

HIFI4ALL.DK

Lyd & Højttalerbyg - 6. del

Arne Rodahl [24.03.2008]

Subwoofere - 6. del af Arne Rodahls artikelserie omhandlende den forunderlige verden omkring lyd og højttalerbyg.

6. del

SUBWOOFERE



En subwoofer er et højttalermodul, der kan gengive frekvensområdet fra ca. 150 Hz og ned til ca. 20 Hz. Det kan dog bemærkes, at det ikke er ualmindeligt, at se betegnelsen (mis)brugt for basmoduler, der ikke magter at gengive frekvenser dybere end 80 – 90 Hz.

Subwooferens formåen med hensyn til frekvenslinearitet og gengivestyrke beror i vid udstrækning på lytterummets dimensioner, geometriske udformning samt placeringsstedet relateret til vægflader. Omskrevet kan man nærmest betegne subwooferen som et højttaler-system med to kabinetter, - et lille som er selve højttalerkabinettet og et stort svarende til rummet hvori højttaleren er placeret.

Som kabinetsystem kan anvendes trykkammer, basrefleks, slavesystem eller båndpas. Alle nævnte systemer kan være velegnede, såfremt de konstrueres til at gengive en subwoofer's specifikke frekvensområde med tilstrækkelig styrke, dynamik og lav forvrængning. Se del 3, "kabinetkonstruktioner".

Subwoofere kan være passive systemer, der tilsluttes direkte til en forstærker, f.eks. sammen med to satellitter eller aktive systemer, der ses anvendt mere og mere. Fordelene ved de aktive systemer, d.v.s. med en indbygget forstærker, er markante og gode indbygningsforstærkere med tilstrækkelig effekt kan erhverves til rimelige priser.

Subwooferen og akustikken

Valg af subwoofere til specifikke formål med optimal gengivelse kan være temmelig problematisk med hensyn til den akustiske tilpasning mellem rum og højttaler. Se også afsnittet "Akustik", 1. del. Man kan ikke give en færdig opskrift på den ideelle subwoofer. Gode resultater opnås kun ved mange praktiske forsøg, - og endelig er der jo også den ikke uvæsentlige, subjektive opfattelse af hvordan basgengivelse skal lyde.

En vigtig faktor for subwooferegens gengiverkvalitet er dens placering i rummet, idet frekvenser under ca. 125 Hz breder sig som trykbølger i kugleform, - altså i alle retninger. Placeres subwooferen tæt på vægflader og gulv opstår der refleksionsforstærkning, idet trykbølgernes energiindhold ikke kan brede sig i alle retninger og dermed fortyndes, men i stedet rammer vægfladerne, reflekteres og adderes til den øvrige udstråling. Se 1. del, planche nr. 3. Resultatet er en gennemsnitlig, akustisk øgning på ca. 6 dB pr. vægflade eller gulv. Placeres subwooferen på gulvet i et hjørne, giver dette således en akustisk forstærkning i visse tilfælde op til 18 dB. Hertil skal yderligere lægges et bidrag fra selv rummet, der ved dybe frekvenser, fungerer som et stort resonanskammer. I et typisk lytterum på 6,4 x 4,3 x 2,4 m vil der dannes rumresonanser, også kaldet stående bølger, ved 27, 40, 49, 54, 71, 76, 81, 86 og 97 Hz.

Og endnu en drilleping, - lytteafstanden mellem lydkilde og lytter. Mange har nok oplevet at styrken af de lave frekvenser varierer når afstanden mellem højtaler og lytter ændres. Fænomenet skal findes under begrebet bølgelængde, hvor som bekendt faser varierer i en lydbølges tidsforløb. Se del 1, "Lydlære, bølgelængde". Konklusionen bliver, at en ensartet basgengivelse i almindelige lytterum i boligen langt fra er mulig, - naturlove kan ikke ændres, heller ikke lydens.

