

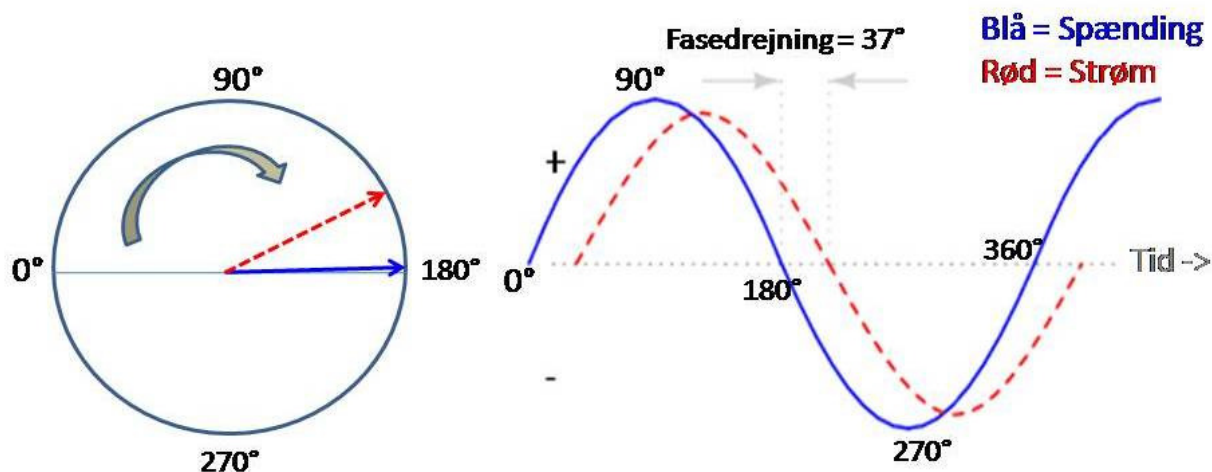
# Fasedrejning og dens betydning for lyden

## Hvad er fasedrejning?

Hvis vi lige starter med den hardcore teori, så er fasedrejning en forskydning af strøm i forhold til spænding. Det opstår i spoler og kondensatorer, og er en helt normal og beregnelig funktion af deres værdi.

Så der er altså ikke forskel på fasedrejningen fra de billigste industrikomponenter eller de dyre audiophile stumper – det er ganske enkelt en helt uundgåelig (og nødvendig) del af deres operation.

Fasedrejning måles i grader og angives typisk fra +180 til -180. Graderne repræsenterer den vinkel som en sinus generator er ude af takt (forud eller bagud) i forhold til en bestemt fast frekvens.



Konsekvensen af fasedrejning er en lille frekvensafhængig forsinkelse.

Hvis fasedrejningen ved en given frekvens er 180°, så er strømmen altså forsinket en halv bølgelængde. Det vil sige at vi er gået fra en bølgetop til en bølgedal eller omvendt, og derfor siger man populært at en fasedrejning på 180° svarer til en invertering af signalet, eller ombytning af + og – på højttalerkablet.

En forskydning på 360° siger man populært er det samme som 0°, da bølgerne jo nu er i takt, altså at bølgetop og bølgedale for både spænding og strøm passer overens. Dette gør beregning og simulering af filtre og kredsløb uendeligt meget nemmere. Men husk at ved 360° er strømmen en hel bølgelængde bagud, så det er altså stadig en væsentlig ændring af signalet.

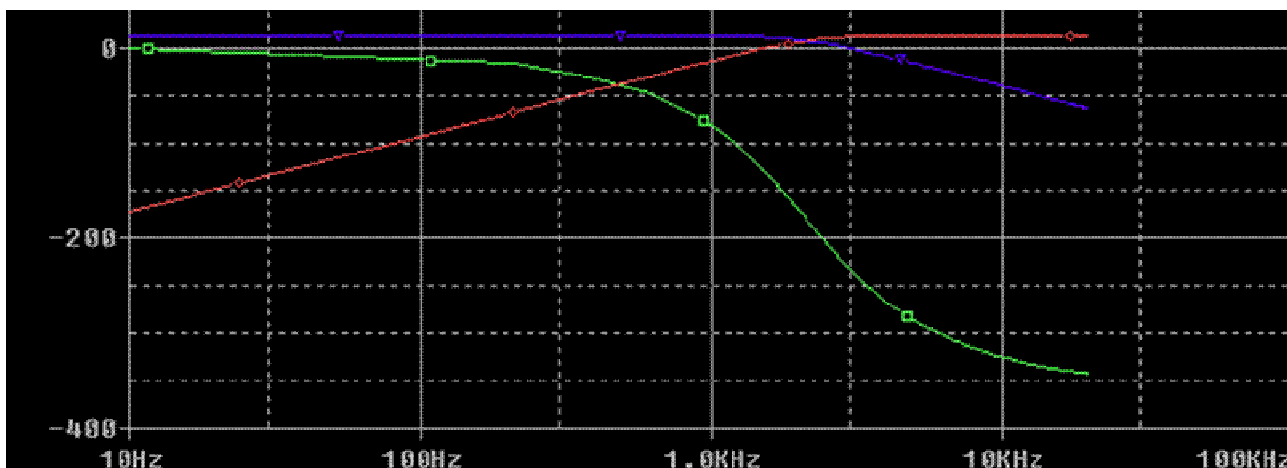
## Hvad betyder det for lyden?

