

Hoe hoorbaar is 5 % THD dat louter uit de tweede harmonische bestaat?

Verantwoording van de filebewerking en uitslag

J.C.A. Dekkers

November 9, 2006

Abstract

Uit nieuwsgierigheid ben ik een zoektocht begonnen naar de effecten van harmonische vervorming. Te beginnen bij de tweede orde en met een in cijfer hoog percentage: 5 %. dit levert al direct een praktisch probleem op, want vervorming is amplitude afhankelijk. Die 5 % kan dus maar voor 1 amplitude gelden, kleinere amplituden hebben minder vervorming en grotere amplituden hebben meer dan 5 %. Dit artikel beschrijft de totstandkoming van de testfiles en de afwegingen die gemaakt zijn.

Contents

1	Het gekozen bronmateriaal	2
2	Het gebruikte model	2
3	De bewerking van de files	3
4	De verwachte lineaire afwijkingen	5
5	Enkele analyses op de files	8
5.1	Het gemiddelde of DC niveau	8
5.2	Het piek niveau	8
6	Uitslag van de poll's	8

1 Het gekozen bronmateriaal

Het gekozen bron materiaal is afkomstig van deze sacd:



Arts 47649-8.

En dan track 12 (PCM laag), Badinerie uit de 2de suite van Bach (BMV1067).

2 Het gebruikte model

Niet-lineaire vervorming is een proces waarbij het ingangssignaal op een bijzondere manier wordt aangetast. Blokschematisch kan deze vorm van vervorming als in Fig. 1 volgt worden voorgesteld.

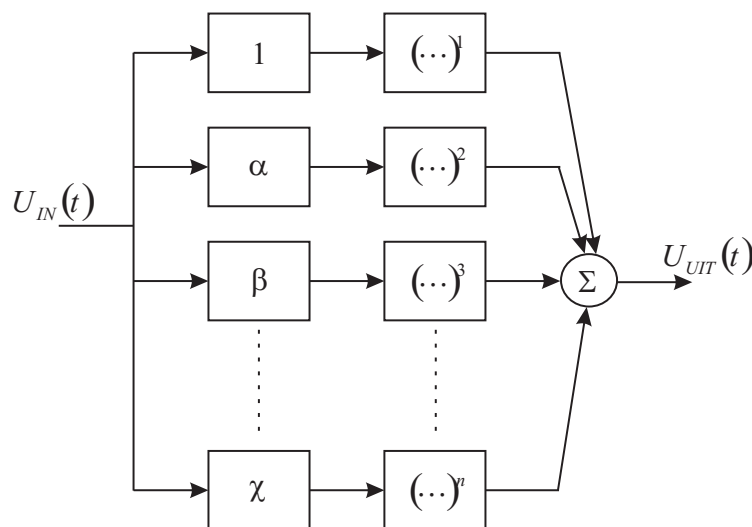


Figure 1: Algemeen model voor vervorming.

Waarbij de factoren α , β , ... weegfactoren zijn die het gedrag bepalen. Merk overigens op dat dit model ook opgaat voor tegengekoppelde systemen, maar dat de weegfactoren dan niet constant zijn. Ze worden afhankelijk van de lusversterking.

In dit voorbeeld wordt uitgegaan van louter 2de orde vervorming en dat wil dus zeggen dat de overdracht reduceert naar

$$U_{uit} = U_{in} + \alpha \cdot (U_{in})^2 \quad (1)$$

Stel dat hetingangssignaal een enkele sinus is ($U_{in} = A \sin(\omega t)$), dan wordt het **ongewenste** signaal

$$\frac{A^2}{2} - \frac{A^2}{2} \cos(2\omega t) \quad (2)$$

Waarin duidelijk een DC term en de harmonische vervorming is te herkennen. Het systeem werkt ook op meerdere sinussen en krijgt dan het karakter van intermodulatie vervorming. Bij een ingangssignaal

$$A \sin(\omega_1 t) + B \sin(\omega_2 t) \quad (3)$$

dan wordt het ongewenste signaal

$$\frac{A^2 + B^2}{2} - \frac{A^2 + B^2}{2} \{\cos(2\omega_1 t) + \cos(2\omega_2 t)\} - AB \{\cos(\omega_1 t + \omega_2 t) - \cos(\omega_1 t - \omega_2 t)\} \quad (4)$$