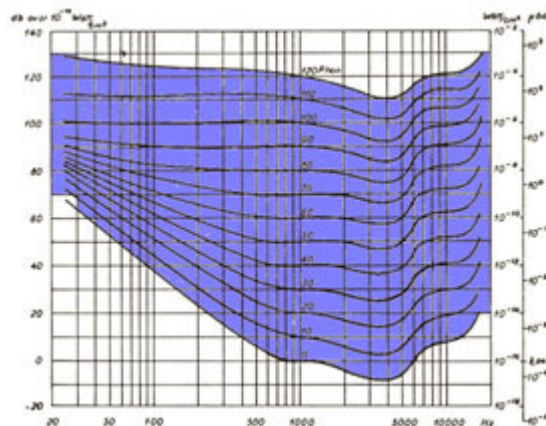
Gengivelse af de dybeste oktaver i boligen, er og bliver kompromisser!

Hvor dybe frekvenser?

Der findes ikke mange musik-CD'er, der indeholder frekvenser under 30 Hz og de relative få der findes kan f.eks. være indspilninger med synthesizer. Således er de dybeste grundtoner fra en kontrabas: 40 Hz eller fra et orgel (typisk): 32 Hz. Bruges subwooferen sammen med film, f.eks. i et surround system, kan endnu dybere frekvenser forekomme i form af lydeffekter. Det skal samtidig bemærkes at ørets følsomhed ved lave frekvenser er meget ringe, - der skal faktisk ca. 90 dB lydtryk til, før vi kan opfatte frekvensen 20 Hz. Noget andet er så, at man kan føle disse lave frekvenser som vibrationer med hele kroppen. Mange af disse vibrationer kan forplante sig i rummet og sætte væg- og gulvflader, andre genstande og ikke mindst højtalerkabinettet i uønskede svingninger, hvilket alt sammen bidrager med en hørbar forvrængning af lyden.

Subwoofereens dynamiske område

Ørets lave følsomhed ved lave frekvenser sætter en væsentlig begrænsning for det dynamiske område.



Ørets dynamiske område: Blåt felt

Bemærk den begrænsede dynamik i subwoofereens frekvensområde, sammenlignet med det mellemste frekvensområde.

Man kan næppe forvente, at kunne gengive de laveste frekvenser med et lydtryk på meget mere end 110 dB, - hvilket i sig selv kræver en hel del. Ved 30 Hz kan man således kun opnå et dynamisk område på ca. 25 - 30 dB, - ikke meget når man i mellemtoneområdet kan opnå over 100 dB. Ved en analyse af typiske CD-plader med instrumenter som basguitar, akustisk bas, pauker og stortromme er lydniveauet under 40 Hz relativt lavt, men til gengæld kan niveauet være kraftigt i instrumenternes egentlige arbejdsområde. Man kan således konkludere at 40 Hz i de fleste tilfælde til musik brug er den magiske grænse som afskæringsfrekvens, forudsat et opnåeligt niveau på ca. 90 - 100 dB i spidserne. Ofte er det dynamisk kompression og ikke selve frekvensområdet, der skuffer og opleves som manglende bas. Mange "kompakthøjtalere" er måleteknisk i stand til at gengive de lave frekvenser, men ikke med det fornødne lydtryk og dermed manglende dynamiske egenskaber ved disse frekvenser.

Krav til drivere

Når man har fastsat kravet til subwoofereens nedre grænsefrekvens og det maksimale lydtryk, kan man beregne, hvor meget luft der skal flyttes og dermed hvor store udsving driverens membran skal udføre, - afhængigt af membranarealet. Med til at opfylde dette krav skal medregnes rummets bidrag til subwoofereens arbejdsområde, idet der reelt er tale om et hjørne (refleksforstærkning) uanset hvor man placerer subwooferen. Beregninger konkluderer, at et rum på 25 m² bidrager gennemsnitlig med ca. 15 dB under 100 Hz, beroende på placingssted relateret til vægflader. Niveauet er stigende med faldende frekvens og kan eksempelvis yderligere bidrage med op til 12 dB ved de helt lave frekvenser.

Subwooferen i lytterum, high-end

Sætter man et krav på ca. 100 dB ved 30 Hz i et rum på 25 m² siger beregninger, at driveren skal flytte 685 kubikcentimeter luft, svarende til hvad en 12" driver kan præstere med et membranudsving på 1,3 cm (+/- 6,5 mm). Benytter man i stedet fire 15" drivere, kræves der kun et membranudsving på 2 mm (+/- 1 mm), hvilket må siges at være et noget mere rimeligt krav, blot efterlader det problemet med fire 15" drivere og dertil hørende kabinet vil fylde temmelig meget i et rum på 25 m².

