

De Digitaal/Analoog-Converters (DACs) van Metrum Acoustics worden in de internationale audiopers geroemd om hun muzikale weergavekwaliteiten (klik op [deze link](#) om via de website van Metrum Acoustics diverse recensies te lezen). Vooral de puurheid van de klank dankzij de afwezigheid van digitale artefacten ("rommel"), de natuurlijke klank van stemmen en instrumenten, het prachtige stereobeeld en de opvallend goede onderlinge scheiding van instrumenten worden steevast geroemd. Door de unieke kwaliteiten van de DACs van Metrum Acoustics wordt de luisteraar betrokken bij de muziek. Hierdoor is muziek niet langer "iets dat op de achtergrond plaatsvindt"; het luisteren naar muziek wordt een boeiende en realistische beleving.

Een ander aspect dat niet onvermeld mag blijven, is de zeer scherpe prijs/kwaliteitsverhouding. De DACs van Metrum Acoustic zijn niet bang voor de producten van de concurrentie. Sterker nog, ze kunnen de concurrentie met beduidend duurdere DACs gemakkelijk aan!

Wat maakt de DACs van Metrum Acoustics zo uniek? Om deze vraag te beantwoorden, heeft ontwerper Cees Ruijtenberg onderstaande tekst geschreven, waarin hij zijn ontwerpfilosofie uiteenzet en uitlegt, waarom de DACs van Metrum Acoustics anders zijn dan de "gebruikelijke" DACs.

Ontwerpfilosofie Metrum Acoustics NOS DACs

Inleiding

In 2008 besloot ik een onderzoek te starten om de klankeigenschappen van verschillende DACs in kaart te brengen. Ik was niet echt overtuigd van de weergavekwaliteiten van de toenmalige producten, maar op dat moment was mij nog niet duidelijk waardoor dit werd veroorzaakt. Mijn ontevredenheid werd gevoed door mijn frequente concertbezoek; het leek mij onmogelijk om via de digitale weg dichterbij die *live* muziekbeleving te komen. In mijn jonge jaren was ik al geïnteresseerd in muziekregistratie en maakte ik van tijd tot tijd muziekopnames. Hiervoor had ik de beschikking over een set goede microfoons, een mixer en een studio-taperecorder. Ondanks de matige signaal/ruis-verhouding en de beperkte maximale dynamiek ($\leq 60\text{dB}$) die de toenmalige opnameapparatuur kon weergeven, was de beleving "echt" en werd je betrokken bij de muziek. Daarom begrijp ik de vinyl-liefhebbers, afgezien van zaken als tikken en ruis die dit medium veroorzaakt. Deze beleving en dit gevoel van realisme wilde ik ook bereiken met digitale apparatuur en daarom ben ik mijn onderzoek gestart. Door mijn werk en mijn activiteiten op het gebied van elektrostatische luidsprekers heb ik veel contacten en via die weg kreeg ik de mogelijkheid om een zogenaamde NOS (*Non OverSampling*) zelfbouw-DAC te beluisteren. Ondanks de tekortkomingen die ik waarnam, hoorde ik wat ik al die tijd had gemist: het gevoel, de betrokkenheid bij de muziek, de beleving was plotsklaps terug. Was dit de route die ik moest bewandelen? Vanaf dat moment ben ik gaan onderzoeken wat er mis kon zijn met de huidige digitale apparatuur, die voornamelijk is gebaseerd op de wijd verbreide techniek van "oversampling" (overbemonstering). Als elektronica-ontwerper heb ik de beschikking over geavanceerde meetapparatuur en met mijn pakweg 35 jaar ervaring moest ik toch een basis hebben om hiermee verder te komen. Toch bleef ik mij verbazen over een systeem dat ten gevolge van het oversamplen zo veel artefacten laat horen, die niet in het audiogebied thuishoren.



Ryohei Kusunoki

Omdat ik redelijk enthousiast was over de klankeigenschappen van NOS DACs, ben ik actief gaan zoeken naar de kennis die over dit onderwerp beschikbaar was. Op diverse forums bleek, dat ik niet als enige op zoek was

naar de eerder genoemde "echte" muziekbeleving. Tevens vond ik een artikel van Ryohei Kusunoki ([klik op deze link voor het originele artikel](#)), die op eenvoudige wijze de werking van de veelvuldig gebruikte oversampling-technieken inzichtelijk heeft gemaakt. Uit dit artikel blijkt duidelijk dat het, vanuit een visie die is gestoeld op de beleving van *live* muziek, vreemd is om oversampling-technieken te gebruiken. Dit leidde ertoe, dat ik alle kennis over digitale registratie en weergave op een zijspoor heb gezet en dat ik heb besloten, mijn gevoel te volgen.