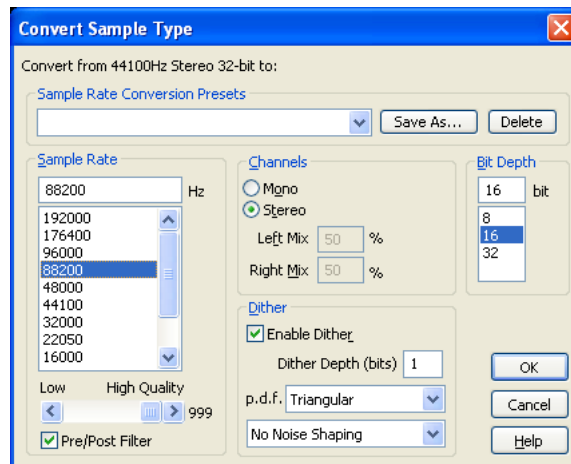
Het ongewenste signaal is nu te verdelen in drie termen: een DC term, een harmonische vervormingsterm en een verschilfrequentie term. Deze laatste is een intermodulatieterm. De conclusie kan getrokken worden dat de bandbreedte van het signaal verdubbeld wordt. Ik zal dus mijn samplefrequentie moeten verdubbelen alvorens deze bewerking uit te voeren.

3 De bewerking van de files

In het kort komt het op het volgende neer:

- De 16 bit 44.1 kHz file upsamplen naar een resolutie van 32 bit;
- De 32 bit file resamplen naar 88.2 kHz met de filterkwaliteit op maximaal;
- De grens bepalen voor de 5 % THD;
- De kwadratische functie loslaten op de tijddiscrete samples;
- De nu ontstane file filteren (66ste orde Butterworth op 21 kHz) in een audio editor;
- Tot slot de file met correcte dither terugbrengen naar cd formaat waarbij de hoogste kwaliteit interpolatie is gebruikt.

Ook het origineel heeft deze bewerkingen ondergaan met uitzondering van de kwadratische functie. Het filteren (zichtbaar op de linkerhelft) en de dither die gebruikt is (alleen gebruikt bij de laatste slag) is hieronder te zien.



De grens voor de 5 % THD is aan de hand van een sinus met een bepaalde amplitude. Deze zal van te voren bepaald moeten worden. Ik heb gekozen om twee grenzen te hanteren, de eerste op het piekniveau en de tweede daar 6 dB onder. Er zullen dus twee files gemaakt worden. De piek en maximale loudness waarden zijn hieronder weergegeven.



In groen is aan de rechterkant af te lezen dat het piekniveau -6.27 dBFS is. En in blauw daaronder is -19.63 dBFS af te lezen als maximale loudness. In werkelijkheid zal de loudness nog daaronder liggen. De grens voor de 5 % THD is daarom gekozen op -6.3 dBFS en voor de tweede file op -12.3 dBFS.

Het script ziet er in MatLab zo uit:

```
1 - clear;
2 - h = waitbar(0,'Please wait...(until this baby disappears)');
3 - AdBFS = -24.6;
4 - DistortionPercentage = 5;
5 - A = 10.^(AdBFS./20);
6 - [audio, fs, bits] = wavread('Z:\Audio_cd\THD\Badinerie32_88200.wav');
7 - c = audio(:,1);
8 - d = audio(:,2);
9 - %
10 - DistortionIM = -20.*log10(DistortionPercentage./100);
11 - DistortionIMlevel = AdBFS - DistortionIM;
12 - SecondOrderDistortionAmplitude = 10.^(DistortionIMlevel./20)./(A.*A./2);
13 - c2 = SecondOrderDistortionAmplitude.*c.*c;
14 - d2 = SecondOrderDistortionAmplitude.*d.*d;
15 - ft = c + c2;
16 - gt = d + d2;
17 - wavwrite([ft gt],fs,bits,'z:\Audio_cd\THD\File2');
18 - close(h)
```