Subwooferen i lytterum, normal hi-fi

I det foregående beskrevne eksempel er vi selvfølgelig ud i ekstremer. Langt de fleste brugere af hi-fi kan selvfølgelig "nøjes" med at stille væsentligt mindre krav til subwoofers lydtryksformåen og nedre grænsefrekvens.

Kravet til nedre grænsefrekvens på 30 Hz kan vi slække på og sætte 40 Hz som tilstrækkelig. Med et krav til lydtryk (spidseffekt) på over 100 dB, så er det virkelig kraftigt i et rum på 25 m², - det er nok de få der i det daglige bruger så store lydtryk og naboerne skal der jo også tages hensyn til, specielt når det angår bas, der har det med at forplante sig gennem vægge og lange afstande. Så kravet på 100 dB kan vi godt slække på, mindre kan gøre det. Og det er netop i yderområderne det koster uforholdsmæssigt meget, f.eks. det at kunne gengive 30 Hz i stedet for 40 Hz eller et lydtryk på 100 dB i stedet for f. eks. 90 dB.

Ved at mindske de ekstreme krav, kan man slække på brugen af store drivere og dermed store kabinetter og i stedet koncentrere sig om brugen af drivere på 8"- 10", der kan optimeres til glimrende resultater. Det skal dog understreges at disse drivere skal opfylde nogle specifikke krav med hensyn til parametre, lang membranvinding (long throw), stor belastningsevne og eventuel dobbelt svingspole. Drivere på 8" gør sig godt i båndpassystemer og bruger man to driver i en push-pull konstellation kan kabinetvolumen næsten halveres, hvilket gør den særdeles, møbleringsvenlig. Et båndpassystem bestykket med to 8" (long throw) drivere i push-pull er faktisk i stand til at afgive et pænt, stort lydtryk med et præcist afstemt kabinet.

Subwooferen i koncertsalen og udendørs (PA)

Behovet er stort lydtryk! Altså der skal flyttes luft. For at flytte luft skal der som bekendt membranareal til. Alt efter behov benyttes typisk systemer bestykket med et antal 15" eller 18" drivere, - ofte i basrefleks kabinetter.

Det var selvfølgelig nærliggende at benytte en eller anden form for hornsystem, det ville jo være fristende med virkningsgrader op til 50 %. Brug af hornkabinetter vil dog medføre store ulemper i form af kæmpekabinetter, hvis hornet bare skal kunne gengive ned til 50 Hz, - og da højttalere til PA brug skal være mobile ville det ikke være hensigtsmæssigt. I stedet benyttes løsninger med et eller flere kabinetter, - ofte basrefleks bestykket med to eller fire drivere og så nogle kraftige forstærkere på op til flere tusinde watt til at drive dem. Subwoofere til udendørs brug og koncertsale har selvfølgelig ikke problemer med akustikken, idet refleksionsforstærkning og rumresonanser ikke påvirker gengiverkvaliteten i negativ retning.

Én eller to subwoofere?

Subwooferen er højttalersystemets største fysiske enhed og på ligefod med systemets øvrige komponenter efterspørger forbrugeren til stadighed mindre og mindre kabinetter. Møbleringsfordelene ved kun at benytte en subwoofer er indlysende, ligesom man ikke kan overse den økonomiske besparelse ved kun at skulle investere i en enkelt, men teoretisk er det nok mest hi-fi-korrekt med anvendelse af to subwoofere. Om man vælger at benytte én eller to subwoofere, er nok et prioriteringsspørgsmål, er møbleringen vigtigst, vælges én subwoofer, er lyd gengivelse vigtigst, vælges to subwoofere, hvis lydsammenhæng med satellitterne er bedst og hvis formåen af lydtryk tillige er større.

Den aktive subwoofer



- eller subwoofer med indbygget forstærker. Konstruktioner der ofte indebærer flere fordele sammenlignet med den passive subwoofer uden indbygget forstærker.

Fordele

- Lille kabellængde mellem udgangsforstærker og driver medvirker til en god dæmpningsfaktor og reducerer

effekttab.