Moderne technieken

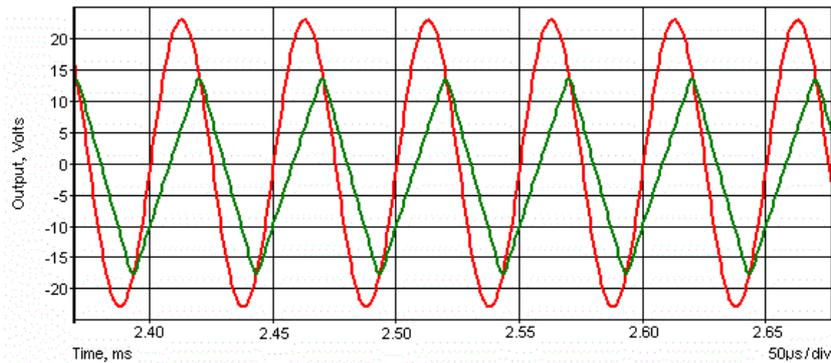
Hobbyisten en professionals, die overtuigd zijn van het NOS-principe, moeten zich behelpen met oude DAC-chips, die ooit door Philips zijn ontwikkeld en in de tachtiger jaren van de vorige eeuw op de markt gebracht. Destijds waren dat geweldige DAC-chips. Bedrijven zoals 47 Labs, Zanden en Abbingdon Music Research, die eveneens overtuigd zijn van het NOS-principe, moeten wegens gebrek aan modernere componenten teruggrijpen op chips als de TDA1543 of TDA1541. Terecht, want moderne chips worden steeds gecompliceerder en zijn vaak voorzien van FIR-filters die overbemonsteren mogelijk maken, maar die het onmogelijk maken om deze techniek achterwege te laten.

Omdat ik als elektronica-ontwerper veel ontwikkelde voor de industrie, had ik inmiddels veel productkennis opgedaan. Met name in de procesindustrie en in medische applicaties worden DAC-chips gebruikt, waarin de genoemde FIR-filters ontbreken. Zou het mogelijk zijn om deze DAC-chips in audioproducten toe te passen? Welke eigenschappen zouden belangrijk zijn om een beter product te maken dan de "oude" TDA 1543 of TDA 1541?

Het was mij al duidelijk, dat moderne DAC-chips een aantal voordelen hebben ten opzichte van de "oude" DAC-chips. Er is veel winst geboekt op het vlak van schakelruis, snelheid en geleiding van mosfet-schakelaars die worden toegepast in zogenaamde R2R-laddernetwerken. Ook de lineariteit van de laddernetwerken is verbeterd. Buiten de genoemde verbeteringen is er toch weinig nieuws, zou je zeggen. Maar deze eigenschappen lijken belangrijk voor onder andere het gemak en de vanzelfsprekendheid waarmee de muziek wordt weergegeven en waardoor de weergave aan "echtheid" wint. Snelheid en bandbreedte blijken eigenschappen te zijn, die ook bij versterkers van belang zijn. Dit is de reden, dat opamps in audiocircuits een heleboel narisigheid kunnen veroorzaken. Termen als "slew rate" en "open lus bandbreedte" blijken veel zwaarder te wegen dan harmonische vervorming. Het is dan ook niet gek dat elektronica die muziek goed kan weergeven, vaak is voortgekomen uit de hoogfrequent-techniek, waarbij het in sommige gevallen om frequenties tot 500 megaHertz gaat. Bij het gebruik van dergelijke breedbandige componenten is een totaal andere ontwerpmethodiek nodig om een goed en stabiel product te bouwen. Een goed voorbeeld zijn de ontwerpen van Nelson Pass, die op basis van deze theorieën zijn gebouwd.

Ondanks de beschikbaarheid van veel meetinstrumenten is in de afgelopen jaren vooral duidelijk geworden dat meetresultaten zelden aangeven, hoe een product zal gaan klinken. Zijn de meetmethoden dan slecht? Nee, beslist niet. In de ontwerpfase kunnen veel problemen worden opgelost door metingen te verrichten. Maar om bijvoorbeeld de ruimtelijkheid van de weergave te toetsen, schiet meettechniek te kort. Dan is ons gehoor een aanvullende optie.