Fangede du frasen fra før: "...en lille frekvensafhængig forsinkelse" !

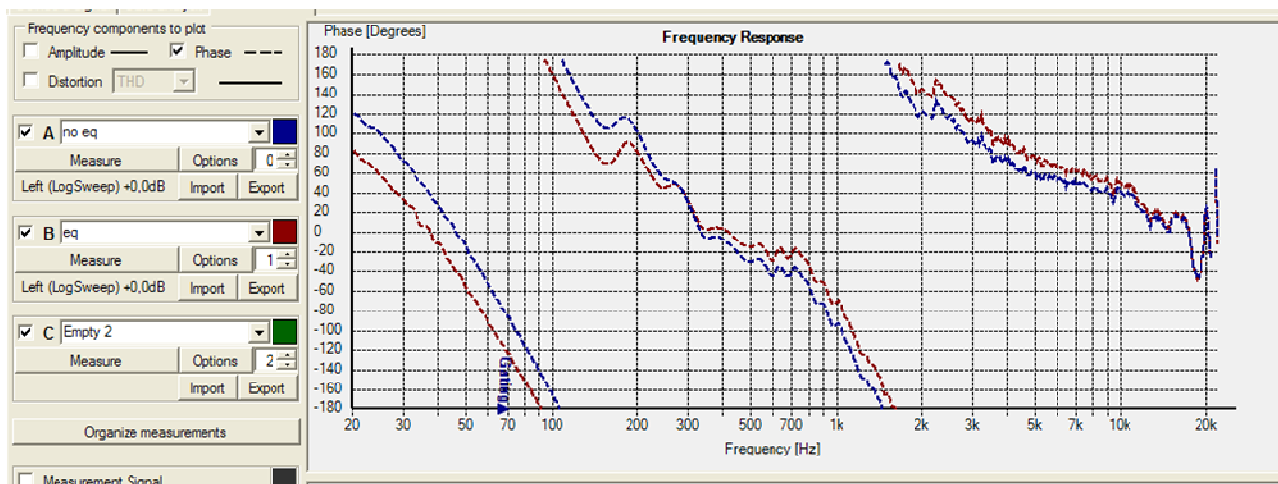
Det er jo noget vi slet ikke ønsker i vores hifi system. Men bare rolig, det lyder meget værre end der er ( ...altså : Det ser meget værre ud på tekst end det opfattes i virkeligheden! )