- Reguleringsmuligheder (delefrekvens, styrke samt fase) muliggør mere præcise justeringer af sammenfald med satellithøjttalere.
- Filtrering af frekvensområdet der ikke skal gengives af subwooferen foretages i forstærkeren, hvorved tab i passive filtre undgås.
- Forstærkeren aflaster anlæggets forstærker, der herved kan bruge hele sin effekt til at drive satellitterne.

Ulemper

- Forstærkeren fordyrer konstruktionen.
- Traditionelle forstærkere udvikler varme, hvilket der må tages hensyn til i konstruktionen.

Hvordan justeres der til bedst mulige basgengivelse i lytterummet?

Overordnet skelnes der mellem akustiske og elektriske justeringer og optimeringer. Alle justeringer foretages med flere forskellige former for hjælpeværktøj *) - alt efter krav til optimeringen, kombineret med lyttetest.

Justeringerne har til formål, at optimere frekvenslineariteten med så få og små resonanser som muligt, at optimere faseforløbet således at toneforløb "hænger sammen" med de øvrige højttalere (satellitter) samt en tilpasning af styrkeniveauet til satellitterne.

Akustiske justeringer

Subwoofers teoretiske placeringsmuligheder:

- Fritstående med afstand til vægflader, gulv og loft. (afstand eksperimenteres)
- Fritstående på gulv med afstand til vægflader. (+ 3 dB pr. oktav)
- Placering på gulv tæt på én vægflade. (+ 6 dB pr. oktav)
- Placering på gulv tæt på to vægflader (hjørne) (+ 9 dB pr. oktav)
- Relateret til satellitter. (faseforløb)
- Relateret til lytteposition.

Tallene i parenteser angiver refleksionsforstærkningen, - stigende med faldende frekvens.

At finde subwoofers bedste placeringssted, samtidig hensynstagen til lytterummets øvrige møblement og bedst mulige lyd gengivelse, kræver ofte mængder af eksperimenter med heraf følgende og måske nødvendige kompromisser.

Elektriske justeringer

Når den aktive subwoofer er placeret optimalt i lytterummet, kan de elektriske justeringer foretages ved et lavt styrkeniveau i følgende rækkefølge.

- Faseforløb justeres trinløst. Anvend testsignal *) (phase adjustment) og justér til højeste samlede styrkeniveau fra subwoofer og satellitter.

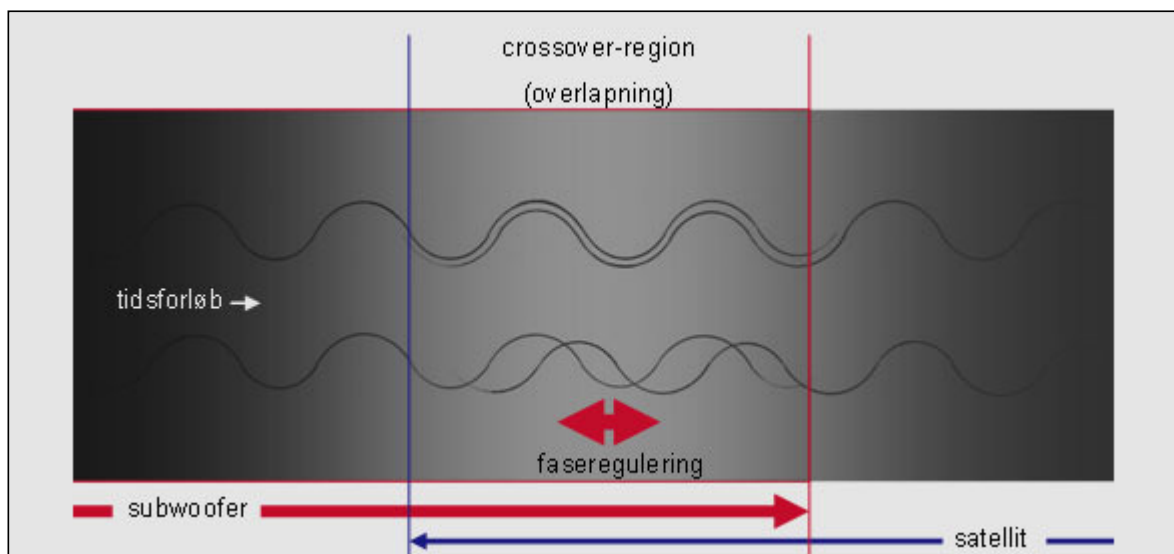


Planche nr. 42 - Øverste kurve: Subwoofer og satellitter spiller i fase. Nederste kurve: Subwoofer og satellitter spiller ude af fase og bør justeres.