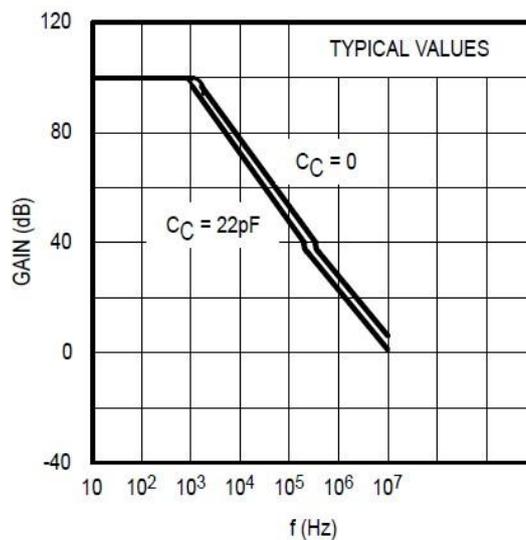
Het feit, dat bandbreedte en snelheid in elektronische circuits een belangrijke factor zijn in de audiowereld, heeft te maken met het feit dat "ouderwetse" halfgeleiderschakelingen overstuurd raken als het signaal besmet is met hoogfrequent-componenten. In de elektronica heet dit verschijnsel "slewing distortion". Het circuit is kennelijk niet in staat om het ingangssignaal adequaat te volgen. Ons gehoor blijkt hier enorm gevoelig voor te zijn; het leidt vaak tot een weergave die als plat en pretentieloos wordt ervaren.



Beperkte slewing rate. De groene lijn (uitgangssignaal) laat het onvermogen van de versterker zien om het ingangssignaal (rood) te volgen.

De stroomuitgang van een DAC-chip is een omgeving waar een mix van audio- en hoogfrequente signalen voorkomt. De schakelaars die het R2R-laddernetwerk in de DAC-chip bedienen, creëren hoogfrequente schakelruis. Die ruis, hoe laag deze ook is, ligt als extra component in het audiosignaal opgeslagen en het is juist die ruis waardoor standaardcomponenten als op-amps niet meer goed functioneren. Toch plaatsen veel fabrikanten opamps als stroom/spannings-omzetter in hun DACs, ook al zijn ze daar eigenlijk niet geschikt voor. Het is dus belangrijk dat elektronica die wordt toegepast om stroom (vanuit de DAC-chip) om te zetten naar spanning, zeer breedbandige en snelle eigenschappen bezit.

Open-Loop Frequency Response

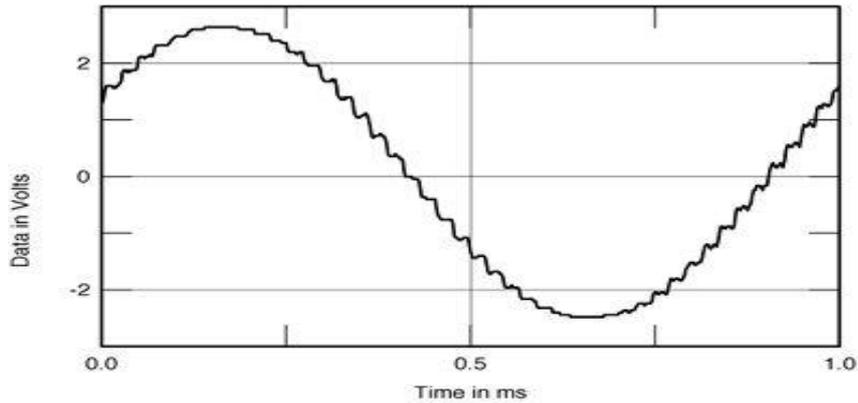


Open-lus-bandbreedte van de NE5534 audio opamp, die zonder tegenkoppeling al ophoudt bij 1 kHz

Van 2008 tot medio 2010 heb ik gezocht naar DAC-chips met eigenschappen zoals hierboven omschreven. Uiteindelijk heb ik geschikte DAC-chips gevonden en toegepast in de Quad, Octave en de Hex DACs. Dat deze keuze de juiste was, bleek wel uit het aantal positieve recensies wereldwijd.

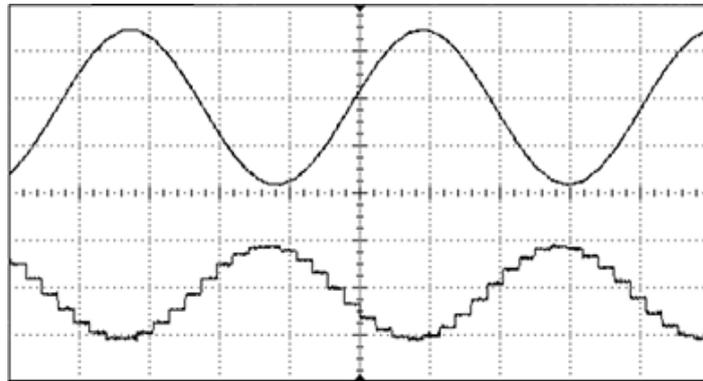
Perceptie

Het blijft bijzonder, dat de signaalvorm van een sinus met een sampling-rate van 44.1kHz er bij een NOS DAC tamelijk geblokt uitziet, terwijl ons gehoor dit niet als zodanig waarneemt.