I alle audiosystemer er der nemlig fasedrejning

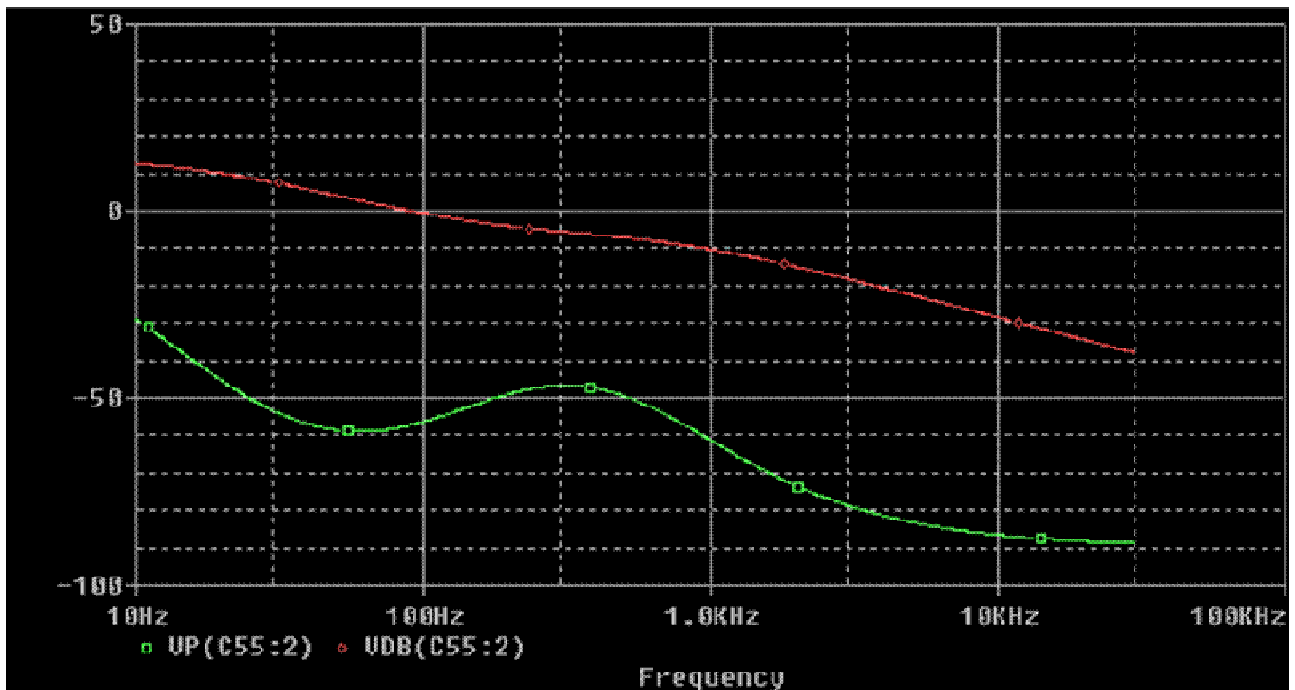
- f.eks. har dine højttalere typisk et 90-180 grader skift ved hver delefrekvens,
  - hvis du har refleksport eller en anden form for åben baffel så får du lige et skift mere i bunden,
  - medmindre at din forstærker kan gengive fra 2Hz til 200kHz, så vil den også bidrage til fasedrejningen imellem 20Hz og 20kHz,
  - og din Rira forstærker giver dig 90 grader ekstra - endda lidt ujævnt fordelt.
- Alle disse fasedrejninger skal lægges oven i hinanden hvis man måler fra start til slut. Så et almindeligt audiosystem kan altså hurtigt have op til et par tusinde graders fasedrejning fordelt over hele audiobåndet.



Simulering af et 2-vejs 4.ordens (24dB/oktav) delefilter ved ca 2.2kHz. Rød er frekvensgang for diskanten, blå er frekvensgang for bassen, og den grønne er den samlede fasedrejning. Havde det kun været et 2.ordens (12dB/oktav) filter, så havde den totale fasedrejning været det halve, men frekvensafskæringene havde også været halvt så skarpe.



Her er den målte fasegang i mit 3-vejs system med lukkede kabinetter. De små hop og ripler er variationer måske pga. rummet, mit diskantorn, frontbaffelen, forstærkerne og alt muligt. Læg mærke til de to skift, hvor kurven går ud af billedet og kommer ind igen. Det er i princippet det samme der sker som i simuleringen ovenfor, men målingen viser det bare anderledes. I stedet for  $-400^{\circ}$  i simuleringen vises skalaen her fra  $-180^{\circ}$  til  $+180^{\circ}$ , og samtidig sættes  $360^{\circ} = 0^{\circ}$ . Der sker det samme ved hver delefrekvens, så altså to skift på  $360^{\circ}$  hver, samlet  $720^{\circ}$  over hele det hørbare område.



De fleste kender den typiske RIAA forstærkers frekvensgang(rød) . Her er også vist dens fasegang (grøn). (simuleret)

"Hmmm men lidt hørbart må det jo være!" ...tænker du sikkert. Men på trods af at det er målbart, så er der faktisk ikke nogen undersøgelser der entydigt kan bevise at det er hørbart. Hvis fasedrejningen ved et bestemt frekvensområde er ensartet, så er det umuligt at høre.