Faseforløbet har betydning for subwoofers lydæssige sammenfald med satellitterne omkring delefrekvensen, hvilket betyder at toneforløb omkring delefrekvensen imaginært skal kunne placeres punktvis.

- Styrkeniveauet justeres trinløst til satellitterne. Anvend testsignalerne *) 200 Hz (til satellitter) og 50 Hz (til subwoofer). Skift mellem de to frekvenser og justér subwooferen indtil frekvenserne opfattes som samme styrke.

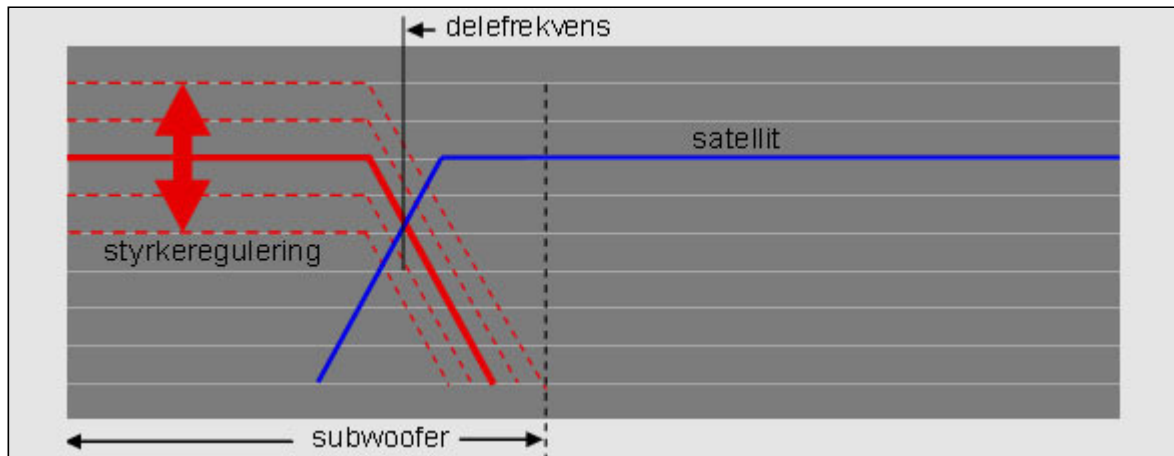


Planche nr. 43

- Delefrekvensen justeres trinløst til satellitterne. Sæt delefrekvensen på subwooferen på laveste frekvens. Anvend samtlige testfrekvenser*), start med 200 Hz og skift til 160 Hz o.s.v. I det øjeblik det totale styrkeniveauet opfattes lavere, f.eks. ved 80 Hz, - justeres subwoofers delefrekvens op i frekvens til styrkeniveauet opfattes ens.