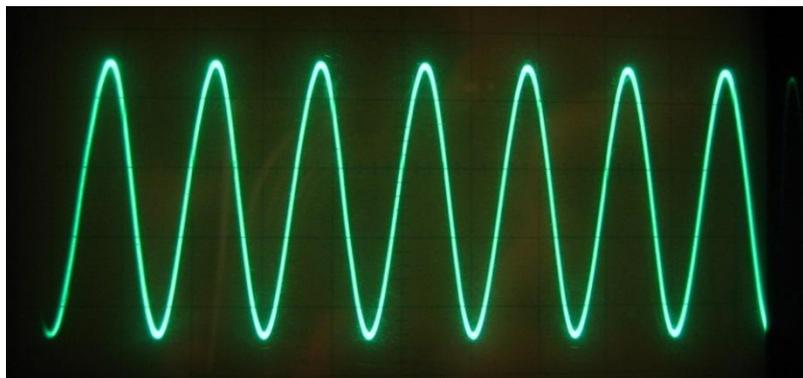
Sinus van 1 kHz met een sampling-rate van 44.1kHz

Één en ander wordt versterkt, doordat er (uitgaande van CD-kwaliteit) in één seconde slechts 44.100 analoge waarden kunnen worden gepresenteerd; dit draagt dus niet bij aan de nauwkeurigheid. Bij een oversampling DAC zullen, dankzij het FIR-filter, de tussenliggende waarden prachtig worden berekend en ingevuld. Een FIR-filter zou hier (theoretisch) een mooi resultaat kunnen opleveren, maar in de praktijk blijkt dit gehoormatig geen verschillen op te leveren.



Onder: het "NOS-sigitaal", boven: het signaal na passeren van een FIR-filter

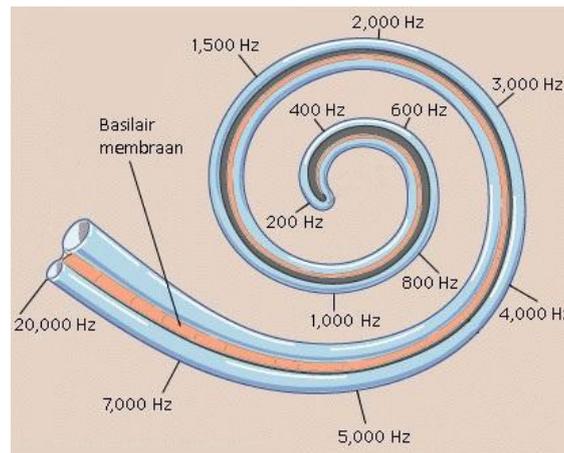
Een leuk experiment: laat een NOS DAC (via een versterker en luidsprekers) een sinus weergeven. Neem deze vervolgens met een microfoon op en geef het resultaat weer met een oscilloscoop. Het plaatje hieronder laat het resultaat zien.



Sinus vanuit NOS DAC naar luidspreker, gemeten met een meetmicrofoon

De "traptreden" die oorspronkelijk in het signaal aanwezig waren, zijn verdwenen. De reden hiervoor is, dat het signaal reeds diverse filters is gepasseerd voordat het de microfoon bereikt. In het geval van de Metrum Acoustics DACs is bij de uitgang van de DAC een mild 70kHz filter toegepast. De voorversterker heeft, vanwege het voorkomen van slewing-problemen, eveneens een mild filter. Dit wordt doorgaans ingesteld op

100kHz met 6dB per octaaf. Vervolgens gaat het signaal naar de eindversterker, waar dit kunstje nogmaals wordt herhaald. Het signaal is nu al 3 filters gepasseerd. Ook al vindt deze filtering plaats op relatief hoge frequenties, toch zullen de scherpe kantjes van de golfvorm dan verdwenen zijn. Maar nu komt het! Het signaal wordt aangeboden aan de luidsprekers. Een luidspreker is eveneens een filter en zal op zijn best de signalen uit de versterker doorlaten in een frequentiegebied van 20Hz tot 35kHz (de allerbeste types), waarna de curve snel wegvalt. Afhankelijk van de eigenschappen van de tweeter zal het signaal uiteindelijk met zo'n 12 tot 24dB per octaaf wegvallen. Waar de eerste filters mild waren en samen ongeveer 18dB per octaaf wegfilterden, gooit de tweeter er een stevige schep bovenop. Maar we zijn er nog niet! Vergeet het frequentiebereik van de meetmicrofoon niet: deze kan op zijn hoogst 35kHz registreren. De vraag is, of dit een eerlijke meting is. Maar wanneer we de microfoon door ons oor vervangen, wordt er mogelijk nog meer gefilterd. Dit verdient enige toelichting.

