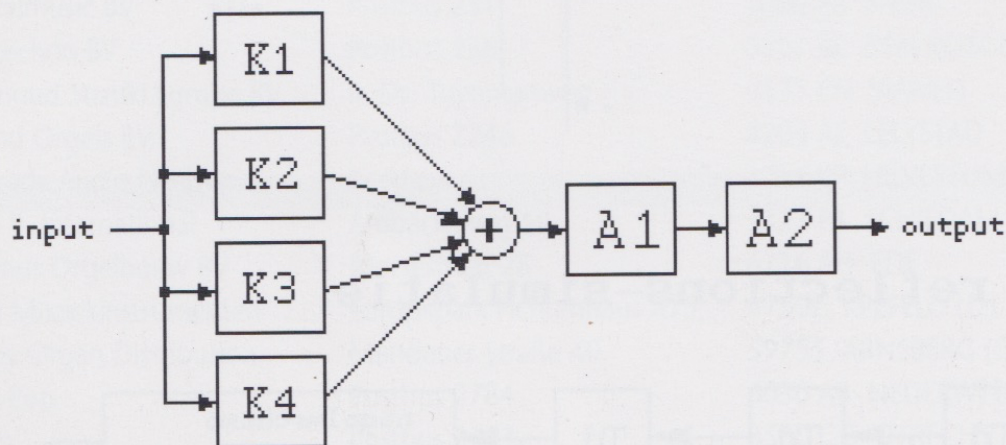


Behalve dat het signaal wordt teruggevoerd met de waarde $+g$ wordt het ingangssignaal direct naar de uitgang geleid met een waarde $-g$ ($g < 1$). De fa wordt dus omgekeerd en wordt samengevoegd, opgeteld, met de uitgang van het kamfilterdeel.

In de afbeelding zien we het schema van zo'n all pass filter, de bewerking die het uitvoert en wat dat inhoudt voor de opeenvolgende 'echo's', de pulsresponsie. In het nagalmschema van Schroeder zien we hoe hij kamfilter- en all pass filterelementen combineert voor het verkrijgen van synthetische nagalm.

nagalmschema volgens Schroeder

K1 t/m K4: Kamfilters;
A1 en A2: All Pass filters



instellingen voor een middelgrote concertzaal:

K1, 29,7 ms
K2, 37,1 ms
K3, 41,1 ms
K4, 43,7 ms
A1, 5,0 ms
A2, 1,7 ms

formule voor de nagalmtijd: $T_n = 60/g * T_d$

T_n : nagalmtijd
 T_d : tijdsvertraging
 g : verzwakking in dB's

Complexe pulsresponsie

Allereerst combineert hij vier parallel geschakelde kamfilters voor het verkrijgen van een complex 'echosignaal', door de onderlinge tijdvertragswaarden onderscheiden te kiezen. Hij relateert de onderlinge tijdsvertragsinstellingen volgens priemgetalverhoudingen. Dit is belangrijk om zo min mogelijk kleuringen in de gesimuleerde reflecties te verkrijgen.

Kleuring

Bij eenvoudige tijdvertragsverhoudingen kunnen die gemakkelijk ontstaan. Bijvoorbeeld stellen we ons voor de vier volgende tijdsverhoudingen: 1, 2, 3 en 4 milliseconden. We krijgen hierdoor een zichzelf hehalend echopatroom van $1 \times 2 \times 3 \times 4 = 24$. Na 24 ms wordt het patroon steeds herhaald. Een aantal pulsresponsies van de verschillende kamfilters vallen samen en versterken elkaar zodoende. Dat levert een hinderlijk hoorbaar verschijnsel op: kleuring.

Priemgetalverhoudingen

Dit wordt voorkomen door, als gesteld, te kiezen voor priemgetalverhoudingen. Met waarden uit het voorbeeld van Schroeder, 29.1, 37.1, 42.1 en 43.7 verkrijgen we een patroon dat 1912431.95 ms lang is. Dat komt neer op een herhalingstijd van bijna 32 minuten. Plus, er zijn geen samenvallende pulsresponsies! Een deel van het nagalmprobleem is nu opgelost. Schroeder heeft op deze manier een zodanig complex reflectiepatroon gerealiseerd, dat kan doorgaan als een benadering van een akoestische werkelijkheid.