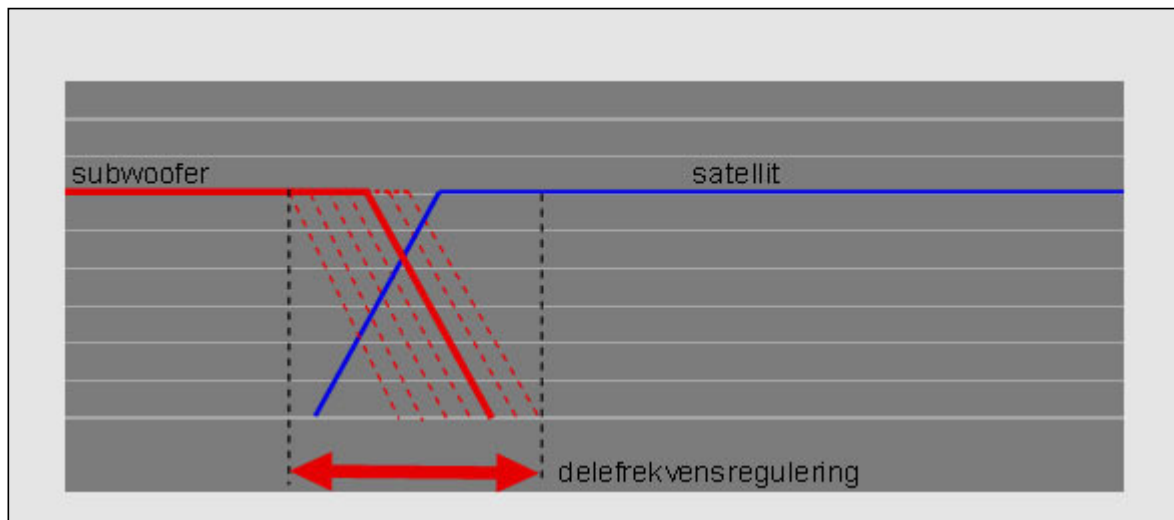


Planche nr. 44

Det er vigtigt at placere subwoofers rette delefrekvens relateret til satellitterne. Kendes satelliternes nedre knækfrekvens, danner denne udgangspunktet for subwoofer-forstærkerens indstilling af delefrekvensen. Indstilles subwooferforstærkerens delefrekvens for højt, vil der ske en frekvensmæssig overlappning af satellitterne, hvilket resulterer i et øget niveau i overlappingsområdet. Modsat vil en for lav indstillet delefrekvens resultere i et lavere niveau i overlappingsområdet.

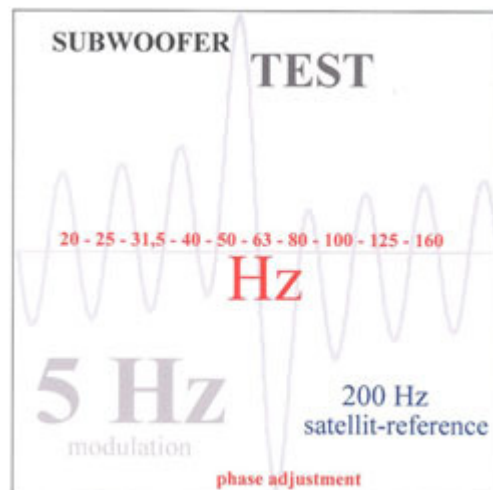
Skal opgaverne løses videnskabeligt må der måleudstyr til, men at måle frekvenser i en subwoofers arbejdsområde er også at måle lytterummets akustiske konditioner, hvilket kræver avanceret udstyr, ekspertise, erfaring, masser af tid og tålmodighed. Her henvises til afsnittet for målinger, artikelseriens del 7.

Man kan imidlertid angribe opgaven mindre videnskabelig og blot anvende sine egen hørelse. Til dette skal man bruge nogle testfrekvenser fra enten downloads eller en test-CD. Frekvenserne bør være svagt moduleret med en lav frekvens 5 Hz – 7 Hz (warble-tones) for at reducere stående bølger i lytterummet. Tillige skal der anvendes en referencefrekvens på 200 Hz til det øvrige højtalersystem samt et signal til fasejustering. Så er det blot at gå i gang med eksperimenterne, både med subwoofers placering relateret til vægflader og til lytteposition samt elektriske justeringer. Anvendelse af musikeksempler til løsning af opgaven kan ikke anbefales. Med musik ved man ikke hvor man er rent frekvensmæssigt, ligesom musik er temmelig kompleks og flygtig.

*) Hjælpeværktøj

Testfrekvenser til download - højre klik og vælg 'Gem destination som' (mp3):

- [Reference 200 Hz](#)
- [20 Hz](#)
- [25 Hz](#)
- [31,5 Hz](#)
- [40 Hz](#)
- [50 Hz](#)
- [63 Hz](#)
- [80 Hz](#)
- [100 Hz](#)
- [125 Hz](#)
- [160 Hz](#)
- [Phase adjustment](#)
- [Frekvenssweep 10-20.000 Hz](#)



Under hjælpeværktøj hører selvfølgelig måleudstyr, som bliver beskrevet i del 7.