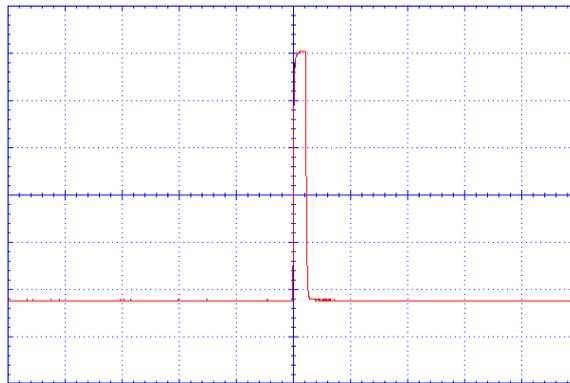


Slakkenhuis met hierin het basilaire membraan

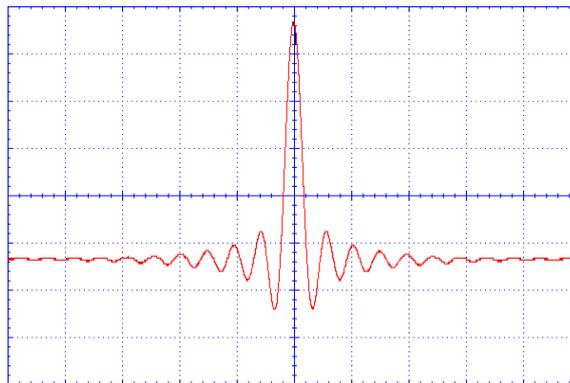
Hierboven is een deel van ons oor te zien. Het betreft onze gehoorgang met daarachter het slakkenhuis. Elke plaats in het slakkenhuis is gevoelig voor een specifieke frequentie. De hoogste frequenties worden vooraan geregistreerd en de laagste frequenties aan het einde van het slakkenhuis. In het slakkenhuis bevindt zich het basilaire membraan, waarop zich 15.000 tot 20.000 trilhaartjes bevinden. De trilhaartjes zijn elk verbonden met een zenuw, die weer is verbonden met onze hersenen. Dit is slechts een beknopte weergave van het oor, want in werkelijkheid is het veel complexer. We beperken ons tot de trilhaartjes, die elk een bepaald frequentiegebied bestrijken en wel zodanig, dat ze elkaar overlappen. De som van al die frequentiegebieden bepaalt het totale bereik van ons gehoor, dat gemiddeld van 20 tot 20.000 Hz loopt. Met 20.000 trilhaartjes is de bandbreedte van ieder trilhaartje enorm smal en dus zeer selectief. Dit ligt in de orde van circa 40dB/octaaf aan weerszijden van de specifieke frequentie waarop het trilhaartje is afgestemd. Het gevolg is, dat ons gehoor zich gedraagt als een laagdoorlaatfilter van een orde die vergelijkbaar is met de meest voorkomende filters in CD-spelers. Het toepassen van een filter in een CD-speler op hetzelfde niveau is dus in feite overkill.

Toegepaste meettechnieken

NOS DACs lijken slechter te scoren als het om meetresultaten gaat. Deels klopt dit, omdat het signaal aan de uitgang minder filters passeert (zie hierboven). Het introduceren van een steil filter aan de uitgang van een NOS DAC zal de meetresultaten zoals harmonische vervorming en ruiseigenschappen verbeteren. Dit zijn overigens wel de metingen die ons door de industrie worden voorgeschreven. Het probleem van deze vervormingsmetingen is echter, dat we uitsluitend in het amplitudedomein kijken omdat we gebruik maken van statische signalen, zoals een sinus. Zodra we gebruik maken van impulsachtige signalen wordt het een ander verhaal. Hieronder ziet u een impulsweergave zoals deze uit een NOS DAC komt. De flauwe ronding aan de top is het gevolg van het eerder genoemde milde filter op 70kHz.