4 De verwachte lineaire afwijkingen

In het algemeen geldt voor de amplitudekarakteristiek¹:

$$|H|^2 = \frac{H_0^2}{\prod_i [1 + (a_i^2 - 2b_i) \omega_n^2 + b_i^2 \omega_n^4]} \quad (5)$$

, voor de fasekarakteristiek:

$$\varphi = - \sum_i \arctan \frac{a_i \omega_n}{1 - b_i \omega_n^2} \quad (6)$$

en voor de groepslooptijd kan men schrijven

$$\tau = \frac{1}{\omega_c} \sum_i \frac{a_i (1 + b_i \omega_n^2)}{1 + (a_i^2 - 2b_i) \omega_n^2 + b_i^2 \omega_n^4} \quad (7)$$

Voor een Butterworth filter van even orde geldt voor de a_i en b_i :

$$a_i = 2 \cos \frac{(2i-1)\pi}{2n} \quad \left(i = 1 \dots \frac{n}{2} \right), \quad (8)$$

$$b_i = 1$$

Het gebruikte filter was van orde 66 dus ik verwacht de volgende eigenschappen. De amplitude karakteristiek rond het kantelpunt (= 21 kHz) is gegeven in Fig. 2. Het gedrag van het filter in een iets groter frequentiegebied is te zien in Fig. 3. De verzwakking op 22050 Hz is circa 28 dB.

Ik ben uitgegaan van een niet hoorbare en dus toelaatbare groepslooptijdvariatie van 250 us. Fig. 4 laat de groepslooptijd zien en het rechter label geeft aan dat daar de 250 us grens wordt overschreden. Dit is echter bij 19,5 kHz dus dit wordt als onhoorbaar beschouwd.

¹ $\omega_n = \frac{\omega}{\omega_c}$

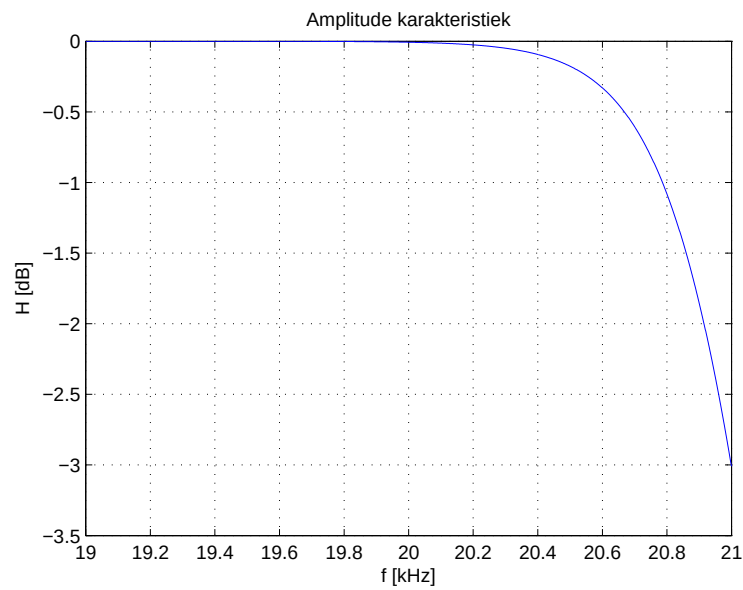


Figure 2: De amplitude karakteristiek rond de kantelfrequentie.