Subwooferforstærkers reguleringer og tilslutninger

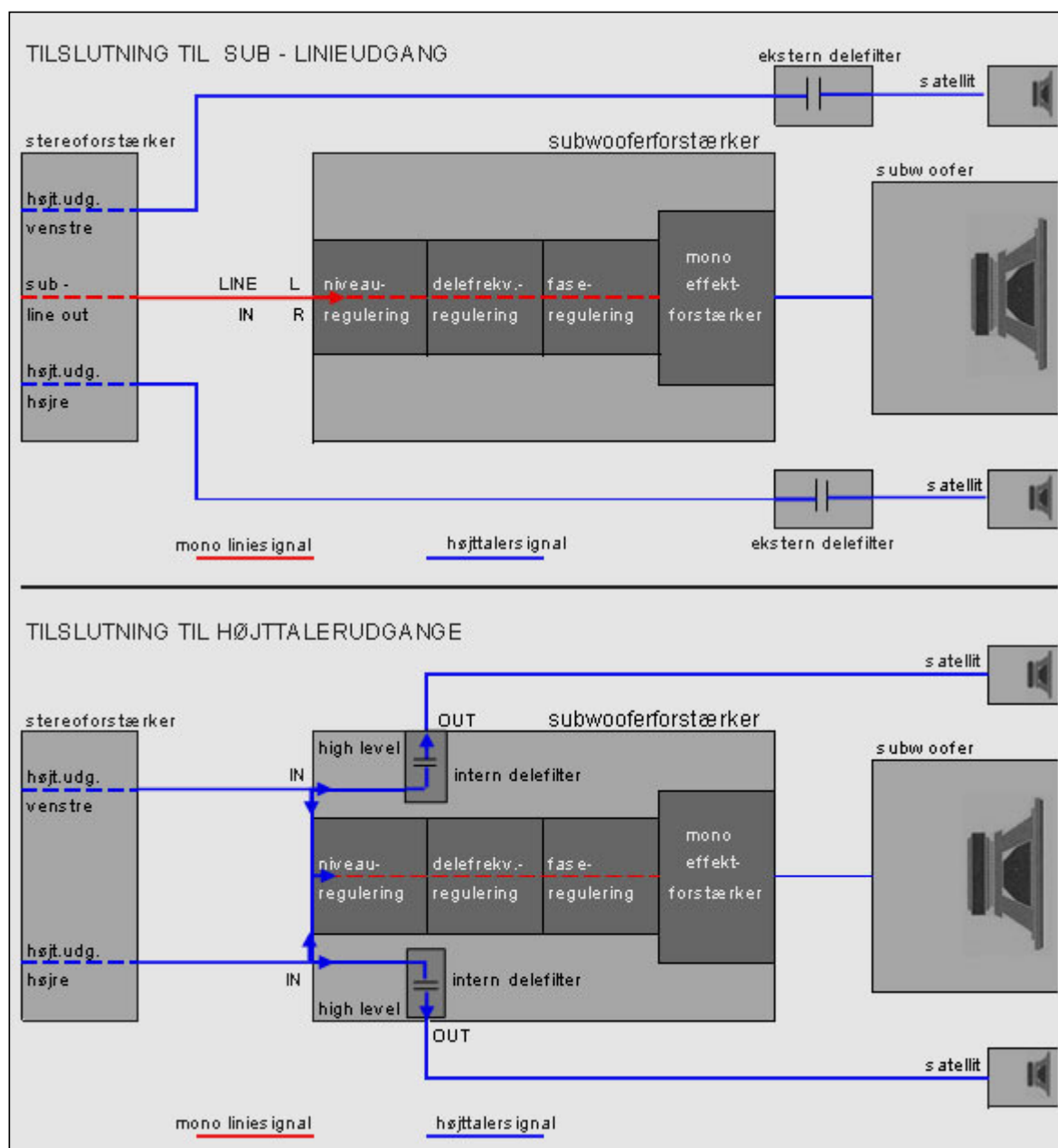


Planche nr. 45

Copyright © Arne Rodahl 2007

*Eftertryk og erhvervmæssig udnyttelse
uden forfatterens godkendelse er ikke tilladt.*

Udskriften er kun til privat brug - anden brug kræver skriftlige aftale med HIFI4ALL.DK!
Copyright © HIFI4ALL.DK- Alle rettigheder forbeholdes.