Men bratte skift i fasegangen over et lille frekvensspænd er til gengæld meget hørbart. (Rent faktisk er det ikke selve fasedrejningen man hører, men ændringen i impulsresponse og comb-filter-effekt som følge af udfasninger – men det skyldes altså fasedrejningen.)

Meget interessant har man i musiker-verdenen en guitarpedal der hedder en "phaser" eller en "flanger" som netop laver en kunstig fasedrejning for at give en speciel 'sound'. Den er lavet for at man kan få den samme sound som fra hvis man i pladestudiet satte en finger på spolebåndets kant ('flange'), så den kom en lille bitte smule ud af sync. Nu skal du høre hvordan fasedrejning lyder: Gå hen og hent din Lenny Kravitz CD ( eller LP ... eller hvad som helst) og sæt nummeret "Are you gonna go my way" på spillen, nyd musikken og læg så mærke til guitarsoloen 2:09 inde – Her kan du høre præcis hvordan fasedrejning lyder! (Eller gå på wikipedia.org og skriv flanging, så er der også et par lydclip.)

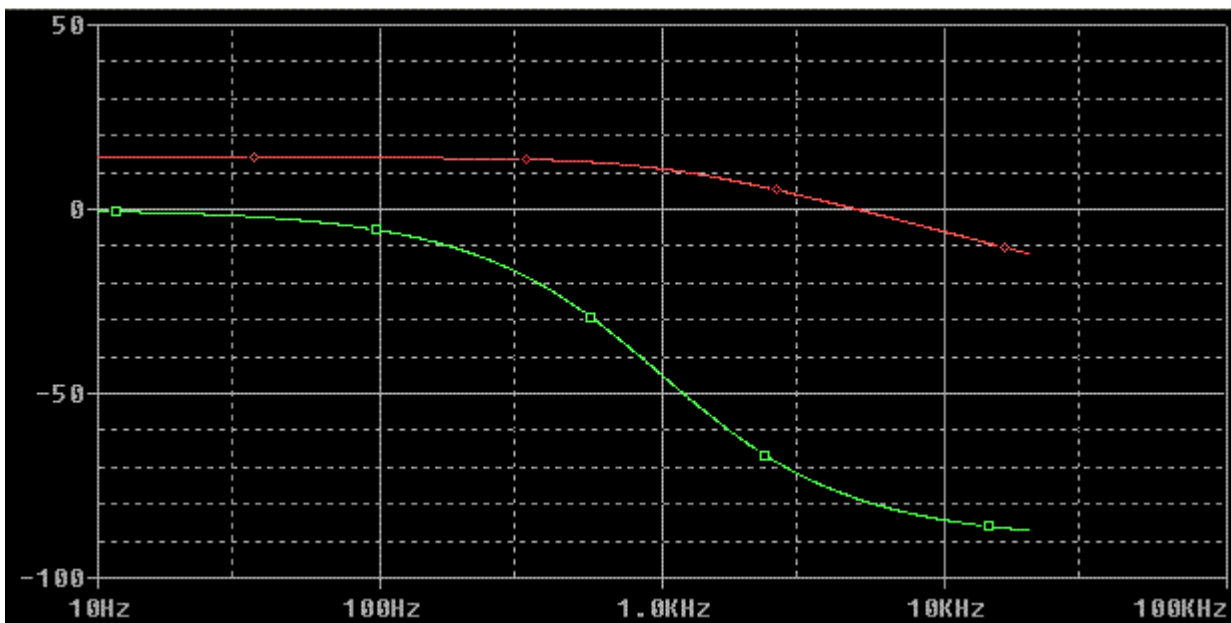
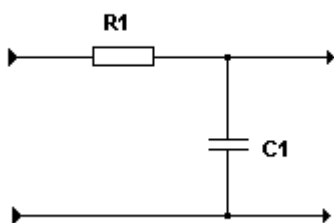
Inden du nu grædende flår din skive af dit hifi-anlæg, slukker og bare har lyst til at droppe det hele, så skal du vide at dette var lyden af *varierende* fasedrejning! Du kan kun høre det fordi at det er moduleret – altså ændrer sig hele tiden. Hvis fasedrejningen er fast, så er den umulig at høre. Og så skal vi jo huske at fasedrejningen her var tilsigtet – man ønskede præcis denne effekt, og det er jo netop forskellen på "skabelsen" af musik og "gengivelsen" fra vores anlæg. ....så lyt du bare videre til Lenny Kravitz, det er jo herlig musik.

## Sådan opstår det

Det er faktisk i virkeligheden netop fasedrejning der definerer en filtrering, og dermed har man også svaret på hvorfor fasedrejning er uundgåeligt, så længe man har en-eller-anden filterfunktion eller frekvensjustering i ens kæde.

Et almindeligt 1.ordens RC-filter beregnes til en grænsefrekvens hvor signalet er dæmpet med -3dB... men hvorfor beregner man egentlig ikke til hvor den er -0.1dB eller bedre?

Det er simpelthen fordi at filtreringsfunktionen i virkeligheden bestemmes af fasedrejningen, der hvor grænsefrekvensen er drejet  $45^\circ$  som er halvvejs til filtrets totale fasedrejning på  $90^\circ$ ! Altså lige der hvor at kondensatorens ohmske værdi skifter fra at være væsentlig større end modstandens værdi til at udforme et decideret dæmpeled sammen med modstanden.



Her er simuleringen af et 1kHz 1.ordens RC lowpass filter. Den røde er frekvensgangen og den grønne er fasegangen. Ved 1kHz er fasedrejningen præcis  $45^\circ$ , og det er dét der definerer skæringsfrekvensen. Læg mærke til at fasegangen først 'stabiliserer sig' ca 10 gange over- og 10 gange under skæringsfrekvensen.

## Men hvordan minimerer jeg fasedrejning?

Man kunne jo 'shoppe' efter det mest fasekorrekte anlæg, og her er fuldtone / en-vejs højttalere vejen frem, da de jo som bekendt ikke har behov for et delefilter. Disse kan dog stadig ikke sige sig helt fri for fasedrejning, da der ofte et frekvens korrigerings filter i serie med enheden. Desuden har

baffeludformning også har noget at sige. Og hvis der er monteret bagladehorn eller basrefleks sammen med, ja så opstår fasedrejningen også her.

Med hensyn til forstærkere, så er det jo sådan at de indbyggede frekvensbegrænsninger (lavet for at undgå DC-fejl og selvsving) jo påvirker fasen 10 gange under og 10 gange over skæringsfrekvensen, så for at komme så tæt på perfekt fasegang som muligt fra 20Hz til 20kHz, ja så skal forstærkeren altså kunne gengive frekvenser fra 2Hz til 200kHz. Her kan vi så godt udelukke alle rørforstærkere og måske 90% af alle transistorforstærkere, og det ville jo være en skam.

Pladespillere skal jo som bekendt kobles til en RIAA forstærker, som jo både er en forstærker og et filter for equalize frekvensgangen, så her får du lige 90° fasedrejning, plus det som RIAA-encoding filteret gjorde ved signalet da pladen blev skåret.

CD-afspillere (og selve DAC chippen) har teoretisk set ingen fasedrejning, men det såkaldte anti-alias-filter kan påvirke. Hvis den øvre grænsefrekvens på din DAC er ca. 20kHz, ja så betyder det at du højst sandsynligt har fasedrejning fra 2kHz og opefter.

Ak og ve, men enten kan man skaffe sig en CD afspiller med FDNR filtrering ( f.eks fra Accuphase og Sony), eller en CD-afspiller hvor man har kompenseret for fasedrejningen inden DA konverteringen ( f.eks. Wadia og Pioneer).

Men det nemmeste er nok bare en DAC der kan modtage og gengive højere samplingsfrekvenser samt opsamle 44.1kHz til noget højere. Så bliver fasedrejningen væsentligt mindre, eller helt væk.

Så som du kan se så er det svært at shoppe sig til et komplet system der ikke har fasedrejning.

### **Kan man ikke undgå fasedrejning helt?**

Jo...eller det vil sige at man kompensere dem væk, men det kan kun lade sig gøre i det digitale domæne.

Holm Acoustics, Lyngdorf og andre meget avancerede digitale rumkorrektions systemer, benytter avanceret processering, og på den måde kan man udligne fasefejlene (som jo er tidsmæssige fejl) der opstår i højttalere, delefiltre, rum osv. Voila: ret fasegang - og frekvensgang.

Læg dog mærke til at blot fordi at en equalizer eller en rumkorrigerer arbejder digitalt, er det ikke ensbetydende med at den ikke giver fasedrejning. Så f.eks. en 'standard' surroundreceiver der laver en digital rumkorrigerer laver altså ligeså meget rod i fasedrejningen som en standard analog grafisk equalizer. Selvfølgelig er der nogle af de mere avancerede af slagsen der også kompenserer på fasen, men det er altså ikke noget man bare 'får med' gratis, blot fordi at enheden arbejder digitalt.

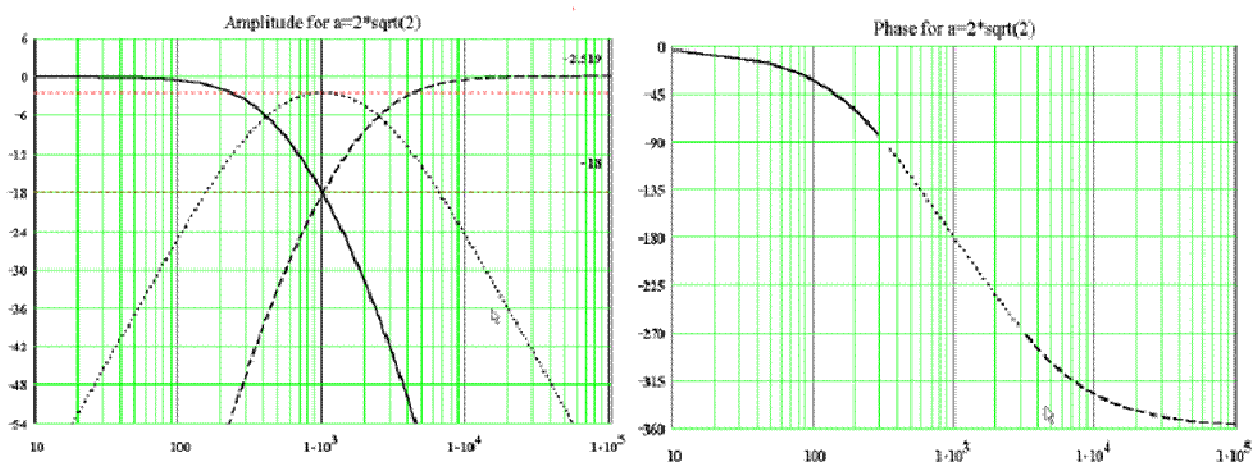
Forklaringen er, at en standard digital implementering af en analog filterfunktion har nemlig stadig den samme fasedrejning, som vist i eksemplet ovenfor. Filtreringen er blot beregnet i en processor efter præcis samme formel som det analoge filter.

## Go easy

Man kan også have en lidt mindre ekstrem tilgang til det:

Da fasedrejning er umulig at høre, i hvert fald hvis ændringen er 'blød' – altså ikke skifter alt for voldsomt på et for kort frekvens-spænd, kan man jo prøve at udnytte det.

Det var netop det den i Danmark verdensberømte højttalerkonstruktør Steen Duelund gjorde i hans højttalere og især delefiltere – han prøvede ikke at undgå fasedrejning, han søgte blot at gøre ændringerne i fasegangen svagest mulige, og dermed meget mindre hørbar. Ved simpelthen at fintrimme delefrekvenserne til den mest lineære fasegang, spredte han de uundgåelige totale  $360^\circ$  fasedrejning (for et 3-vejs system med 2.ordens filtre), ud over *hele* frekvensspekret – og dermed den blødest mulige fasegang. Genialt, og i høj grad et eksempel på et delefilter der arbejder *sammen med* højttaleren i stedet for at være et separat kredsløb!



Duelunds delefilter. Frekvensgang til venstre og fasegang til højre.

Billede er taget fra: [http://www.duelundaudio.com/downloads/Articles\\_Steen\\_Duelund/duelund-filter.pdf](http://www.duelundaudio.com/downloads/Articles_Steen_Duelund/duelund-filter.pdf)

Med hensyn til fasedrejning i delefiltere kan man jo også blot ræsonere, at siden lyden alligevel skal skifte fra den ene højttalerenhed til den anden, så er der jo alligevel en form for 'skift' og dermed er det selvfølgelig knap så slemt at acceptere at der lige her sker et decideret faseskift.

## Konklusion

Fasedrejning er meget svært at undgå, men heldigvis også svært at høre.

Man bør helt klart prioritere ret frekvensgang, korrekt dynamik og lav forvrængning langt over fasedrejning.

Og inden du sætter dig hen og koncentreret lytter efter og tænker "Uha - Jeg tror jeg har lidt fasedrejning i nedre mellemtone!", så synes jeg at du blot skal glemme at du har læst denne artikel og slappe af og nyde musikken, også selvom at du skulle have lidt fasedrejning.