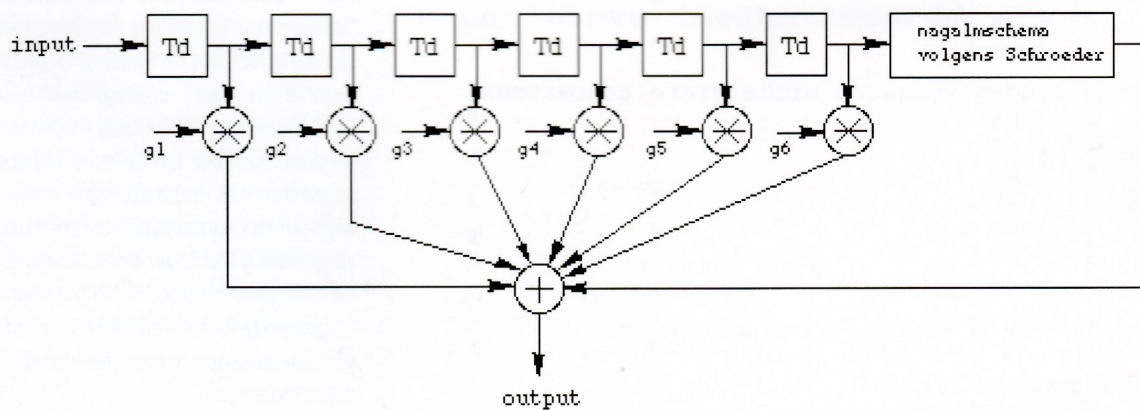
Toenemende reflectiedichtheid

Wat echter nog niet is opgelost is het diffuser worden van de weerkaatsingen, het toenemen van de dichtheid van de opeenvolgende pulsresponsies. Daarvoor past Schroeder twee all pass filters in serie geschakeld toe. Aan deze all pass filters wordt de complexe pulsresponsie van de vier kamfilters toegevoerd. Door de voorwaartse koppeling verschijnt het signaal direct aan de uitgang. Doordat de all pass filters na elkaar zijn geschakeld, is serie ofwel in cascade, worden de pulsresponsie van de twee all pass filters niet opgeteld, maar vermenigvuldigd. Het totaal aantal reflecties neemt zo geweldig toe. Door opeenvolgend kleinere waarden voor de all pass tijdvertragingen te kiezen realiseert Schroeder een opeenvolgende toename van de reflectiedensiteit.

Vroege reflecties

Resteer er nog een probleem: er zijn nog geen geloofwaardige vroege reflecties gerealiseerd. Die zijn evenwel heel wezenlijk voor een realistische nagalmervaring. Daarvoor stelt Schroeder een schema voor dat is opgebouwd uit een aantal eenvoudige tijdvertragingselementen, die in serie staan geschakeld en na elke tijdvertrager een aftakking die tesamen worden gemengd (zien onderstaande afbeelding). Dit nu wordt geplaatst voor het oorspronkelijke nagalmschema. Het geheel kan nog worden verbeterd door in de terugkoppelingen van de kamfilters laafdoorlaatfilters op te nemen. Op deze manier kunnen we dan een toenemende absorbtie voor de hoge frequenties realiseren.

cascade delay t.b.v. early reflections-simulatie



10 ms: reflectieweg van 3,45 meter

realistische waarden voor vroege reflecties (early reflections): 10 - 100 ms

Verder lezen

http://www2.ece.rochester.edu/~zduan/teaching/ece472/reading/Schroeder_1962.pdf

https://en.wikipedia.org/wiki/Manfred_R._Schroeder

Internet

MTurboReverb tutorials (zeer aanbevolen)

[https://www.youtube.com/watch?](https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=o9eMmpuhz1M&index=4&list=PLeDzk3D8LGAAnBLegmUTS1PPRKY9BYwZD1)

[reload=9&v=o9eMmpuhz1M&index=4&list=PLeDzk3D8LGAAnBLegmUTS1PPRKY9BYwZD1](https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=o9eMmpuhz1M&index=4&list=PLeDzk3D8LGAAnBLegmUTS1PPRKY9BYwZD1)

Valhalla DSP

<https://valhalladsp.com/2011/01/21/reverbs-diffusion-allpass-delays-and-metallic-artifacts/>

Gearslutz Reverb Subculture forum

<https://www.gearslutz.com/board/geekslutz-forum/380233-reverb-subculture-23.html>