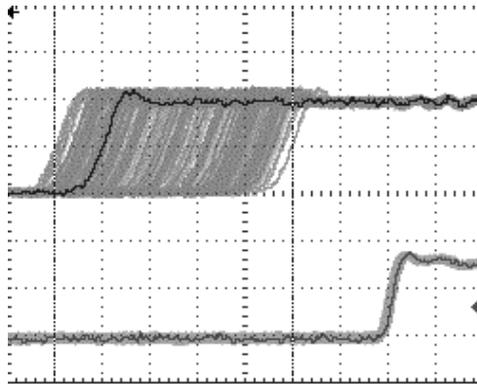
Hieronder is hetzelfde signaal weergegeven, maar nu via een DAC met oversampling



Omdat ons gehoor van nature op een scherp afvallend filter lijkt, kan het signaal uit de NOS DAC ook als de onderste afbeelding worden geïnterpreteerd. Dit is het gevolg van de gelimiteerde bandbreedte van ons gehoor. We kunnen ons afvragen, hoe het plaatje er uit zou zien als het effect van het FIR-filter hier bij opgeteld zou worden. Vooral percussie-instrumenten zijn door dit effect in het nadeel, hetgeen wordt onderschreven door veel autoriteiten binnen de audiowereld en musici. Het is dan ook niet voor niets dat NOS DACs qua klank worden omschreven als het meest natuurlijk. Tegelijkertijd zijn de meetresultaten van NOS DACs niet geweldig en is het dus de vraag of de juiste metingen worden uitgevoerd om de kwaliteit te kunnen vaststellen. Alle metingen worden immers zonder het filter uitgevoerd.

Jitter

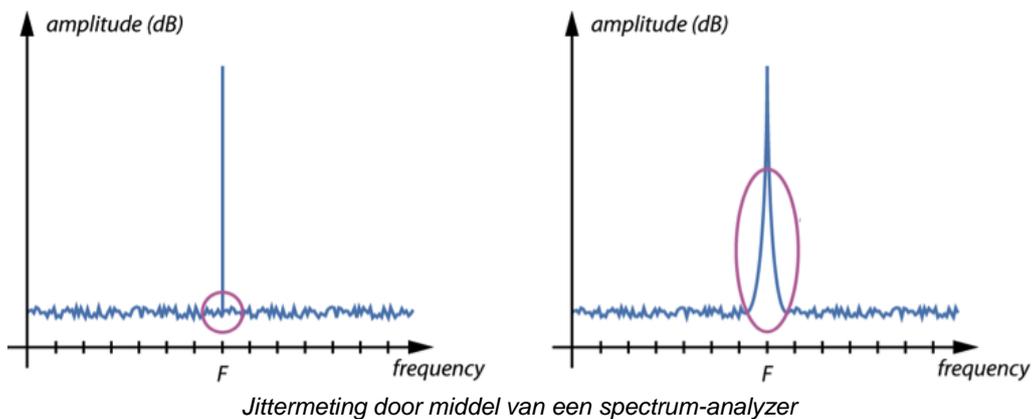
Jitter staat al geruime tijd behoorlijk in de belangstelling. Het reduceren tot extreem lage niveaus wordt als essentieel gezien voor een betere weergave. Zonder de discussie aan te gaan, welke mate van jitter nog hoorbaar is, dient te worden vermeld dat er verschillende typen jitter bestaan. Verder is vrijwel niet duidelijk, op welke wijze jitter wordt gemeten en is een korte uitleg zinvol. De jitter waarover de discussie lijkt te gaan, is niet meer dan een afwijking in het tijdsdomein. Vergelijk het met de seconden van een uurwerk: soms is een seconde in feite 1,1 seconde lang en dan weer 0,9 seconde. Over een langere periode bezien zijn alle seconden gemiddeld één seconde lang, maar de individuele seconden verschillen qua lengte. Dit vindt op dezelfde manier plaats in een DAC, waar de muziek is opgebouwd uit een reeks van (digitale) samples. De samples komen binnen en worden gesynchroniseerd door middel van de klok. De zuiverheid van de klok is dus van essentieel belang. Niet alleen over een langere periode, maar ook *per klokpuls* dient deze qua tijdsduur exact gelijk te zijn.



Hierboven zijn twee klokpulsen uitvergroot weergegeven, die van een laag niveau naar een hoog niveau springen. De pulsen zijn over een langere tijd geobserveerd en zijn vervolgens over elkaar gelegd. De onderste klok gaat vrijwel altijd op het zelfde moment naar het hogere niveau, terwijl bij de bovenste klok meer willekeur te zien is. Soms komt de sprong vroeger, dan weer later. Dit verschijnsel wordt jitter genoemd. Los van het feit dat jitter op veel plaatsen in de audioketen kan ontstaan, is de waarneembaarheid natuurlijk bepalend voor de prestatie van de DAC.

Het plaatje laat duidelijk de goed meetbare fouten van het bovenste signaal zien. Stel dat elk vakje 100 picoseconden (ps) voorstelt, dan laat het bovenste signaal een jitterpercentage zien van maximaal 5 vakjes \times 100 picoseconden = 500 picoseconden. Hoe stabielere de meetapparatuur, des te zuiverder het resultaat van deze meting is. Echter: ook meetapparatuur bezit afwijkingen, waardoor de resultaten mogelijk negatief kunnen worden beïnvloed. Wanneer het zeer belangrijk is, dat de meting volledig betrouwbaar is, zal de meetapparatuur zo duur zijn als een middenklasse auto...

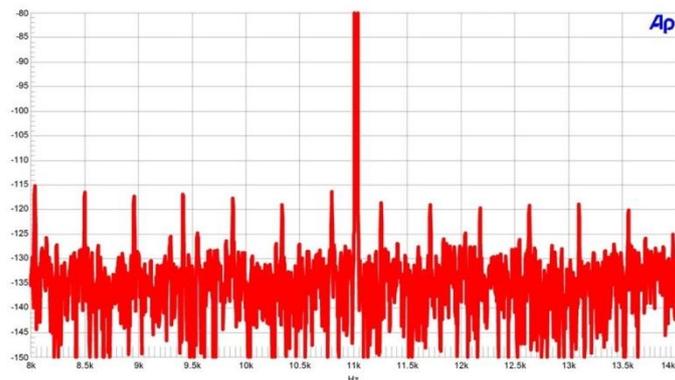
Er zijn ook andere meetmethoden dan de tijdsmeting, bijvoorbeeld de spectrale meting. Een voorwaarde voor een goede spectrale meting is, dat gebruik wordt gemaakt van een gedefinieerd meetsignaal. Doordat de theoretische inhoud van het meetsignaal per saldo lage jitterwaarden oplevert, zal de eventuele jitter, die door de hardware wordt veroorzaakt, afwijkingen in het spectrum laten zien.



De afbeelding hierboven laat twee spectra zien. Links een signaal zonder jitter: het signaal is zichtbaar als een smalle verticale naald. Het rechter signaal laat een bredere basis zien, die ontstaat als gevolg van jitter. Jitter is een variatie in de tijd en diensgevolge zal een spectrum-analyzer dit vertalen naar hogere of lagere frequenties. Dit slingeren van de frequentie veroorzaakt de brede basis en is een aanduiding dat een bepaalde mate van jitter in het signaal aanwezig is.

Het is lastig om vast te stellen om hoeveel jitter het werkelijk gaat. Julian Dunn, een belangrijk onderzoeker, heeft een meetmethode ontwikkeld om jitter duidelijker in kaart te brengen. Hij heeft een meetsignaal ontwikkeld waarvan de inhoud zodanig is samengesteld, dat het uit zichzelf geen aanleiding geeft voor jitter. Doordat de DAC het meetsignaal exact moet weergeven, zullen de effecten van jitter die door de hardware

wordt veroorzaakt, direct zichtbaar worden in de spectrale meting. De meetmethode die door Julian Dunn is ontwikkeld, heet "Jtest". Hieronder een afbeelding waarop de Jtest is toegepast bij het meten van een DAC.



Jtest uitgevoerd op een DAC

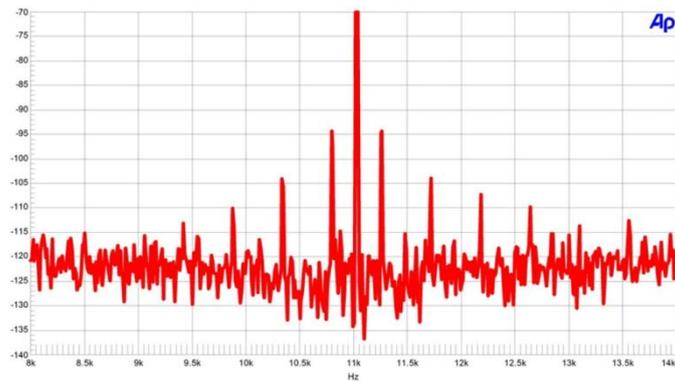
In een ideale situatie laat de meting uitsluitend de naald in het midden zien. Maar als gevolg van jitter zijn aan weerszijden van de naald kleinere naaldjes te zien. Door de hoogte of amplitude van de kleine naaldjes te meten, kan op basis van een berekening de hoeveelheid jitter worden vastgesteld.

Eerder vermeldde ik al, dat NOS DACs geen optimale meetresultaten geven en dat is ook zichtbaar in de Jtest. Op internet zijn diverse metingen van NOS DACs te vinden, die zijn gemeten onder dezelfde omstandigheden. Dit is belangrijk wanneer je verschillende producten met elkaar wilt vergelijken. Onder andere [Miller labs](#) wordt veelvuldig gevraagd, metingen te verrichten voor recensies. Het staat vast, dat de metingen aan verschillende DACs altijd op dezelfde wijze worden uitgevoerd. Het is opmerkelijk dat de jittertests die worden uitgevoerd met de Jtest altijd slecht uitpakken voor iedere NOS DAC. Zouden alle producenten van NOS DACs dan inferieure technieken toepassen of zou er hier sprake zijn van meetfouten?

De volgende test werd in ons lab uitgevoerd. Regelmatig doen wij onderzoek naar de eigenschappen van DAC-chips die mogelijk geschikt kunnen zijn voor toepassing in audioapparatuur. Vaak is de opzet zeer experimenteel, waarbij diverse componenten met elkaar worden verbonden en weer vervangen door andere componenten. Dit soort onderzoeken is vooral gefocust op zaken als lineariteit, vervorming, schakelruis en geluidskwaliteit. Eerder werd aangegeven dat telkens blijkt, dat relatief snelle elektronica beter klinkt dan de tragere varianten; dit zagen we onder andere terug in het gedrag van stroom/spanning-omzetters. Bij het toepassen van deze snelle componenten zien we echter dat de resultaten van de jittertest (met de Jtest) beduidend verslechteren en in de orde van 2 nanoseconden liggen. Meten we gelijktijdig de jitter in het tijdsdomein, zien we in genoemde testopstelling dat de data- en kloksignalen onder de 30 picoseconden blijven. De aanname dat de meting mogelijk verstoord kan worden door componenten in het signaal, die van buiten het audiogebied komen, werd uiteindelijk bevestigd. Door toepassing van een stroom/spanning-omzetters met een zeer matige open lus bandbreedte en dito slew rate veranderden de meetresultaten drastisch. De Jtest gaf nu vrijwel hetzelfde resultaat als de tijdmeting, maar het bijkomende effect was helaas dat bij het beluisteren van muziek de weergave plat en pretentieloos bleek te zijn geworden.

Bij het gebruik van een spectrum-analyzer voor jittermetingen valt op dat niet alleen tijdsvariaties, maar ook amplitudevariaties van een signaal leiden tot het verbreden van de basis. Ook signalen van buiten het audiospectrum, zoals een 50Hz-brom door toedoen van een slechte voeding, kunnen een vertekend beeld geven. Zo kunnen een (feitelijk onhoorbaar) signaal van 88kHz en een signaal van 91kHz samen een verschilfrequentie opleveren van 3kHz, die op zijn beurt het meetsignaal moduleert. Daarom kan de Jtest alleen maar worden toegepast op een klassieke DAC met dito steile filters.

Hieronder staat een Jtest-meting, die is uitgevoerd op een NOS DAC. De naaldjes naast het hoofdsignaal geven de mate van jitter aan. Deze zijn voor hedendaagse begrippen veel te hoog, maar worden veroorzaakt door het ontbreken van het filter, waardoor de meting negatief wordt beïnvloed. Dezelfde DAC geeft een werkelijke tijdsfout van slechts ongeveer 20 picoseconden, wat niet in de meting tot uiting komt.



Omdat het basilaar membraan van ons gehoor als een steil filter werkt, is het eigenlijk een deel van de DAC geworden. De metingen aan een NOS DAC worden dus feitelijk niet op het eindpunt gemeten, maar vóór het filter (ons gehoor). Hierin schuilt het probleem van de verschillen, die ontstaan tussen de werkelijke tijdsmeting en de manier waarop de Jtest de meting interpreteert en weergeeft.

Conclusie

NOS DACs winnen de laatste jaren aan populariteit, vooral op basis van luistertesten. Vooral mensen die regelmatig live muziek ervaren, blijken een voorkeur voor dit type DAC te hebben. Zoals Kusunoki al aangaf, is vooral het gedrag in het tijdsdomein van oversampling DACs de reden dat een zekere mate van onnatuurlijkheid wordt waargenomen. Dit laat zich vooral vaststellen door een slechtere weergave van percussie-instrumenten en een soort "over-detaillering", waardoor de specifieke klankkleur en "warmte" van bepaalde instrumenten verloren gaat. Het blijft de vraag of we moeten vasthouden aan meetresultaten of dat we ons gehoor moeten geloven.

De ontwikkeling van digitale audiosystemen is nog lang niet ten einde en we zullen zeker geconfronteerd worden met nieuwe ontwikkelingen. Zeker is wel, dat er door de komst van High Definition opnamen steeds minder reden is voor oversampling en steeds minder noodzaak voor steil filteren. Het is de vraag wat we met het enorme aanbod aan CD's moeten doen, gezien de lage sampling-rate van 44.1kHz. Oversampling of Non-OverSampling? Het laatste krijgt om muzikale redenen de voorkeur van musici en audio-professionals, ondanks de "beperkingen" die de metingen ons willen doen geloven. Laat uw oren beslissen!

Cees Ruijtenberg
 Metrum Acoustics
www.metrum-acoustics.com