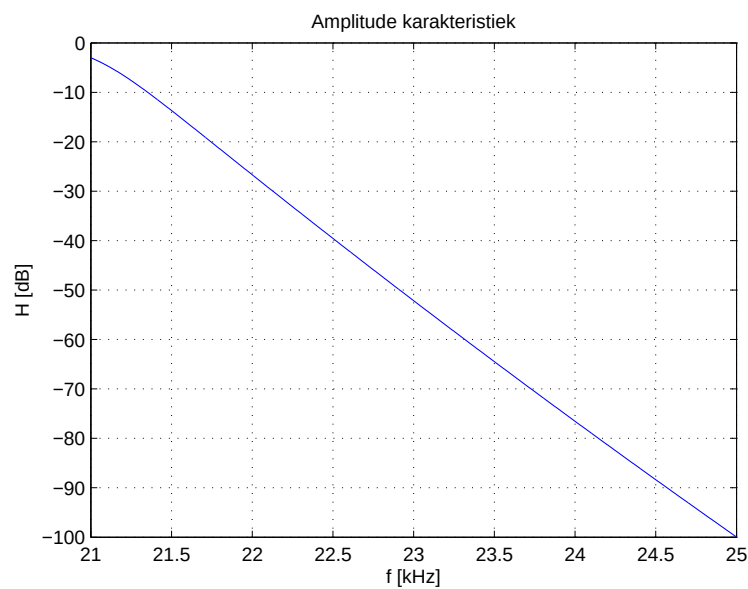


Figure 3: De amplitude karakteristiek met $H = -28$ dB bij $f = 22050$ Hz.

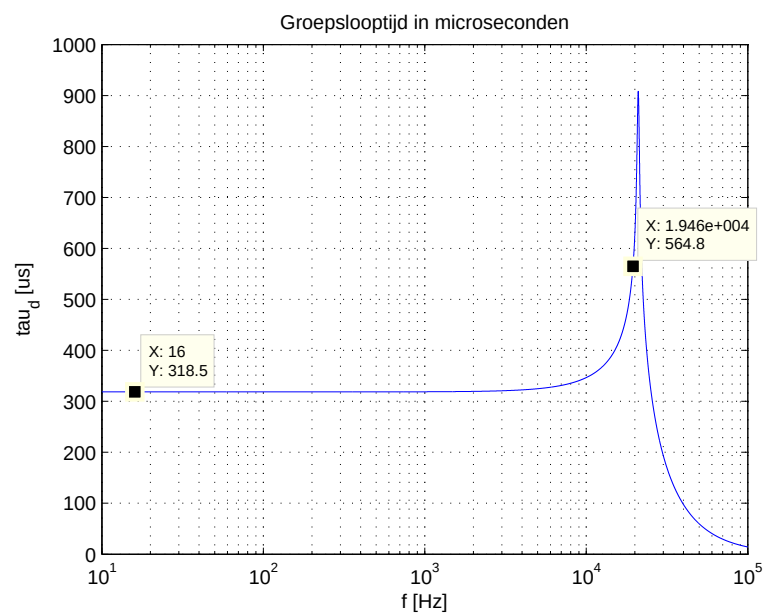


Figure 4: De groepslooptijd van een 66ste orde Butterworth filter in microseconde.

5 Enkele analyses op de files

5.1 Het gemiddelde of DC niveau

Even orde vervorming veroorzaakt een verschuiving van het DC niveau. Dit zou dus in de files moeten terugkomen. Zie onderstaande tabel voor de gevonden waarden voor DC.

File	DC in Links [dBFS]	DC in Rechts [dBFS]
1.wav	-57.0	-57.3
2.wav	-90.7	-116.9
3.wav	-63.2	-63.3

De file met de meeste tweede orde vervorming heeft inderdaad de hoogste DC waarde.

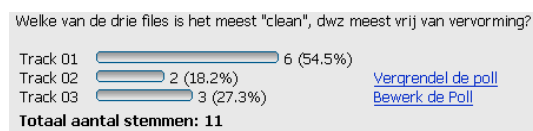
5.2 Het piek niveau

De verwachting is dat de file met de grootste piek amplitude, de file is met de meeste vervorming. Zie de volgende tabel.

File	Piek in Links [dBFS]	Piek in Rechts [dBFS]
1.wav	-4.7	-5.4
2.wav	-6.3	-6.9
3.wav	-5.4	-6.1

6 Uitslag van de poll's

Hiforum:



Hear forum:



Zelfbouwaudio forum:

