

Ny udgave af LYD & HØJTALERBYG udgave 4.3.

Senest opdatering : 30.03.2013

Forbehold for evt. fejl.

lyd&højtalerbyg[©]

arne rodahls forunderlige verden omkring lyd og højtalerbyg

Højtalerbyg, - en gammel hobby der lever i bedste velgående.

En hobby der nok er ene om at kombinere så forskellige elementer.

En hobby hvor de menneskelige faktorer til stadighed spiller de afgørende roller og ikke lader sig udkonkurrere af tekniske hjælpemidler, som f.eks. computere. Hjælpemidler forekommer selvfølgelig, - men kun som slaver!

At bygge en højtaler er som at bygge et musikinstrument, et stykke møbel.

At bygge en højtaler er individuelle, kreative løsninger med sjæl.

At bygge en højtaler er musik, leg og fornøjelse.

Højtalerbyg er hobby for alle, også begynderen, thi begynderen er hobbyens fremtid.

Komplet artikelserie omhandlende højtalerbyg på begynderniveau

Computerprogrammer for beregninger og simuleringer af kabinetter

Computerprogrammer for beregninger og simuleringer af delefiltere

Måleprogrammer med stor præcision



Prolog

Inden man begynder med højtalerbyg, er det måske en god idé at forberede sig på en rejse ind i en verden af overraskelser og mærkværdigheder.

Denne forberedelse kunne være at læse denne artikelserie.

Artiklerne er skrevet for begyndere uden forudsætninger eller specialviden om højtalerbyg.

Har man lysten til at bevæge sig ind i en verden, der nok er mere spændende og gribende, end man umiddelbart skulle mene, så spring ud i legen !

En verden med snedkeri, design, teknik, akustik og musik i skøn forening.

En verden hvor også computeren har sneget sig ind.

En verden hvor præcision kan være en dyd eller hvor præcision ikke har den helt store betydning.

En verden hvor den subjektive opfattelser af højtalerkonstruktion og lyd gengivelse er tilladt og måske derfor gør "det at bygge en højtaler" til noget særligt !

Artikelseriens forløb omhandler teoretisk gennemgang af den fundamentale baggrund for konstruktion og funktion af højtalere samt eksempler på byggerier i praksis, eksperimenterende konstruktioner og kreativt design.

Artikelseriens formål er at animere til starten på en god og fascinerende hobby.

Højtalerbyg og lyd gengivelse er på mange måder subjektive og kan således medføre individuelle opfattelser af hvordan tingene hænger sammen.

På de følgende sider er det således forfatterens opfattelser der beskrives.

Andre personer ville måske opfatte visse begreber anderledes, hvilket blot understreger hobbyens mangfoldighed.

God fornøjelse.



Arne Rodahl

Copyright © Arne Rodahl 2012

Eftertryk og erhvervsmæssig udnyttelse uden forfatterens godkendelse er ikke tilladt.

INDEX

Dias nr. 6-23	1. del - lydlære akustik psykoakustik
Dias nr. 25-61	2. del - højttalerenhederne (driverne) højttalerenhedernes opbygning højttalerens belastningsevne højttalerens følsomhed højttalerens målrettede formål højttalersystemets elementer komplette højttalersystemer overbelastning og sikring af højttalere transducere valg af enheder (drivere) relateret til kabinetsystemer
Dias nr. 63-105	3. del - kabinetkonstruktioner
Dias nr. 107-120	4. del - delefiltre
Dias nr. 122-130	5. del - subwoofere
Dias nr. 132-159	6. del - målinger
Dias nr. 160	Links og downloads LAB 3 Holmimpuls Arta Troldekt Notch filter / Resonans filter / Zobel filter

Lydlære

Vil man bygge højtalere, er teoretisk viden et nødvendigt fundament til forståelse af teknikken sammenhæng. Hertil hører viden om lydens fysiske forhold relateret til højtalerbyg.

Definition: Ved lyd forstås hørbare mekaniske svingninger, d.v.s. ligevægtsforskydelser der breder sig gennem et stof som følge af dets elastiske egenskaber og som kan registreres og opfattes af det menneskelige høreorgan.

Støj: Betegnelse for al lyd, som er uønsket af modtageren. Støj har ikke nødvendigvis nogle fysiske karakteristika, som adskiller den fra ønsket lyd, men med ordet støj forbindes som oftest lyd, der er ubehagelig, generende eller direkte skadelig at lytte til. Det kan f.eks. være på grund af lydens styrke, dens uharmoniske frekvenssammensætning eller dens uregelmæssighed.

Lydens udbredelse gennem atmosfærisk luft foregår ved, at lydilden gennem mekanisk påvirkning sætter luftpartiklerne i svingninger omkring deres ligevægtsstilling. På grund af luftens elasticitet breder denne svingningsbevægelse sig til stadig fjernere beliggende luftpartikler.

Det er altså svingningsbevægelsen af de enkelte luftpartikler, - og ikke luftpartiklerne selv, der breder sig til omgivelserne. Processen har visse ligheder med "domino-effekten".

Hørbar lyd: - er ændringer i lufttrykket ved trommehinden, som normalt er den ydre fysiske årsag til høreindtrykket, det vil sige den subjektive oplevelse af ændringer i lufttrykket.

Ændringerne skal være hurtigere end ca. 20 gange pr. sekund og langsommere end ca. 20.000 gange pr. sekund for at kunne opfattes som lyd gennem øret. Ændringerne kan betegnes som svingninger eller lydbølger.

Svingninger under 20 gange pr. sekund betegnes infralyd, mens svingninger over 20.000 gange pr. sekund, betegnes ultralyd.

Lydtryk: - er en trykvariation, som lyden forårsager og som overstiger det statiske lufttryk.

Lyd kan sammenlignes med ringe, der breder sig på en vandoverflade, når der kastes en sten i vandet.

Lydbølger kan illustreres grafisk, hvor lydtrykket og partikelhastigheden i et fast punkt varierer med tiden.

Afsættes lydtrykket i et givet punkt som funktion af tiden og vælges en lydkilde, som udsender en konstant, ren tone,

kan lydtrykket i det givne punkt (fasen) beskrives ved hjælp af en frekvenskurve.

Se Planche nr. 1, Dias nr. 8

Decibel: Forskellen på den kraftigste og svageste lyd menneskelig hørelse kan opfatte efter en lineær skala er 1.000.000.000.000 : 1.

Anvendelse af en logaritmisk skala er derfor mere overskuelig. Hertil kommer øret tilnærmet logaritmisk opfattelse af lydstyrken. Af disse grunde benytter man inden for akustikken den logaritmiske decibel-skala. (dB), hvor eksempelvis en fordobling / halvering af lydtrykket svarer til 6 dB.

Phon: - er måleenheden for hørestyrke, numerisk svarende til decibel (dB).

Hørestyrke (loudness) :

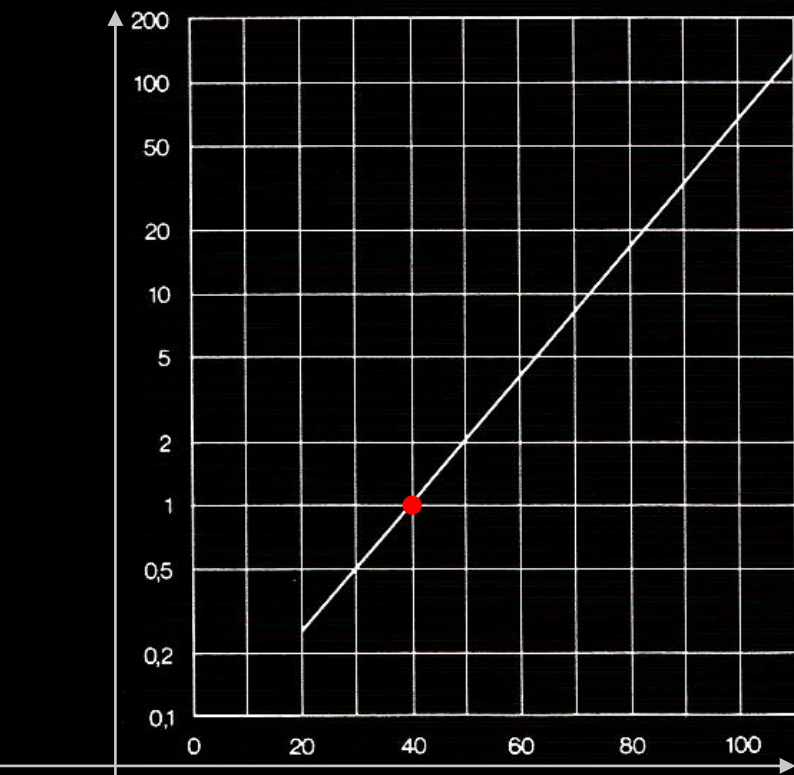
Son er måleenheden for lydindtryk, der svarer til en "normal hørende" persons vurdering af forholdet mellem den subjektive styrke af en given lyd og den subjektive styrke af en referencelyd med hørestyrke 40 phon.

Skalaen for lydindtryk viser hørestyrken, 40 phon (dB) svarer til 1 son.

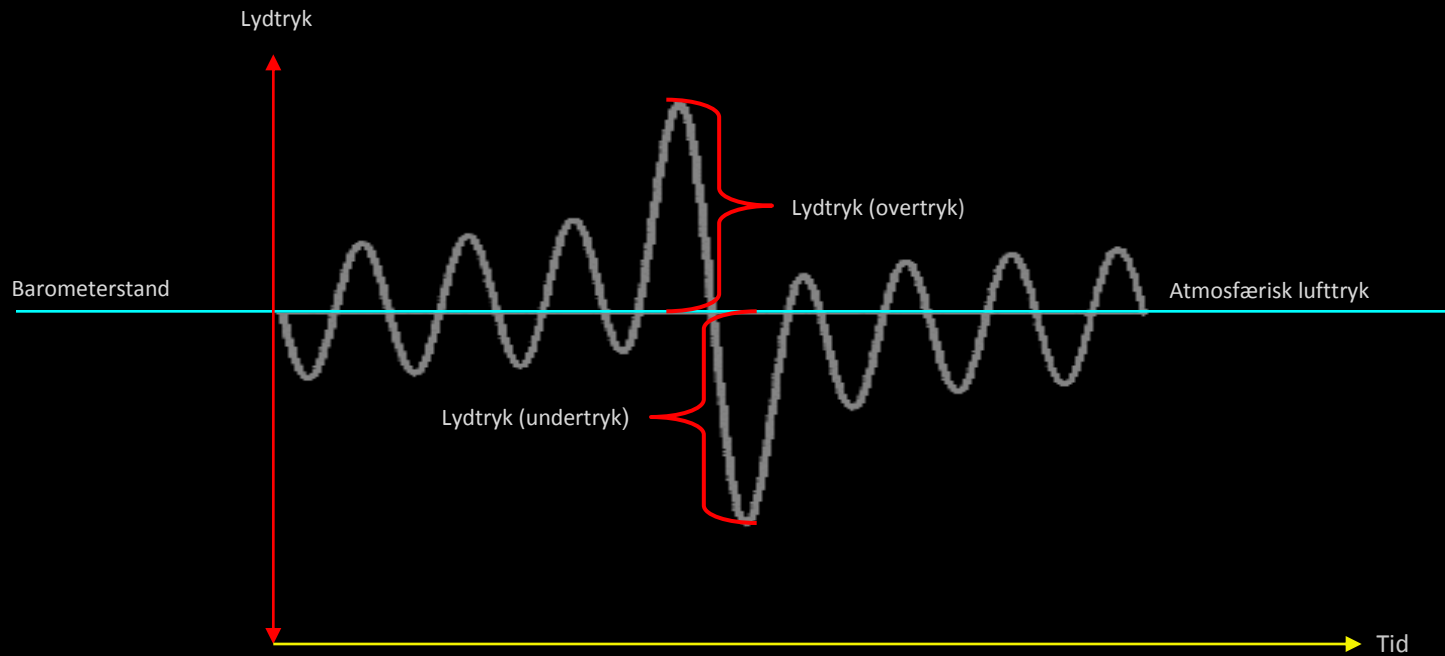
Forøges lydindtrykket fra 1 son til 2 son, svarende til 10 dB, - opfattes det som dobbelt så kraftigt.

Suppleret: Niveaueet skal ikke hæves ret meget for at øge den subjektive styrke Væsentlig ved tærsklen.

Hørestyrke Phon (dB)



Lydindtryk Son



Lydtrykket (rød) består af trykvariationer (overtryk og undertryk) omkring det atmosfæriske lufttryk også betegnet barometerstanden (grøn). På tegningen ses en frekvenskurve (grå) i et tidsforløb (gul).

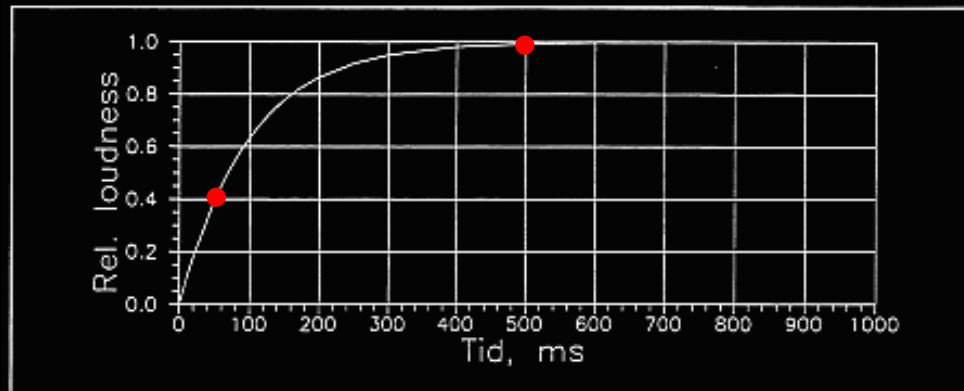
Hørestyrkens opvoksningsforløb :

Hørestyrken vokser ikke op øjeblikkelig, men vokser stærkt stigende (eksponentiel).

Den eksponentielle opvoksen betyder at kortvarige lyde (transienter) opfattes som svagere end den reelle styrke, eksempelvis opfattes 40 % af hørestyrkeamplituden efter 50 ms, - relateret til et opvoksningsforløb efter 500 ms.

Impulsstøj (f.eks transienter i musik o.l.) er farligere for hørelsen end man umiddelbart fornemmer, idet impulsstøjens amplitude påvirker det indre øre med fuld styrke og herved beskadiger hårcellerne mekanisk.

Styrkefornemmelsen foregår i hjernen på basis af de modtagne nervesignaler og opfattes svagere på grund af den korte varighed.



Hørestyrkens opvoksningsforløb

Frekvens: Antallet af hele svingningsperioder (bølgelængder), som bølgebevægelsen udfører pr. sekund, - kaldes frekvensen og betegnes "Hertz", forkortet Hz.

Periodetid: - er den tid en svingning (sinus) bruger til at gennemløbe en svingningsperiode (bølgelængde).

Se planche nr. 3, Dias nr. 11

Effektivt lydtryk: Lydtrykkets størrelse er bestemmende for tonens styrke. Til angivelse af lydtrykkets størrelse anvender man sædvanligvis effektivværdien af lydtrykket.

Se planche nr. 3, Dias nr. 11

Effektivværdien anvendes, fordi den ved sammensatte lyde er bestemmende for middelværdien af lydtrykkets variation i tiden.

Lydhastighed: Den hastighed, med hvilken lydbølger breder sig, kaldes lydhastigheden.

Lydhastigheden igennem luft er uafhængig af frekvensen og er forskellig i forskellige stoffer. Endvidere varierer den med stoffets fysiske tilstand, f.eks. temperaturen. I luft er lydhastigheden ved normal atmosfærisk tryk og stuetemperatur typisk 340 m pr. sek., hvilket benyttes som standard ved beregninger.

Til sammenligning er hastigheden for lys og elektricitet ca. 300.000 km pr. sek.

Afstandsloven: Kurven for lydtrykket, som funktion af afstanden, vil i et givet øjeblik have et forløb, som det fremgår af planche nr. 4, Dias nr. 12

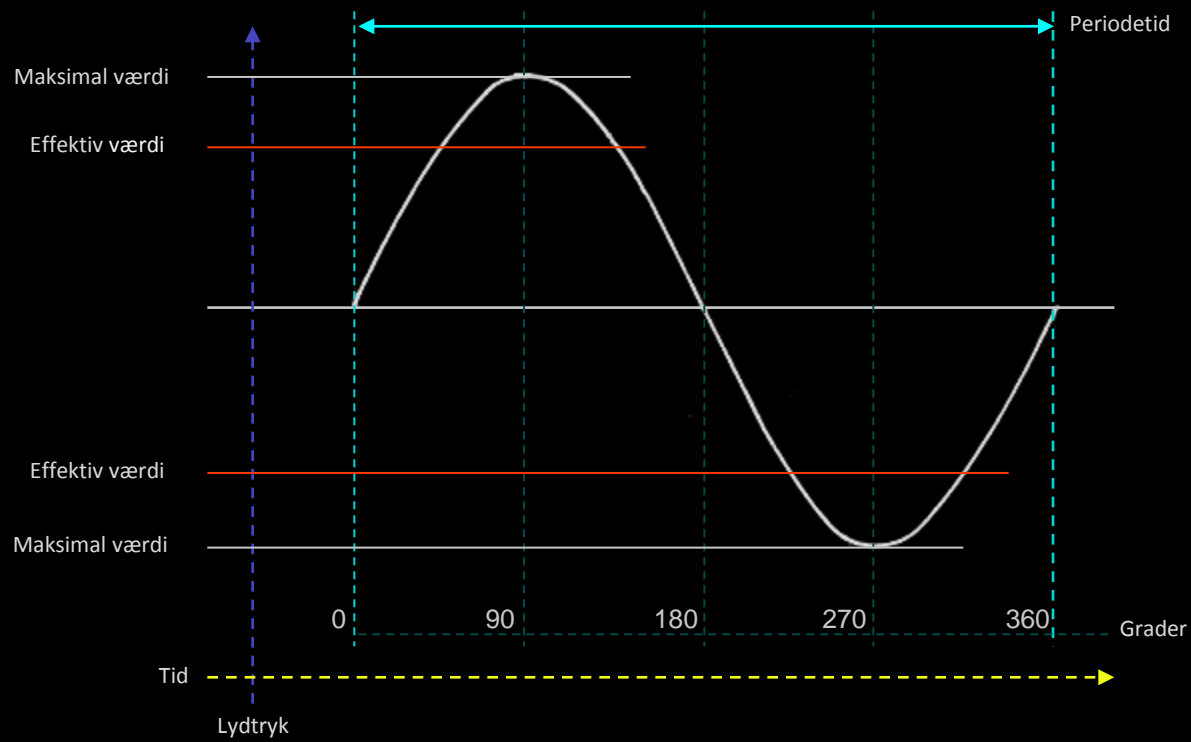
Den udstrålede effekt må passere en stadigt voksende sfærisk flade, efterhånden som afstanden fra lydkilden (højtaleren) øges, hvilket resulterer i fortynding af energimængden og dermed faldende lydtryk.

Øges lytteafstanden fra lydkilden fra 1 meter til 2 meter vil lydtrykniveauet mindskes med *6 dB. Øges afstanden

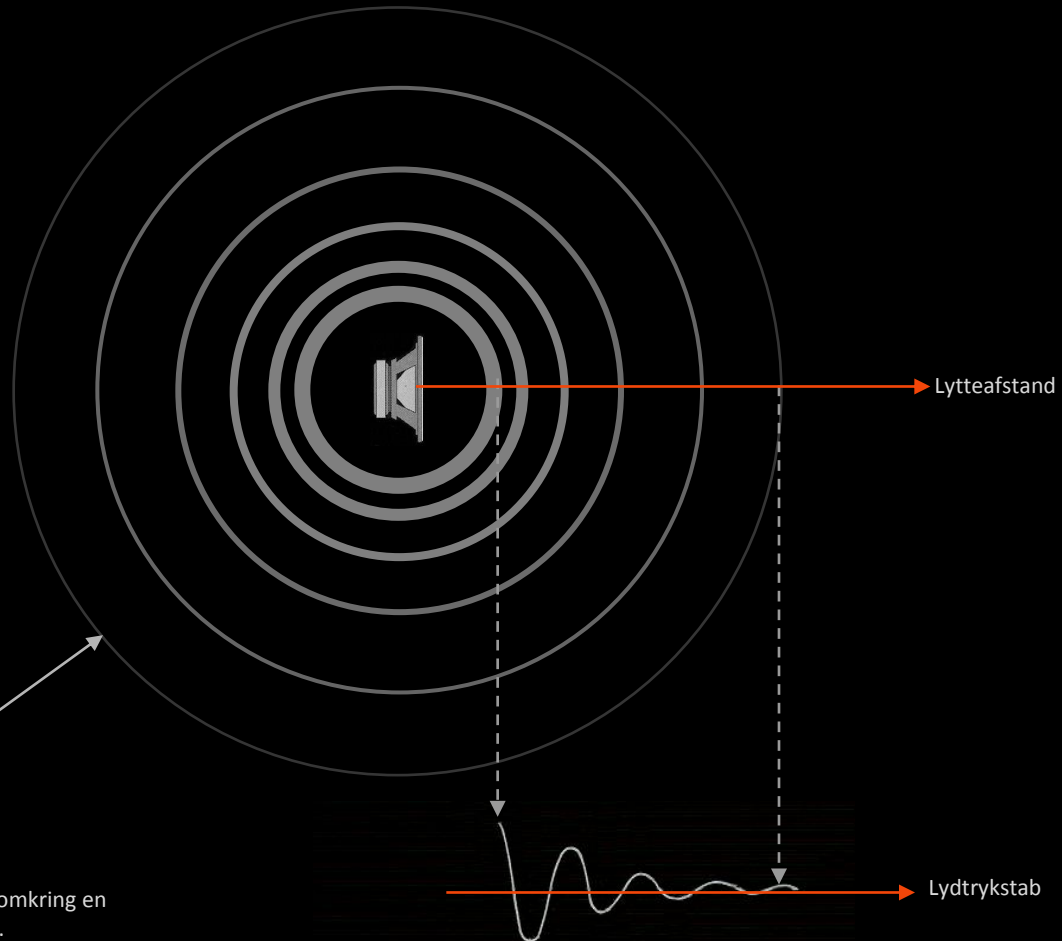
fra 25 meter til 50 meter vil niveauet ligeledes mindskes med *6 dB. Heraf kan udledes at ved en fordobling af afstanden aftager lydtrykniveauet med *6 dB. Dette sammenhæng betegnes afstandsloven.

*) 6 dB svarer til en fordobling eller halvering af det akustiske lydtryk. (Obs ! elektrisk fordobling eller halvering = 3 dB)

Lydtryk som funktion af tiden for en sinus (ren tone)



Afstandsloven



Sfærisk flade:

Plansnit af kugleformet lydubbredelse omkring en punktformig lydkilde f.eks. en højttaler.

Bølgelængden: - betragtet et givet tidspunkt og langs en lige linie udgående fra en punktførmig lydkilde (f.eks. en højtaler). Lydbølgen er stationær og udsendt som en ren sinustone. Billedet af lydbølgen fra lydkilden og udefter vises som en dæmpet sinusvigning og beskrevet i afsnittet "Afstandsloven".

Se planche nr. 4, Dias nr. 12

Bølgelængden opgives i centimeter og meter og betegner den korteste afstand, målt i lydets udbredelsesretning, mellem to punkter i bølgebevægelsen med samme svingningstal eller den distance lydbølgen gennemløber i periodetiden.

Se planche nr. 3, Dias nr. 11

Beregning af bølgelængden ved en given frekvens: Lydens hastighed 340 m/sek. - divideret med frekvensen - resulterer i bølgelængden.

Eksempler:

Frekvensen 100 Hz har en bølgelængde på 3,40 meter.

Frekvensen 1000 Hz har en bølgelængde på 34 centimeter.

Frekvensen 10.000 Hz har en bølgelængde på 3,4 centimeter.



Danmarks Radios nye koncertsal

Når lyden forlader en lydkilde skal den først passere lytterummet inden den når vore ører. Lytterummet sætter sit præg på den lyd vi opfatter. Man siger, at rummet sætter sit fingeraftryk på lydgenivelsen. Det betyder, at samme lydkilde lyder forskellig i forskellige rum.

Lydbølger udsendt fra en lydkilde, vil bevæge sig væk fra denne direkte til vore ører.

Lydbølgerne vil tillige ramme rummets grænseflader, d.v.s. vægge, gulv, loft og inventar. En del af lydbølgernes energi bliver reflekteret og kastet tilbage, mens resten absorberes af grænseflader og inventar.

Det meget komplicerede lydfelt, der dannes i rummet som følge af de mange refleksioner, vil have en vis "levetid" grundet lydens relative lave hastighed.

Når lydfeltet udklings, karakteriseres det som rummets akustiske fingeraftryk.

Lyd der frembringes udendørs er mindre påvirket af akustiske forhold.

De faktorer, der spiller ind for at danne rummets akustiske fingeraftryk, er mange, men i det følgende skal vi se lidt på nogle af de vigtigste faktorer.

Geometrisk rumakustik: - arter sig forskelligt alt efter hvilke frekvenser, der skal beskrives.

Når de mellemste og højeste frekvensers bølgelængder sættes i relation til rummets dimensioner, kan lydets udbredelse betragtes på næsten samme måde, som var det lysstråler. Rummet bliver som et akustisk spejlkabinet, hvor lydstrålerne reflekteres fra vægge, loft, gulv og inventar, og skaber en række ekkoer, som ændrer lyden.

Eksempelvis divergerer akustikken i et badeværelse i væsentlig grad fra akustikken i en stue.

Lydbølger bevæger sig i lige linier ved **mellem og høje frekvenser**.

Har et rum hårde overflader, reflekteres lydbølgerne og danner et kompliceret lydfelt.

Har et rum absorberende flader vil man opdage at disse absorberer lydbølger forskelligt, afhængig af frekvens og fladernes hårdhed.

Når de **laveste frekvenser** sættes i relation til rummets dimensioner opstår der såkaldte "stående bølger", idet der imaginært ikke er plads til bølgelængden. De stående bølger opstår mellem parallelle flader, f.eks. mellem loft og gulv eller mellem parallelle vægge, idet disse ikke er i stand til at absorbere lydbølgerne nævneværdig. Der opstår en mangfoldighed af stående bølger, der høres som resonanser ved bestemte frekvenser, afhængig af rummets dimensioner.

Eksempelvis kan nævnes, at der i et rum med dimensionerne på 6,4 x 4,3 x 2,4 m opstår resonansfrekvenser ved 27, 40, 49, 54, 71, 76, 81, 86, 97 Hz, der gengives med væsentlig kraftigere niveau.

Hele problematikken med absorptionsegenskaber og stående bølger, sætter et betydeligt præg på den lyd vi opfatter i boligens lytterum.

I en koncertsal er akustikken konstrueret, d.v.s. at alle flader (loft, vægge, gulv, m.m.) er udført af materialer med en ganske nøje udvalgt hårdhedsgrad / absorptionsevne, ligesom salens mange flader er udformet efter nøje beregninger.

Det er således de mellemste og højeste frekvenser, grundet disses udbredelse i rette linier og deraf følgende refleksioner, der betyder mest for koncertsalens akustik. De laveste frekvenser er mindre problematiske, idet stående bølger ikke er fremtrædende.

Det skal tillige tilføjes at der i koncertsalens akustiske konstruktionsberegninger også medregnes tilskuernes absorption af lyden.

I mindre rum, f.eks. i boligen, er akustikken stort set tilfældig, idet der ganske naturligt prioriteres mindre med rummets lydmæssige egenskaber. Betragter vi boligens lytterums akustiske egenskaber, kan dette gøres ud fra to tidligere nævnte frekvensmæssige kriterier:

- 1) Mellem og høje frekvenser.
- 2) Lave frekvenser.

En gennemsnitlig stues akustiske egenskaber for de mellemste og højeste frekvenser er mindre problematiske, idet de fleste stuer har en tilpas blanding af reflekterende og absorberende flader.

Anderledes er det med stuens egenskaber for de lave frekvenser, hvor opnåelse af en bare nogenlunde jævn basgengivelse stort set er uopnåeligt. Afvigelser på 10 - 20 dB er ganske normale.

Problemerne inddeles i to områder: **Stående bølger** og **refleksionsforstærkning**. Se **planche nr. 5, Dias nr. 18**

Problemet med stående bølger som følge af parallelle flader er tidligere omtalt og da de fleste stuer har parallelle flader, vil problemet til stadighed være en del af lydbilledet.

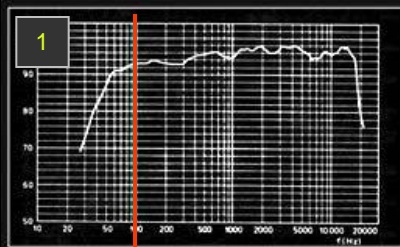
Problemer med refleksionsforstærkning kan være de mest markante, men til gengæld et fænomen, der kan "bruges" og ændres til noget positivt med enkelte forsøg. Som det fremgår af navnet opstår der en forstærkning af de laveste frekvenser, grundet refleksioner fra væg, gulv og loft, når højttaleren er placeret tæt ved disse.

Refleksionerne fremkommer ved, at de lave frekvenser udbredes som ringe i vand, altså 360 grader. Det betyder, at lave frekvenser fra højttaleren udbredes i alle retninger og rammer vægflader, hvorefter de igen reflekteres og adderes til de direkte lydbølger. Teoretisk resulterer dette fænomen i en akustisk forstærkning fra 100 Hz og nedefter med ca. 6 dB pr. vægflade, svarende til en fordobling. Er højttaleren placeret tæt ved to vægflader, bliver forstærkningen 12 dB og tre vægflader 18 dB.

Fænomenet kan som omtalt benyttes, idet man kan konstruere højttaleres frekvensforløb under den magiske grænse på ca. 100 Hz, således at vægfladers akustiske refleksion udnyttes. De bedst egnede højttalere til at udnytte denne forstærkning med største præcision er væghøjttalere, idet man fra konstruktørens side, kender højttalerens placeringssted. Se **planche nr. 5, Dias nr. 18**

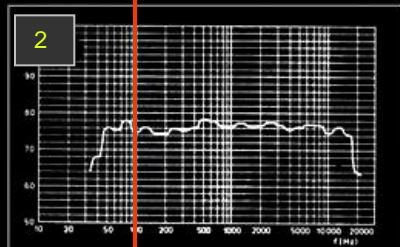
En tommelfingerregel: I rum på 20 – 30 m² vil summen af stående bølger og refleksionsforstærkning typisk øge niveauet af de laveste frekvenser med ca. 12 – 18 dB ! Forstærkningen aftager typisk når rumstørrelsen øges.

Refleksionsforstærkning

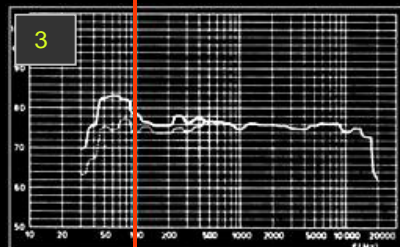


Akustiske konditioner for et gennemsnitligt højttalersystem ved gengivelse af frekvenser under 100 Hz.

På tegning nr. 1 vises målinger af en højttaler i et "lyddødt" rum (et rum uden refleksioner). Det ses at frekvenskurven falder under ca. 100 Hz, hvilket er en bevidst konstruktionsdetalje.



På tegning nr. 2 vises målinger af samme højttaler, men denne gang i en gennemsnitlig stue placeret tæt ved én væg. Frekvenser under 100 Hz er blevet forstærket af refleksioner fra vægfladen og har fået samme niveau som det øvrige frekvensområde. Kurven er hi-fi-mæssigt korrekt.



På tegning nr. 3 vises målinger stadig fra samme højttaler, men denne gang er den placeret i et af stuens hjørner, d.v.s. tæt ved to vægflader. Frekvenser under 100 Hz er forstærket for kraftigt, således at niveauet er blevet højere end det øvrige frekvensområde. Kurven er hi-fi-mæssigt mindre god.

Konklusionen er, at for hver flade (væg, gulv eller loft) en højttaler placeres tæt ved, resulterer det med en forstærkning stigende med ca. 3 dB pr. oktav fra ca. 100 Hz og der under.

100 Hz

Lytterummet er en del af højttaleren, - noget mange nok har oplevet når hi-fi højttalerne skal placeres i ens stue, hvor hensynet til den øvrige møblering nok vejer tungest.

En gennemsnitsstue har som ofte en afbalanceret efterklangstid af mellem og høje frekvenser affødt af polstrede møbler, gardiner og gulvtæpper o.l.. Akustikken er derfor behagelig både til tale og musik.

Men hvad nu hvis man har indrettet sig i et nyere hus med hårde vægge, lofter og flisebelagte gulve samtidig med en minimalistisk møblering ? Ja så står man virkelig overfor en udfordring, såfremt man skal kunne føre let forståelige samtaler og ikke mindst kunne nyde musik fra hi-fi-anlægget eller TV'et.

Rummet kan forsynes med nogle såkaldte absorbere, der kan placeres på vægge og loft. Erfaringsmæssigt fungerer Troldekt pladerne rigtig godt og ikke mindst Troldekt har udført megen forskning på området, hvilket kommer brugeren tilgode.

Det kan anbefales at gå ind på Troldekts hjemmeside, her kan man både beregne hvor meget der skal til for at forbedre akustikken i ens stue, ligesom der er mange gode råd at hente.

Download Troldekt : <http://www.troldekt.dk>

Når det så drejer sig om de lave frekvenser, så er udfordringerne omend endnu større, men en af løsningerne findes i næste afsnit.

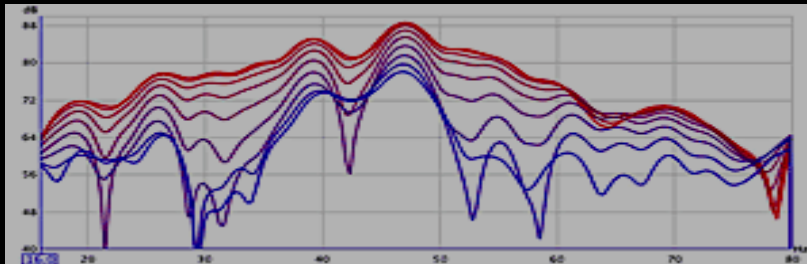
Room Adaption

(Rum tilpasning)

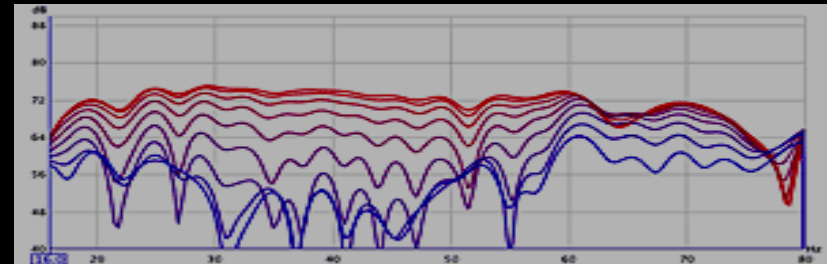
Gengivelse af lave frekvenser under ca. 100 Hz giver ofte problemer i boligens lytterum og problemerne lader sig sjældent løse tilfredsstillende med forskellige forsøgsopstillinger og forskellige mekaniske absorbere.

Den mest effektiv måde at løse problemerne på er med en computerbaseret equalizier med en såkaldt Digitalt Signal Processer (DSP). DSP'er fungerer mest neutral ved lave frekvenser, - måske fordi øret ikke er særlig følsom i dette område. De anvendes derfor hovedsagelig i forbindelse med aktive subwoofere, hvor de indsættes i signalvejen mellem subwooferen og hovedforstærkeren.

DSP til det fulde frekvensområde efterlader tilsyneladende en fornemmelse, der bærer præg af en "klinisk" gengivelse.



Frekvensrespons i typisk lytterum uden DSP



Frekvensrespons i typisk lytterum med DSP

Korrektions-frekvensområde : 16 – 144 Hz

Nøjagtighed : 1 / 82 oktav

Antal filtre : 24

Arithmetic : 40 bit

Frekvensrespons : 5 – 160 Hz (+/- 3 dB)

Dynamisk område : 90 dB

THDN : < 60 dB



DSP (Digital Signal Processor) – målemikrofon medfølger

I forbindelse med konstruktion af højttalere benyttes udtrykket, "elektroakustik", hvilket betegner objektive, tekniske beregninger og målinger, bl.a. via en computer. Tekniske beregninger og målinger rækker dog langt fra til udviklingen af kvalitetshøjttalere, den menneskelige hørelse må med på råd og her kommer subjektive vurderinger til at spille en væsentlig rolle. Disse vurderinger betegnes psykoakustik, - en videnskabelig disciplin omhandlende alle aspekter for, hvordan mennesker opfatter lyd.

Vigtige aspekter er højttalerens frekvensbalance, dynamisk formåen, gengivelse af detaljer, lydperspektiv (bredde og dybde) og bevægelse i lydbilledet. Aspekter som mennesker med en normal hørelse samt en smule erfaring og lyttræning kan opfatte.

Det skal dog understreges, at der til udviklingsarbejde hos producenter af kvalitetshøjttalere benyttes "specialister" med mange års erfaring og træning i psykoakustik.

Frekvensbalance: Subjektive betegnelser for højttalere: "Varm lyd", der opfattes som en vis overvægt af de dybe toner. "Slank lyd", basgengivelse opfattes tilbagetrukket. "Nasal lyd", mellemtonelejet opfattes anmassende.

"Spids lyd", der opfattes en overvægt af diskant, måske som følge af resonanser eller "ringning". "Luftig lyd", alle fine detaljer høres i diskanten.

Dynamisk formåen: Højttaleres evne til at gengive den fulde styrkeforskel mellem de svageste og kraftigste i passager samt reaktionsevnen til at gengive transienter (stigetid og faldetid). **Se planche nr. 2, Dias nr. 9**

Gengivelse af detaljer: Musikken har mange detaljer, detaljer der ikke kan måles, detaljer der giver musikken "sjæl". I flæng kan nævnes små hørbare nuancer: Vejtrækning fra en sangerinde, fingrenes vandring over guitarstrengene, klapperne fra klarinetten, læbelyden fra saxofonen, anslaget fra klaverets hamre, når de rammer strengene o.s.v..

Lydperspektiv: Stereo-højttalere er i stand til at efterligne den menneskelige hørelse, hvad angår imaginære placeringer af lydkilder. Ved hjælp af fase- og styrkedifferencer er to højttalere i stand til at placere lydkilder såvel i bredde som i dybde.

En indlevelse i musikernes placering f.eks. i koncertsalen via to højttalere fordrer en vis forestillingsevne til at fantasere et tredimensionelt lydperspektiv. En god hjælp til sådan en indlevelse er at lukke øjnene, hvorved et visuelt billedes tendens til at overskygge forestillingsevnen af et lydbillede mindskes. For helhedens skyld skal Surround sound systemet nævnes, idet systemet ikke så meget bygger på den menneskelige hørelse virkemåde med to kanaler, men derimod har til opgave at skabe lydeffekter i forbindelse med bl.a. film.

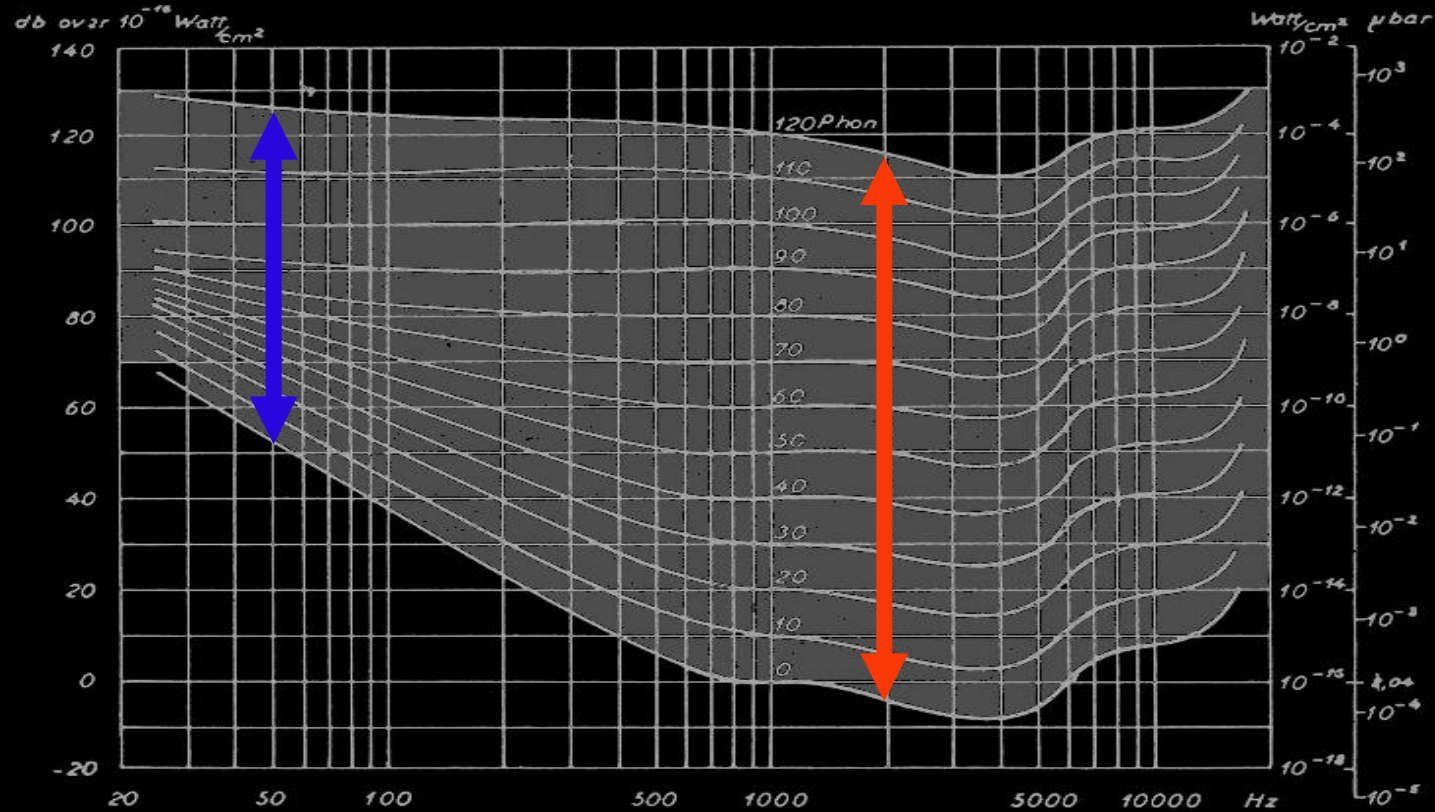
Bevægelse i lydbillede: Samme konditioner som i lydperspektiv, blot med den forskel, at lydkilderne flytter sig i lydbilledet.

Hørelsens dynamiske område: - er forskellen på det svageste og det kraftigste lydniveau, hvor hørelsen fungerer. Man kan også kalde det for ørets arbejdsområde. Jo mere lydniveauet nærmer sig ydergrænserne af ørets arbejdsområde, des mere ændrer hørelsen karakter. Således opfattes de mellemste frekvenser kraftigere end de lave og høje frekvenser, jo lavere lydniveauet bliver. I den modsatte ende af skalaen, når lydniveauet bliver kraftigere, begynder det langsomt at genere så meget, at lyttetræthed indtræffer. Når lydniveauet overstiger ca. 120 dB føles smerte i øret og ved 150 dB bliver man øjeblikkelig og permanent døv. Ved 190 dB brister hjernens blodårer.

Se planche nr. 6, Dias nr. 23

Ørets hukommelse: Indholdet af det, øret opfanger, f.eks. en tale, en sangtekst eller en melodis harmonier, lagres i hjernen. Hvorimod øret "glemmer" største delen af den opfattede akustik og frekvensbalance på et musikstykke det lige har hørt i løbet af kort tid. Ved test af en højttaler er det derfor en god idé, at benytte en anerkendt kvalitetshøjttaler som reference til a/b test i forbindelse med psykoakustiske vurderinger. Til denne sammenlignende test kan benyttes et specielt omskiftersystem, der kompenserer for eventuelle niveauforskelle, således at øret opfanger lyden fra højttalerne med ens styrke og dermed ørets samme psykologiske linearitet.

Ørefølsomhedskurver



Gråt felt : Ørets dynamiske arbejdsområde

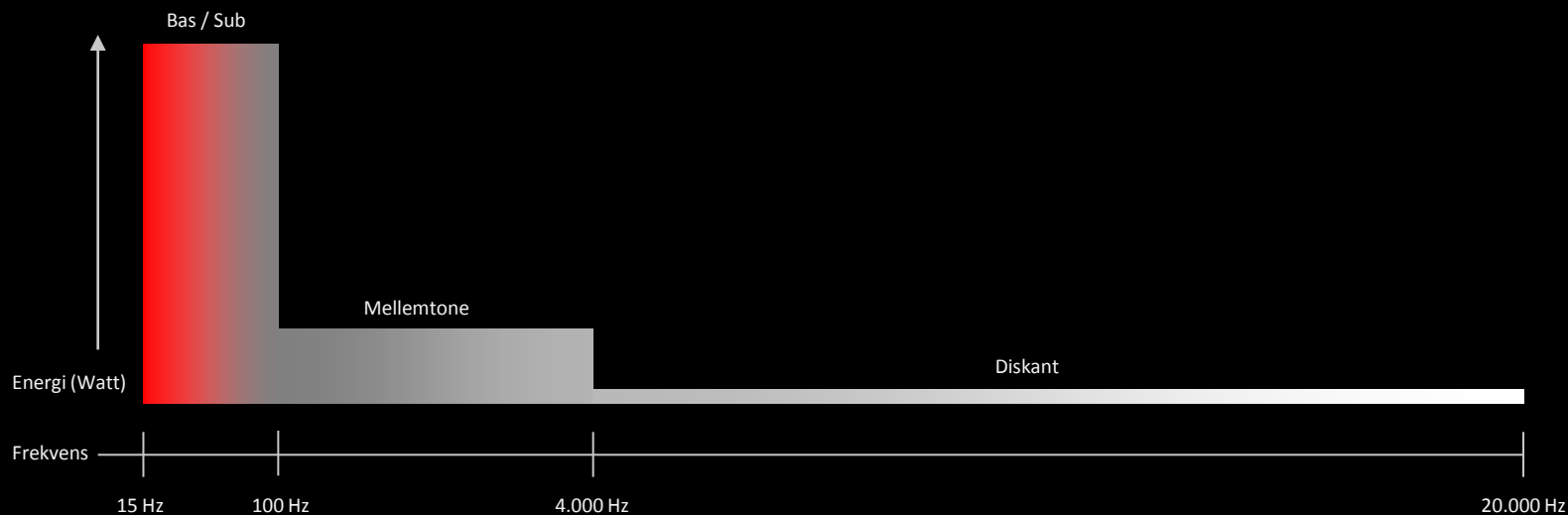
Blå pil : Ørets dynamiske arbejdsområde ved 50 Hz udgør ca. 70 dB

Rød pil : Ørets dynamiske arbejdsområde ved 2.000 Hz udgør ca. 120 dB

Højttalerenhederne

Én enkelt højttalerenhed er ikke ideel til at gengive hele det hørbare frekvensområde, derfor opdeles frekvensområdet via et delefilter i flere afsnit (typisk to eller tre). Hvert afsnit varetages af enheder med egenskaber svarende til det respektive frekvensafsnit.

På nedenstående grafik vises et teoretisk eksempel på et trevejs højttalersystems frekvenssektioner, hvor det fremgår, at diskant-højttaleren dækker et langt større frekvensområde end mellemtone- og bashøjttaleren. Til gengæld fordrer bashøjttaleren væsentligt mere energi (watt) end de øvrige frekvensafsnit.



Bashøjtalere



SEAS bashøjtaler

Typiske størrelser: fra 4" til 12"

Ændringer i lufttrykket der opfattes som lyd, frembringes af membranens bevægelser. Mængden af luft der skal flyttes, for at vi kan opfatte lyden, afhænger af frekvensen. Der skal således flyttes mere og mere luft jo lavere frekvenser, der ønskes gengivet. Derfor skal bashøjtaleren enten have et stort membranareal, eller alternativt en lang membran- og svingspolevinding.

Den samlede volumen luft der flyttes pr. svingning (membranareal gange vinding), er afgørende for styrken af lyden. Bashøjtaleren er den største enhed i højttalersystemet. Dens membran kan være ophængt i blødt gummi, syntetisk skum eller lærred. Den svingende masse (membran og svingspole) samt ophængets eftergivenhed bestemmer enhedens resonansfrekvens.

Bashøjtalere til hi-fi brug bør have så lav en resonansfrekvens som muligt. Der er grænser for, hvor blødt ophængt kan gøres, uden at det går ud over dets styrende egenskaber, og en yderligere nedsættelse af resonansfrekvensen må derfor opnås ved at forøge membranens masse. En forøgelse af membranmassen går imidlertid ud over enhedens effektivitet, idet enhedens "motor" (svingspole + magnet) får mere masse at sætte i svingninger. Man kan så hæve effektiviteten ved at forøge magnetstyrken.

Er det bedre at anvende flere mindre bashøjtalere end én stor ?

Set ud fra et lydæssigt synspunkt, - ja

Set ud fra anvendelse af en enkel teknik og et prismæssigt synspunkt, - nej

Væsentlige fordele ved anvendelse af flere basenheder :

Flere mindre enheder har samlet en mindre membranvægt og en større kraftfaktor, hvilket giver en hurtig og præcis impulsrespons.

(se nedenstående skema)

Mindre basenheder kan tillige dække mellemtoneområdet, hvilket kan resultere i enkle filtre.

	antal drivere	membranareal	membranvægt	kraftfaktor BL	magnet
VIFA 8" M21WO-39-08	2 stk.	470 cm ²	46 gram	16,40 Tm	ferrit
Peerless 12" XXLS-P835017	1 stk.	483 cm ²	131,4 gram	10.58 Tm	ferrit

Bashøjtalere

Phase Plug i bas-drivere

Phase plug ofte af kobber reducerer kompression affødt af temperaturvariationer i svingspolen, øger belastningsevnen og eliminerer resonanser i hulrummet inde i svingspoleformen.



Faraday Rings

Kraftige kobberringe monteret under og over polstykket i bashøjtalere, mindsker ukontrollable membranudsving, hvorved lineær- og modulationsforvrængning reduceres.

<http://www.diy-audio.narod.ru/litr/FaradayRingsVoiceCoillmpedance.pdf>

Diskanthøjttalere

Diskanthøjttaleren er konstrueret til kun at gengive de højeste frekvenser. Ældre typer anvender membraner udformet som er flad keglestub, mens nye typer anvender domeformede membraner.

Diskanthøjttalerens membranareal er væsentlig mindre end mellemtonehøjttalerens for at opnå så god lydspredning som muligt.

For diskanthøjttalere gælder særlige krav til membranmateriale og svingspole, idet disse komponenter udgør den samlede vægt af den masse, der sættes i svingninger. Denne masse skal være så let som mulig, for at opnå et bredt frekvensområde samt en god impulsforarbejdning.

En diskanthøjttalermembran bliver udsat for accelerationer, der kan overstige tyngdekraften flere hundrede gange. Dette betyder at membranen ikke kun skal være let, men også særdeles stiv og stabil.

Svingspolen skal ligesom membranen være så let som mulig, hvilket opnås ved at bruge en tynd tråd samt et let rør. Svingspolen udsættes, ud over en stor mekanisk påvirkning, også for en stor temperaturbelastning, - op til flere hundrede grader.

I mange kvalitetsdrivere benyttes "magnetisk olie", der afleder varmen fra svingspolen til magnetens polsko.

Den magnetiske olie består af en tynd olie, hvori der opløst er meget fine stålpartikler, som herved kan fastholde olien i magnetfeltet.

Diskanthøjttalere kan typisk dække et frekvensområde fra ca. 2.000 Hz til over det hørbare, men ofte anvendes de hovedsagelig i frekvensområdet over 3000 – 4000 Hz for at undgå delefrekvenser i ørets mest følsomme område.

Spredning af lyden er en vigtig parameter for diskantdrivere.

Driverens evne til at sprede lyden jævnt kan kontrolleres med ringradiatoren og måske yderligere med en phase plug.

Spredningsgraderne er individuelle og kan bl.a. kontrolleres med en wave guide.



Scan Speak's ringradiator med phase plug.



Monacor med waveguide



Konventionel dometweeter

Mellemtonehøjttalere



Seas 4 1/2 "

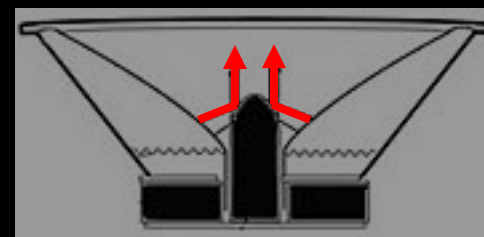
Mellemtone drivere indgår i trevejs-systemer (eller højere) .

I ældre konstruktioner dækker de typisk frekvensområdet fra 300 - 500 Hz op til 2.500 - 3.000 Hz.

Nyere mellemtone drivere kan dække frekvensområdet helt nede fra subwoofer-delefrekvenser fra omkring 100- 125 Hz op til ca. 4.000 Hz. Herved undgår man fuldstændigt, at delingen sker i det følsomme mellemtoneområde. Dette er opnået ved bl.a. anvendelse af nye membranmaterialer som f.eks. magnesium samt høje belastningsevner.

Det må anbefales ikke at anvende delefrekvenser under ca. 100 Hz, idet membranudsving herved øges markant og forårsager forvrængning. Således kan tovejs systemer, hvor den samme driver både dækker bas- og mellemtoneområdet forårsager forvrængning i mellemtoneområdet.

Phase Plug i mellemtone-drivere



Forskellige frekvensafsnit udsendes fra forskellige afsnit fra membranen. Således udsendes højere frekvenser fra membranens center, hvilket forårsager lydbølgers tendens til at kollidere i et brændpunkt. Dette medfører fase forvrængning og hermed evnen til at gengive punktformighed.

Phase plug'en modvirker dette problem.

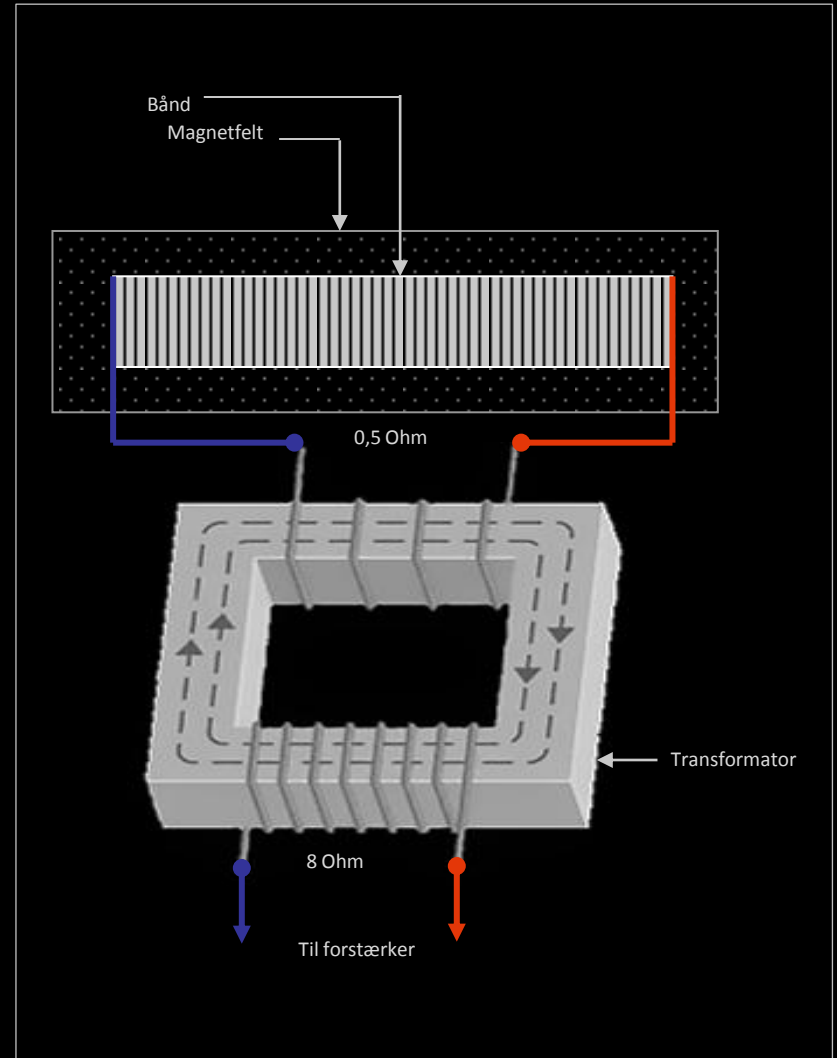
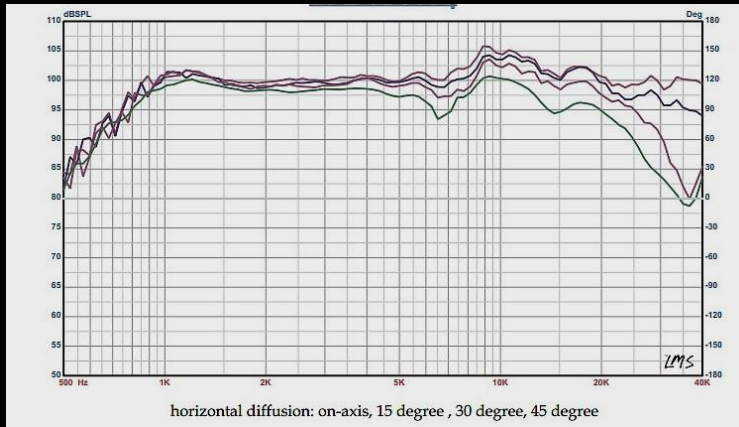
Båndhøjttaler



I Båndhøjttaleren fungerer et bølgeformet bånd lavet af aluminiumsfolie både som membran og svingspole. Båndet sættes i svingninger i et homogent magnetfelt og vil derfor ikke have tendenser til opbrud og fleksninger. Resultatet er en meget lav forvrængning og en god nuanceringssevne. Frekvensområdet rækker typisk op til 40.000 Hz.

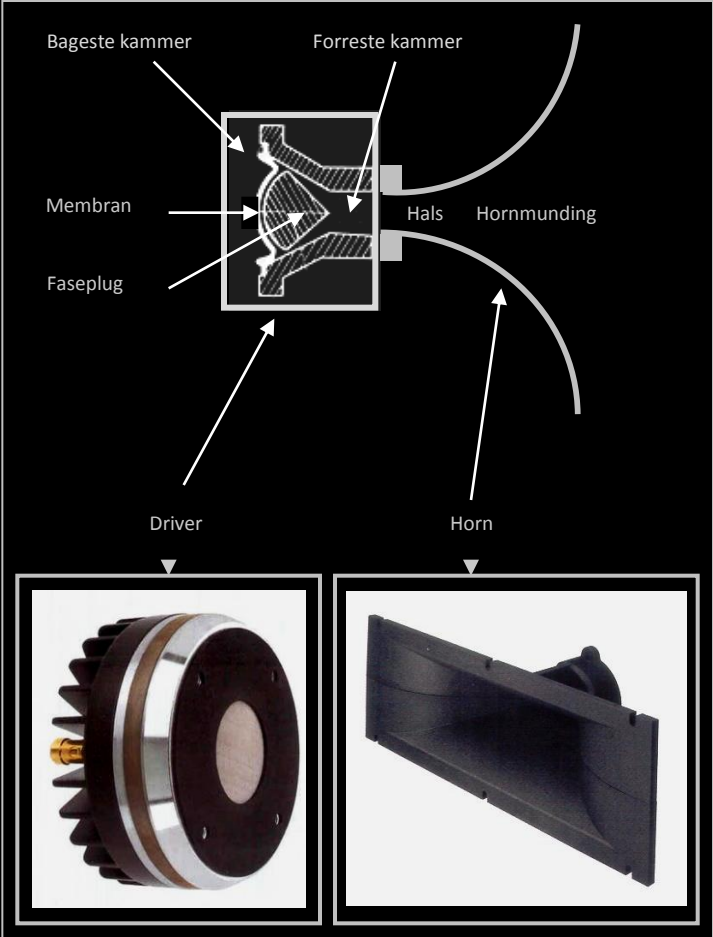
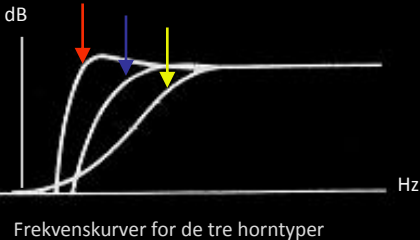
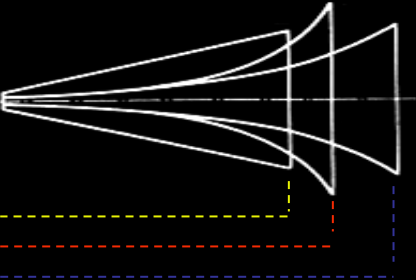
Bånddiskanthøjttalere findes både som egentlig diskant-højttaler eller som mellemtone- diskant-højttaler.

Fountek båndhøjttaler for mellemtone og diskant



Horn mellemtone- og diskant højttalere

Horn tværsnit

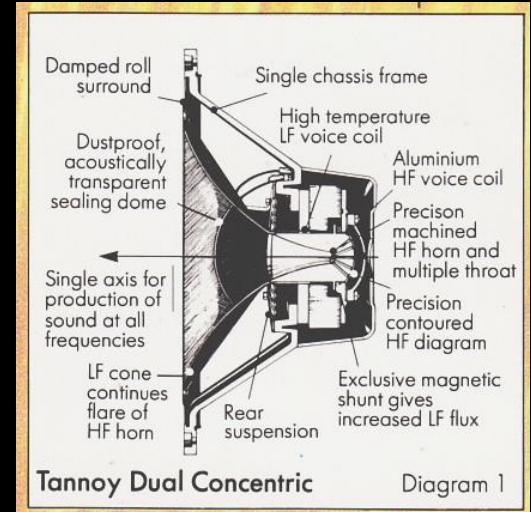


COAXIAL
Point source system

Et tovejs coaxial system betyder i praksis, at diskantdriveren sidder monteret i centrum af mellemtonen.
 Det har den åbenbare fordel, at lydølgerne spredes fra et og samme punkt og derfor får en uniform spredning over et bredt frekvensområde.
 Herved opfattes lyden imaginært fokuseret og med en nøjagtig placering af hver enkelt lydkilde. En egenskab andre højttalersystemer ofte har problemer med..

Flere og flere prestigehøjttalersystemer (KEF, Elac, Vienna Acoustica, TAD m.fl.) danner præcedens med brug af coaxialdrivere.

Anvendelse af neodyn-magneter i diskant-højttalere resulterer i meget kompakte konstruktioner, der gør dem velegnede i coaxialkonstruktioner.
 Med disse meget kompakte diskantdriver startede KEF og SEAS for 20 år siden udviklingen af patenterede high-end coaxialdrivere.



Tannoy Dual Concentric, - coaxialhøjttalerens pioner.
 Tidligere meget benyttet som studiemonitor



Dometweeter

SEAS coaxial driver med magnesium membran



KEF Blade



Coaxial

KEF studiemonitor

Coaxialhøjtalere til auto-brug

Mange kender coaxialhøjtalere fra auto højtalere, hvor en diskant- og evt. mellemtonehøjtaler er monteret på en bøjle i centrum af bashøjtalerens membran.

En konstruktion der skaber problemer med mellemtonespredningen.

Ikke velegnede til hifi-brug.



Fuldtone-højtalere (enkel-membranede)

Enkel membranede fuldtone-højtalere findes i typiske størrelser 4" og 5".

Fungerer ved hjælp af en særlig membranudformning uden delefiltere. Typen ses ofte anvendt i

forskellige hornkonstruktioner, til PA-højtalere og til autohøjtalere, - men nogle typer kan anvendes til Hi-fi gengivelse.

Frekvensforløbet i hi-fi-typer kan være næsten lineært, men med begrænset spredning af høje frekvenser samt lavere nuanceringssevne relateret til hi-fi-coaxialdrivere.



Dobbeltmembran-højtalere



SEAS dobbelt-membranet driver.

Dobbelt-membranet bredbåndshøjtalere findes i størrelser fra 5" og op til 12" og fordrer, grundet den særlige membrankonstruktion, ingen delefiltere. Typen ses ofte anvendt i forskellige hornkonstruktioner, til PA-højtalere og til autohøjtalere, hvorimod den er mindre velegnet til hi-fi gengivelse grundet den særlige diskantmembran, der har det med at gå sine egne veje. Frekvensforløbet er ikke specielt lineært, men rækker ved hjælp af den ekstra diskantmembran op til ca. 15.000 Hz.

PA - højttalere

PA højttalere har til opgave at afgive store lydtryk med et minimum af forvrængning . Farvning og kabinetresonanser kan til dels accepteres , så længe højttalernes "Sound" harmonerer med formålet.

Enhederne er tillige konstrueret til høje belastninger over lang tid.

PA højttalere er ikke velegnede til egentlig hi-fi-gengivelse.

Se næste side



Hornhøjttaler
(diskant eller mellemtone)



Diskant højttaler

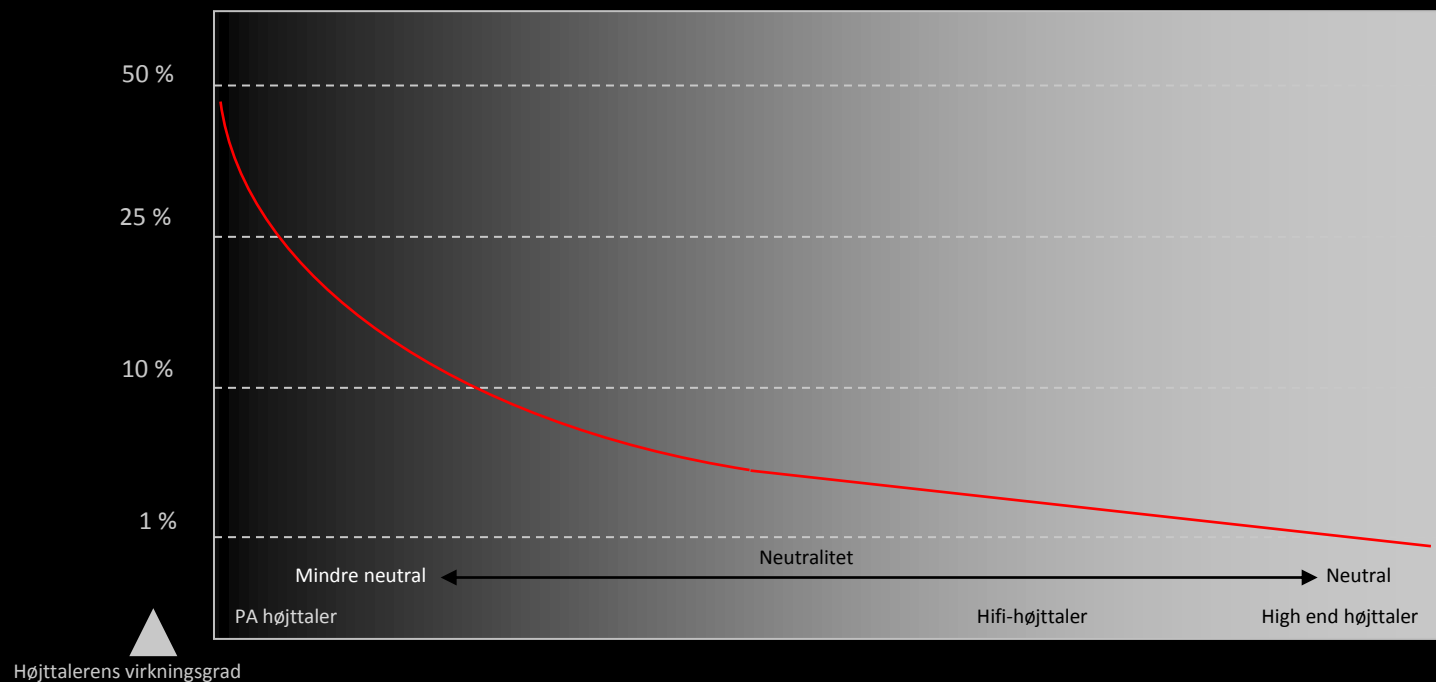


15" bashøjttaler



12" Dobbelt-membranet fuldtonehøjttaler

Højttalerens effektivitet relateret farvet lyd gengivelse

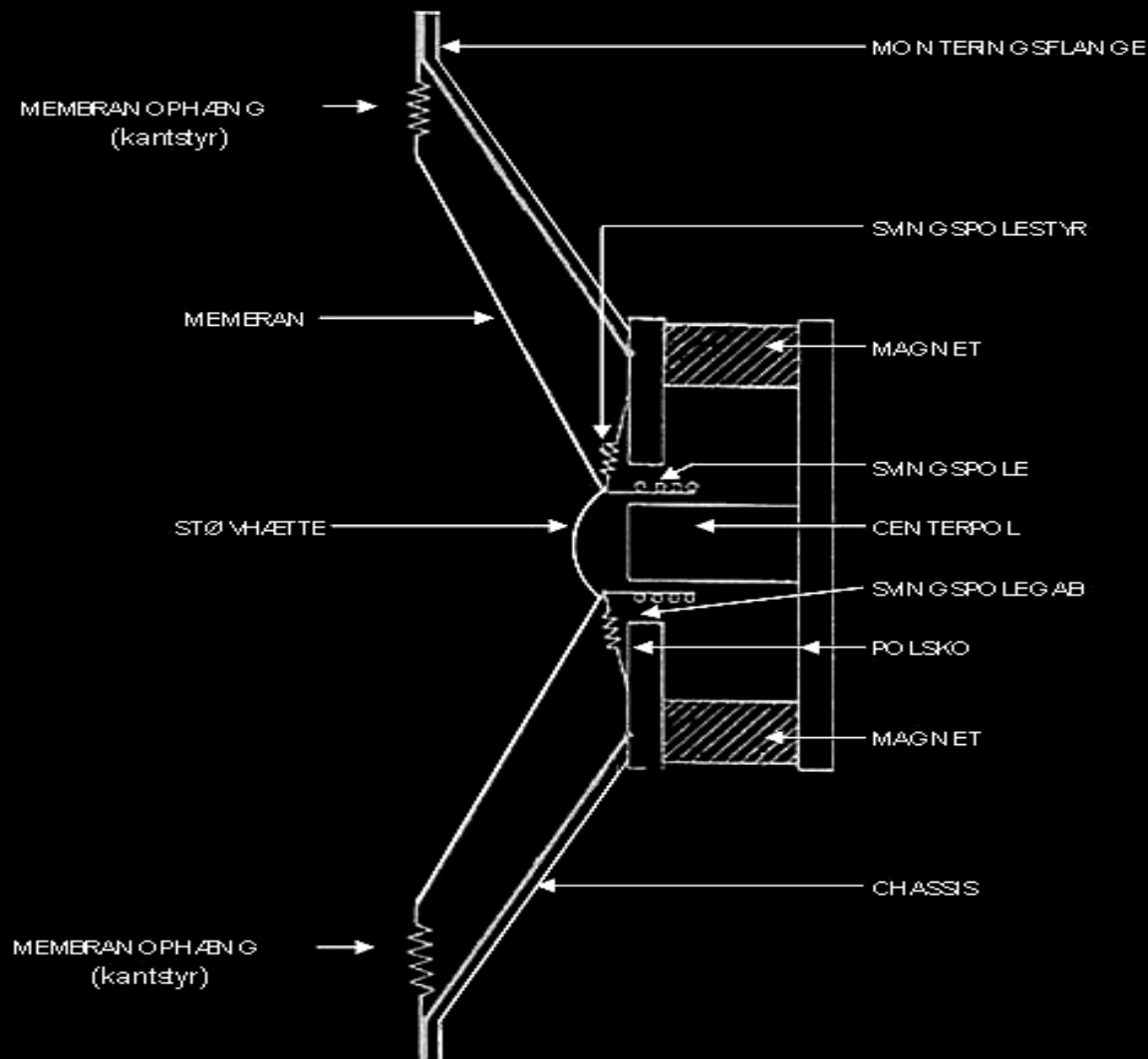


Grafisk fremstillet lydtrykskurve (rød kurve) relateret til højttalerens effektivitet og neutral til lyd gengivelse.

Eksemplet er udelukkende teoretisk og kan kun betragtes som en rettesnor.

Højttalerenhedernes (driverne) opbygning

Gennemskåret bashøjttaler

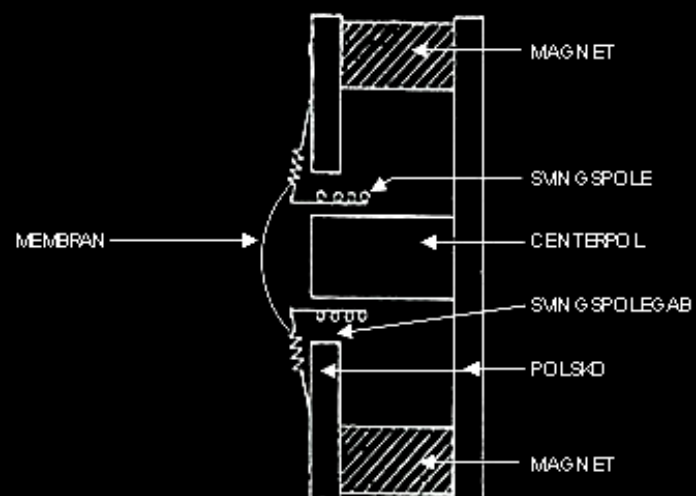


Gennemskårede basenheder



Højttalerenhedernes opbygning

Gennemskåret dometweeter



Magnetsystemet: - er et vigtigt og dyrt element i enheden. Magnetsystemet danner sammen med svingspolen "motoren" i systemet.

Ledes en strøm gennem svingspolen, vil der opstå et elektromagnetisk felt. Samspil med den faste magnet medfører, at svingspolen, der er "svejset" på membranen, sammen med denne, bevæger sig frem og tilbage i takt med en tilført vekselspænding, f.eks. et musiksignal.

De lufttryksændringer membranen skaber, opfattes som lyd. Som beskrevet i afsnittet "transducere", omsætter højttaleren elektriske svingninger til mekaniske svingninger (lyd). Hele processen foregår ved et snævert samarbejde mellem svingspole og magnetsystem. Det er uhyre vigtigt, at netop dette punkt, rent mekanisk, er udført med den allerstørste præcision for at undgå forvrængning.

Magnetsystemet består af en fast magnet, polsko og centerpol. Luftmelletrummet mellem polsko og centerpol, er udformet som cirkulær spalte (svingspolegabet), hvori svingspolen med meget stor præcision, er placeret.

I den cirkulære spalte er magnetens energi koncentreret til et homogent, meget kraftigt magnetisk felt.

Det mest benyttede magnetmateriale er ferrit. I tidligere kvalitetseheder blev materialet alnico benyttet, idet dets magnetiske styrke er ca. det dobbelte af ferrit. Alnico er i dag hovedsagligt afløst af materialet neodymium, hvis magnetiske styrke er ca. ti gange stærkere end ferrit.

Svingspolen: - der er svejset på membranen, har til opgave at omsætte elektrisk energi til magnetisk energi og ved hjælp af det faste magnetfelt sætte membranen i svingninger. Selve svingspolen består af en cylinder, hvorpå der er viklet og limet lakeret tråd. Tråden er oftest rund og af kobber. I nogle kvalitetsdrivere benyttes firkantet tråd, hvorved der kan koncentreres ca. 25% mere tråd i magnetfeltet. Dette forhøjer det elektromagnetiske felt og dermed driverens virkningsgrad.

Temperaturer på over 250 grader er ikke usædvanligt for svingspoler, der udsættes for en høj belastning. Dette fortæller lidt om de krav, der stilles til de materialer der anvendes til cylinder, lim og tråd. Cylinderen er ofte udført af aluminium og til enheder med stor belastning kan anvendes materialet kapton, der tåler op til 400 grader. I diskantenheder anvendes ofte en magnetisk olie i magnetfeltet for at aflede varmen fra svingspolen til de omkringliggende polsko.

Ophænget: Specielt i bashøjttalere skal svingspole og membran bevæge sig et stort stykke frem og tilbage. For at minimere forvrængning skal hele bevægelsesarealet være lineært. Såfremt svingspolen bevæger sig delvist ud af luftgabet, opstår forvrængning (ulinearitet). Modsat kan svingspolen ramme bunden af luftspalten med mekanisk beskadigelse til følge.

Ophænget kan enten være meget stift for at begrænse svingspolens vandring i basreflekssystemer eller det kan være meget blødt. Enheder med et blødt ophæng (højkompliante) udnytter fjedervirkningen fra den indespærrede luft i lukkede kabinetsystemer (trykkammer) til at dæmpe membranbevægelsen.

I kompendiets senere afsnit "Kabinetkonstruktioner" ses begrebet "Vas", der er en parameter til beregning af kabinettets rumfang. Vas betegner rumfanget (liter) af en given mængde indespærret lufts eftergivenhed svarende til membranophængets eftergivenhed i driveren. Anden betegnelse er ækvivalentvolumen.

2. Del - højttalerenhederne

Membranen: - har sammen med svingspolen til opgave at omsætte elektromagnetiske svingninger til lyd.

Den ideelle membran omsætter lyd til omgivende luft, svarende til det tilførte signal.

Dette er imidlertid kun teori. Alle membraner har sin "egenlyd", der adderes til det originale lydbillede. Man siger at lyden farves.

Vigtige faktorer er membranens stivhed så fleksninger undgås, samt dens vægt, styrke, udformning og egendæmpning, faktorer der på flere punkter ofte er modstridende.

Membranmaterialer: Producenter af drivere forsker intenst i membranmaterialer og membranudformninger, da man netop på disse område kan opnå store forbedringer. Gennem de senere år er nye materialer kommet til, ikke mindst takket være nye og omfattende målemetoder.

Til bas- og mellemtonehøjttalere anvendes ofte **papmembraner** med en rimelig kvalitet. Papmembraner anvendes tillige til kvalitetsenheder med en coating af pappet, idet de har en "blød og musikalsk" lydgenivelse. Papmembraner kan udformes med en bølget overflade, hvilket har til opgave at øge membranens stivhed og dermed reducere opbrud.

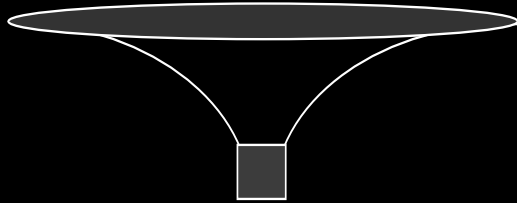
Magnesium ses anvendt i high-end drivere, idet materialet er let, stift og med stor egendæmpning, hvilket gør det velegnet bl.a. til mellemtonegenivelse.

Af andre anvendte materialer kan nævnes **polypropylene** og i den dyre ende anvendes bl.a. **kevlar** og **karbon-fibre**.

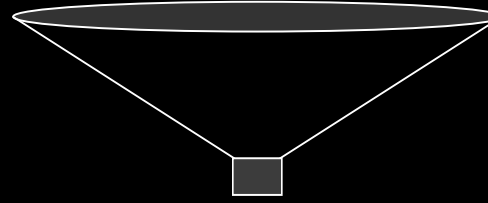
Membranudformning: Membranudformningen har en væsentlig betydning for lydudstrålingen og især spredningen. For membraner gælder generelt, at det effektive areal skal mindskes for genivelse af stigende frekvens.

I bashøjttalere med et konisk membrantværsnit vil en membranformmindskelse ske for hurtigt og resulterer i et lydtryksmaksimum, der hvor den effektive svingende membranmasse modsvarer svingspolemassen, hvorefter lydtrykket vil være faldende. Der anvendes derfor hovedsagligt hyperbolske membrantværsnit, hvor membran-formmindskelsen er ideel og resulterer i en retlinet og jævn lydtrykskurve.

I diskant højttalere anvendes stort set udelukkende domeformede membraner, der har en bedre spredning end kegleformede membraner.



Hyperbolsk



Konisk

Planche nr. 10

Chassiset: bærer alle højttalerenhedens komponenter og fungerer tillige som monterings-fundament til fastgørelse på kabinettet.

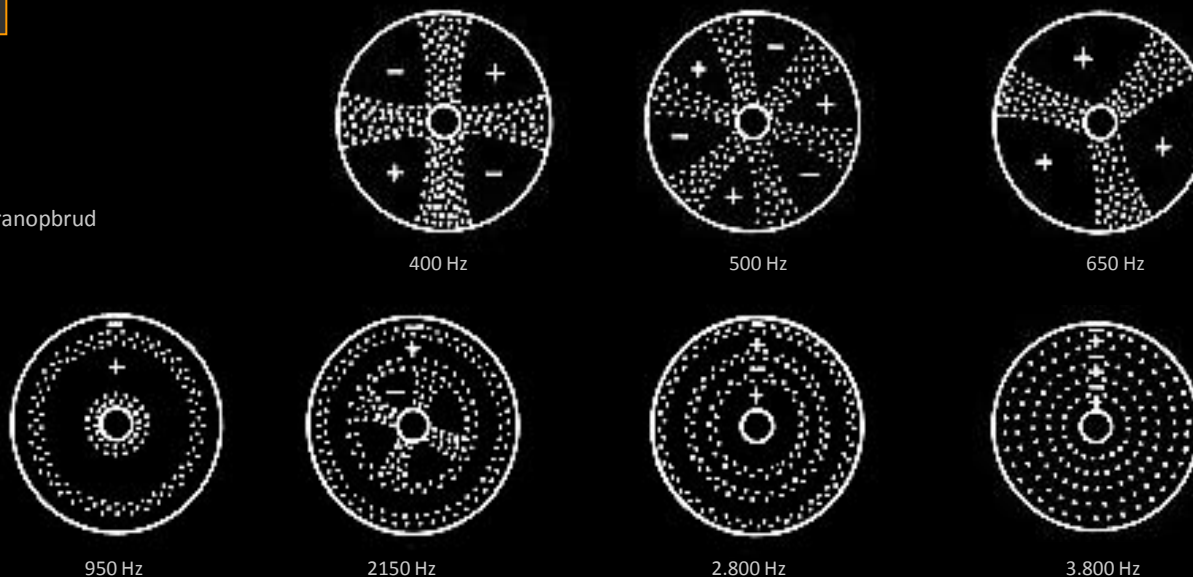
Det er vigtigt at chassiset er stift og robust, da dets opgave er at bære komponenterne med stor præcision. De mest stabile chassis er de trykstøbte (diecast), der ofte anvendes i dyre highendenheder. I de lidt billigere standardenheder anvendes oppressede pladechassis, hvis stabilitet er knap på højde med de trykstøbte.

2. Del - højttalerenhederne

Membranopbrud: Membranen i en bashøjtaler bevæger sig ved lave frekvenser (under ca. 300 Hz) som et stempel, d.v.s. at hele membranarealet er i fase. I frekvensområdet over ca. 300 Hz bliver svingningsformen langt mere kompliceret, idet det kun er den inderste del af membranen der svinger her. Er membranen ikke stabil og tilstrækkelig stiv vil den bryde op med fleksninger, hvilket betyder at forskellige områder af membranen bevæger sig ude af fase. Membranopbrud høres som forvrængning og kan i tilfælde komme op på 20 %, hvilket dog er mindre hørbart grundet ørets ringe følsomhed ved lave frekvenser. For at begrænse membranopbrud dæmpes mellem og høje frekvenser i bashøjtalere i delefiltere.

Planche nr. 11

Eksempler på membranopbrud



Højttalernes belastningsevne

Højttalernes belastningsevne er næsten som at måle elasticitet i metermål, men brugbare normer og målemetoder findes og bruges som beskrevet:
Målenormer efter IEC 268-5

RMS: Testsignal (hvid støj)* kontinuert i 100 timer

Short term: Testsignal (hvid støj)* i ét sekund herefter pause i ét minut, gentaget 60 gange.

Long term: Testsignal (hvid støj)* i ét minut herefter pause i to minutter, gentaget 10 gange.

*) Hvid støj indeholder samtlige frekvenser i området 20-20.000 Hz og lyder som "sus". Signalet er lineært.

Højttalernes følsomhed

Beslægtede betegnelser er **driftseffekt** eller **virkningsgrad**, hvilket i al sin enkelthed betyder højttalerens effektivitet ved omsætning af elektrisk energi til akustisk energi. Dette uanset om det er komplette systemer eller enheder.

Normerne:

Følsomhed: 1 watt / 1 meter = X dB

Driftseffekt: 96 dB / 1 meter = X watt

Virkningsgrad: 2,45 divideret med driftseffekt (watt) = X %

Sammenhæng mellem de tre normer i følgende eksempler:

Følsomhed (dB)	driftseffekt (watt)	virkningsgrad %
102	0,25	9,8
99	0,50	4,9
96	1,00	2,45
93	2,00	1,2
90	4,00	0,6
87	8,00	0,3
84	16,00	0,15
	reference	

Højttalernes målrettede formål

Højttalere har specifikke formål, - universalløsninger er halve løsninger!

Principielt kan en højttaler kun konstrueres med optimal lyd gengivelse, såfremt funktionsområde og akustiske konditioner kendes. Producenter af højttalere målretter deres produkter til funktionsområder, for herefter at konstruere højttalerne til specifikke formål.

Overordnede funktionsområder - herunder specifikke formål

Professionelle højttalere:

Monitorer til radio- og lydstudier. (ikke beskrevet)
Biografhøjttalere (surroundsystemer m.m.). (ikke beskrevet)
Højttalere til teatre og koncertsale. (ikke beskrevet)

PA højttalere:

Højttalere til elektrisk forstærkede musikinstrumenter og sanganlæg til brug i større lokaler eller udendørs.
Højttalere til brug offentlige steder, f.eks. stadioner, sportshaller, lufthavne, togstationer, butikcentre, m.m. (ikke beskrevet)

Højttalere i boligen:

Højttalere til low-fi anlæg
Højttalere til hi-fi anlæg
Entusiast-højttalere (high-end)
Surround højttalere
Indbygningshøjttalere (link og multi-systemer)
Aktive højttalere
Højttalere til computere

Højttalere til biler:

Ikke beskrevet .

PA højttalere

(forkortelse af "Public Announcement")

Højttalere til musik brug (instrumentforstærkning, sanganlæg og diskoteksbrug).

PA højttalere skal opfylde flere specifikke krav, hvor evnen til at afgive store lydtryk i en rimelig lyd kvalitet med lav forvrængning nok er den vigtigste. Til at opfylde dette krav fordres høj følsomhed

og stor belastningsevne af driverne over lang tid. Tillige må kabinetterne være robuste og kunne tåle stød og slag.

PA højttalere er typisk horns systemer med høje virkningsgrader ofte kombineret med basreflekssystemer.

Til PA højttalere kræves ikke nødvendigvis hi-fi-kvalitet, hvorfor kravet til tolerancer på nogle områder er mindre end f.eks. til hi-fi højttalere og high-end. Således kan afvigelse i frekvenslineariteten og egenlyd fra kabinetterne accepteres med en relativ stor margin, idet der må indgås kompromiser, for at opnå højest mulige følsomhed sat i relation til anskaffelsesprisen.

PA-systemer består typisk af mellemtone- og diskant horn kombineret med et basreflekssystem, der varetager basområdet.

Hornsystemer der kan give frekvenser under ca. 100 Hz har det med at blive meget store, hvorfor de sjældent anvendes.

Højttalere til boligen

Højttalere til minianlæg og computere - Højttalerne er ofte udført af et plastmateriale eller af tynd spånplade, hvilke medfører en noget tvivlsom lyd kvalitet

Højttalere til hi-fi-anlæg - er separate systemer, hvis opgave er at formidle lyd gengivelsen neutral. Højttalerne er ofte udført i solide resonansfrie træ kabinetter eller specielle aluminiumskabinetter. Tovejs og trevejs systemer i basreflekskabinetter er ofte benyttede, ligesom satellitsystemer med subwoofer benyttes grundet disse systemers gode møbleringsmuligheder. Lyd kvaliteten må betegnes som neutral og er velegnet til de fleste musikformer.

Entusiast-højttalere (high-end) - kan nærmest beskrives som forfinede hi-fi-højttalere, der benytter drivere af meget høj kvalitet, ligesom kabinetterne er tunge og næsten uden resonanser og egenlyd. Lyd gengivelsen er særdeles neutral. Højttalernes følsomhed er ofte lav.

Surround højttalere - bør være komplette sæt, således at klangfarven for alle højttalere er ens. Komplette sæt indbefatter højre- og venstrehøjttaler samt centerhøjttaler enten udført som satellitter suppleret med en subwoofer, eller alle tre højttalere udført som fuldtonesystemer. Bag- eller sidehøjttalere kan "nøjes" med at gengive et mindre frekvensområde fra ca. 100 Hz op til minimum 10.000 Hz.

Indbygningshøjttalere - er typisk af bredbåndstypen. Højttalerne kan i den moderne bolig indgå i multirums-systemer og være indbygget i lofter og vægge i rum, f.eks. i spisestue, køkken, alrum og badeværelse, hvor der er behov for baggrundsmusik og informative programmer. Køkkenet er blevet hjemmets nye "opholdsrum", hvor der stilles krav til god lyd kvalitet, jævn lydspredning (multisystemer) design og placeringsmuligheder. Bedst egnede er satellitsystemer med en skjult subwoofer, idet de er lette at indpasse i køkkenets arkitektur og samtidig kan yde hi-fi kvalitet. Samme type systemer kan tillige benyttes i badeværelser

Aktive højttalere

Som begynder af højttalerbyg skal man nok vente med konstruktioner af aktive systemer, - måske undtaget subwoofere. Aktive højttalere vinder mere og mere indpas og er måske en af fremtidens foretrukne højttalersystemer, her dog kun omtalt for helhedens skyld med en kort gennemgang af principper og fordele. Forskellen mellem en passiv og en aktiv højttaler er som udgangspunkt én eller flere indbyggede forstærkere i den aktive højttaler. Forstærkerne arbejder med et linesignal fra programkilden, hvilket åbner den mulighed, også at overføre signalet digitalt og samtidig gør overførselskablet mindre kritisk med hensyn til effekttab, støj, frekvensforløb m.m. Byggerier beskrevet her i artiklerne er alle passive, men alle højttalersystemer kan principielt forsynes med indbyggede forstærkere.

Ud over signaloverførslen åbner det aktive system for yderligere fordele i forhold til det passive system, eksempelvis kan nævnes mindre kritisk filterteknik, niveautilpasninger til de forskellige enheder, korte kabler mellem forstærkere og enheder, muligheder for korrektioner, automatisk loudness, og brug af digitalteknik.

Aktive subwoofere



B&W aktiv subwoofer med indbygget klasse D forstærker på 1000 Watt. Subwooferen har indbygget roomadaption (DSP) og er vibrationsfri med to drivere i boxer konfig.

Kompakte vibrationsfrie og aktive subwoofere. To drivere i boxer konfig.



B&O



Sonos



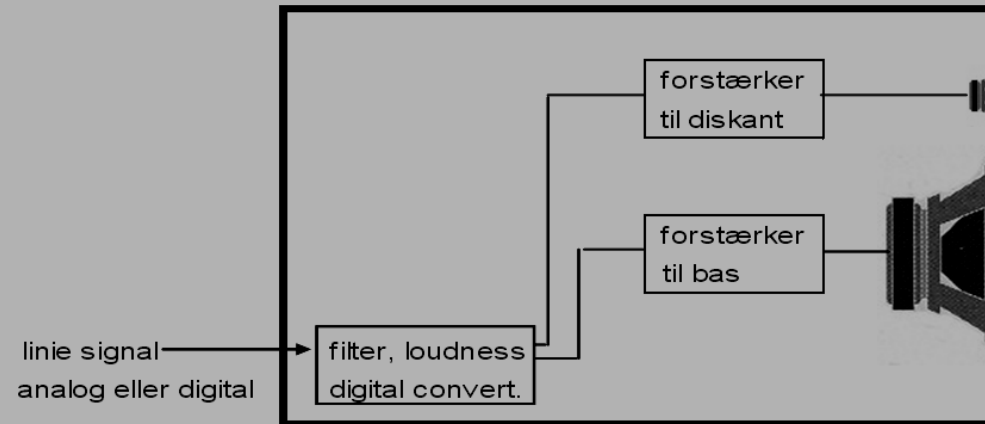
B&O anvender udelukkende aktive systemer.



Traditionel aktiv subwoofer med én driver.
(Se også DIAS nr. 127)

Traditionelle klasse A/B forstærkere udvikler varme, således også forstærkere i aktive højttalersystemer. For at disse forstærkere ikke skal overophedes, må deres kølelegemer monteres på højttalerkabinettets yderside. En løsning der ikke altid er lige æstetisk.

Blokdiagram for aktivt tovejs højttalersystem.



Alternativer kan være de nye klasse D forstærkere med teknologier, der muliggør lyd kvalitet på hi-fi-niveau.

Selv med betragtelige store udgangseffekter bliver klasse D forstærkere kun lige lunkne og kan derfor indbygges i højttalerkabinetter uden at give problemer med overophedning, ligesom deres strømforbrug er væsentlig lavere end traditionelle forstærkere.

Senest generation af hi-fi klasse D-forstærker på 2 x 50 Watt

Aktive højtalere

Behovet for aktive højtalere er stærkt stigende alt efter, hvilken rolle højtaleren har og er relateret til boligens forskellige lydsystemer.

Højtalerens centrale rolle i boligen.

Uanset hvordan jeg vender og drejer problematikken med integration af *stationære højtalere i boligen*, der kan opfylde WAF med high-end lyd gengivelse, ser jeg én væsentlig løsning, nemlig en integration i nutidens aktuelle TV- / hi-fi-møbler eller de fremtidige og mere enkle AV-platformer. Denne integration medvirker til ideelle målrettede konstruktioner med akustiske og designmæssige optimeringer til placeringsstedet. Egenskaber ikke mange konventionelle højtalersystemer kan tilbyde.

Uden for WAF normen står ofte entusiasthøjtalere, der optræder i deres eget univers.

TV-lyd og hi-fi-anlæg fusionerer med højtalersystemer.

Ser vi bort fra entusiast anlæg, ser jeg en hurtig voksende tendens til sådan en fusionering.

Fusionering løser opgaverne:

- Ophøjelse af TV-lyd gengivelsen til high-end.
- Hi-fi-anlæggets transformation til streamingsystemer.
- Møblering med WAF.

Højttalersystemets elementer

Primære elementer:



Højttalerenhederne: Har til opgave at gengive det fulde frekvensområdet svarende til det menneskelig hørbare. En enkelt enhed er ikke ideel til at gengive hele frekvensområdet, hvorfor der anvendes særskilte enheder til bas, mellemtone og diskant med hver deres optimale egenskaber.

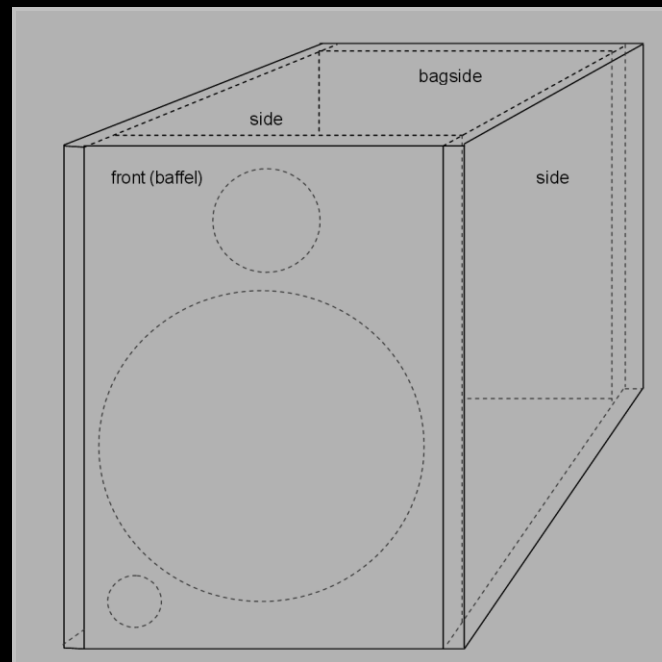
Højttalersystemets elementer

Primære elementer:



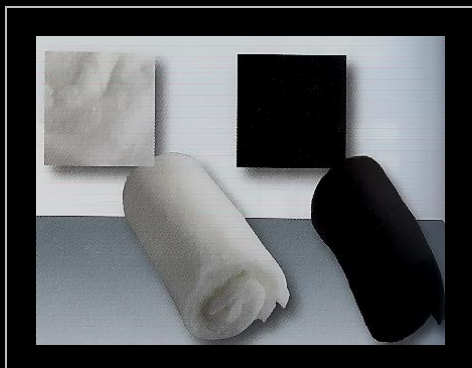
Delefilteret: Har til opgave at fordele det elektriske signal fra forstærkeren til enhederne, således at de udelukkende får tildelt det frekvensområde de er konstrueret til at gengive optimalt. Filtret kan tillige have nogle sekundære opgaver som at korrigere for mindre afvigelser i enheder og kabinet.

Kabinettet: Indgår som en vigtig del i bassystemet og fungerer kun som stativ for mellem- og diskantenhederne. De bedste kabinetter er lydmæssige neutrale, hvilket er ensbetydende med minimale egensvingninger og resonanser.



Højttalersystemets elementer

Sekundære elementer:



Dæmpevat og bitumen



Porte



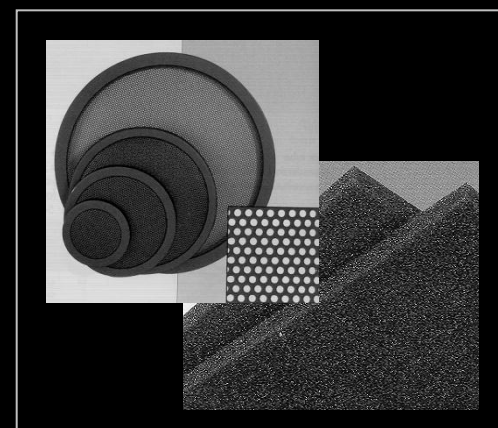
Spikes og fødder



Dubber til fronter



Terminaler



Fronter, Jerseystof m.m.

Komplette systemer

Ētvejs (bredbånd), tovejs, trevejs, (firevejs benyttes sjældent) samt satellit/subwoofer. For alle disse systemer er følgende data gode informationer: Belastningsevne (kontinuerlig effekt), impedans, følsomhed og frekvensområde.

Ētvejssystemet er elektrisk simpelt, idet man undgår delefiltret. Systemet benytter de såkaldte bredbåndshøjtalere, hvilket vil sige højtalere med en membran, der dækker det største mulige frekvensområde. For at membranen kan gengive de høje frekvenser med god spredning, må den ikke være for stor, hvorfor kvalitetsenheder typisk har en størrelse på 3" - 7", med membranmateriale af glasfiber, kevlar eller karbon. Grundet det lille membranareal yder disse enheder et begrænset lydtryk i basområdet, hvorfor de ofte ses i konstellationer, hvor der anvendes flere enheder i samme system, ofte i søjleform og eventuelt suppleret med en subwoofer. Nogle bredbåndshøjtalere, typisk de lidt større, har påsvejet en ekstra diskantmembran (dobbelmembranhøjtalere). Systemet virker delvist, men egner sig ikke til hi-fi-systemer, hvorimod det ses anvendt i forskellige hornkonstruktioner med bagladning.

Flervejsystemerne er mere komplicerede, idet flere enheder skal kunne arbejder sammen og det altid kritiske delefilter bliver uundgåeligt. Jo flere frekvensafsnit et højtalersystem opdeles i, - des mere kompliceret delefilter med deraf forbundne unoder.

Tovejsystemet kombinerer typisk 4", 5", 6½" og 8" bas/mellemtone-højtalere med ¾" eller 1" domediskanthøjtalere. Systemerne er elektrisk relative enkle i konstruktionen og kan yde virkelig høje lyd kvaliteter, selv i kompakte kabinetter. I et andet type tovejs system benyttes to ens parallelkoblede bas- /mellemtone-højtalere med diskantenheden placeret midt i mellem. Systemet er navngivet efter opfinderen d'Appolito. Ved at anvende to basenheder opnås et større membranareal og dermed afgivelse af større lydtryk. Systemet udmærker sig tillige ved et velkontrolleret spredningsmønster af diskant og mellemtone. Tovejs systemer kan tillige kombineres med en subwoofer, de såkaldte satellitsystemer, der fungerer elektrisk som et trevejs system. **Coaxialhøjtaleren** er i hi-fi-sammenhæng et tovejs system.

Trevejs systemet konstrueret som et traditionelt system med bas-, mellemtone- og diskant-højtaler, vælges ofte når større lydtryk ønskes. For opnåelse af større lyd tryk, må der benyttes 10", 12" eller 15" bashøjtalere. Disse enheder har typisk en dårlig spredning i mellemtoneområdet, hvorfor en kombination med en mindre mellemtoneenhed på 3", 4" eller 5" nødvendig gøres og hvis spredning igen glider jævnt over til diskanthøjtaleren. Valg af enheder til trevejs systemer er mere komplicerede end i tovejs systemer, idet frekvensbalance, faseforhold m.m. beror på et præcist samarbejde mellem de tre enheder samt delefilter.

Et andet konstruktionsprincip, er **2½-vejs systemet**, der elektrisk fungerer som et trevejs system. Her benyttes to ens bas / mellemtonehøjtalere, typisk 4", 5", 6½" eller 8" samt en diskant højtaler. De to bas / mellemtonehøjtalere er elektrisk koblet parallelle, men filtreret deler således, at kun den ene enhed fungerer både som bas- og mellemtonehøjtaler og den anden enhed udelukkende som bashøjtaler.

Overbelastning og sikring af højttalere

Følgerne efter effektmæssige overbelastninger af højttalersystemer skelnes der mellem: Mekanisk sammenbrud af højttalerenheder eller nedbrud af svingspole i højttalerenheder eller nedbrud af defilterkomponenter.

Mekanisk sammenbrud sker hovedsaglig i bashøjttalere og ikke så ofte i mellemtone- og diskant højttalere.

Årsagen til sammenbrud kan skyldes store effektmæssige overbelastninger og kraftige transienter, der medfører så store membranudsving, at membranophænget beskadiges eller svingspolen banker imod magnetens bund og deformeres.

Afbrudte svingspoler er nok den oftest forekommende beskadigelse af højttalerenheder foranlediget af overbelastning.

Varme der afsættes i svingspolerne er restproduktet fra den tilførte elektriske effekt, som ikke omsættes til lyd (typisk over 90%).

Varmemængden fremkommer ved afsat effekt i et givet tidsforløb.

For høj varme afsat i svingspolerne skyldes for stor afsat effekt i et for langt tidsforløb.

En defekt forstærker med **DC-drift** (jævnstrøm fra højttalerudgangen) vil altid forårsage høje temperaturer i bashøjttalernes svingspole med afbrydelse til følge. Jævnstrøm kan ikke passere delefiltret, hvorfor mellemtone- og diskant højttalere skånes.

En defekt forstærker der går i **selvsving**, medfører et ikke hørbart, højfrekvent signal, der forårsager høje temperaturer i diskant højttalerens svingspole med afbrydelse til følge. En fejl der sjældent forekommer i moderne forstærkerkonstruktioner.

Klipning

Musiksignaler består hovedsagelig af kortvarige impulser, hvis tidsforløb udgør brøkdele af sekunder og derfor ikke når at afsætte varme i svingspolerne. Først når signalerene forvrænges ved overstyring af en forstærkers udgangstrin, øges tidsforløbet drastisk og temperaturen stiger katastrofalt i svingspolerne med afbrydelse til følge.

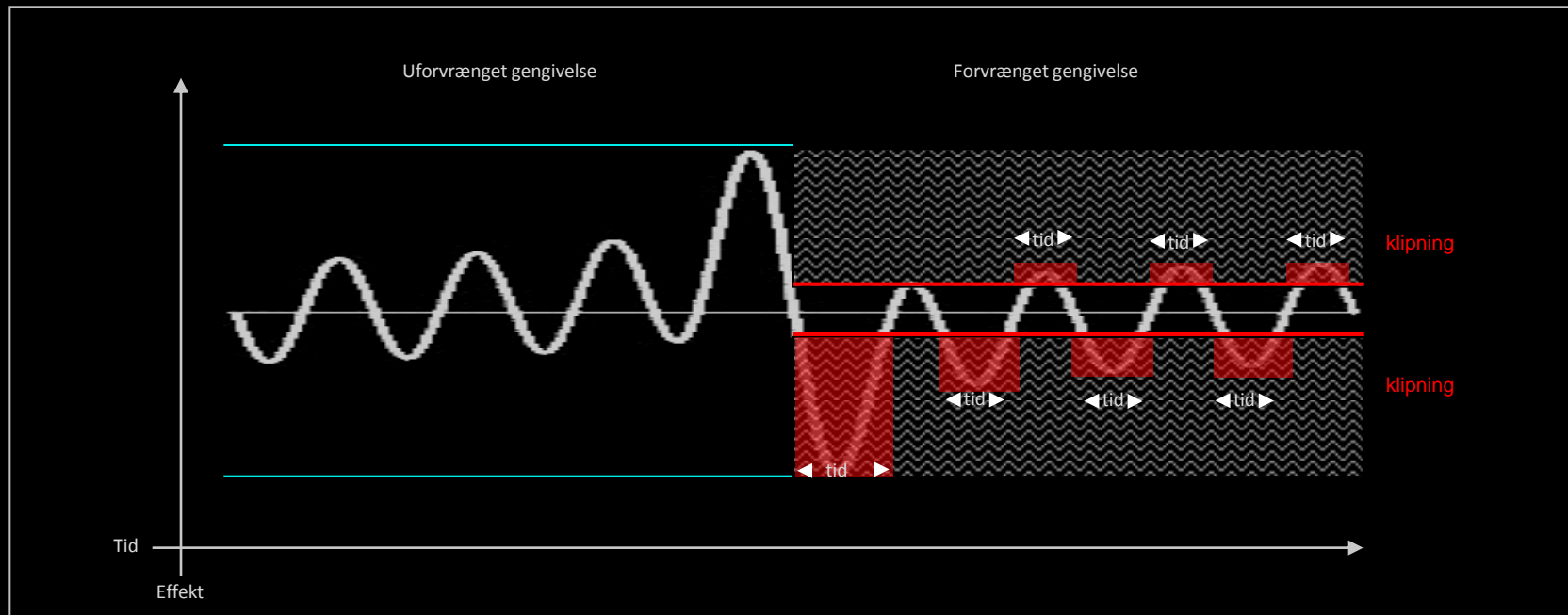
Overstyring af forstærkere betegnes klipning, grundet den grafiske fremstilling af musiksignalers transienter, der får spidserne "klippet" og bliver til forvrængning.

Overstyring fremkommer ved en forstærkers utilstrækkelige udgangseffekt til et givet behov.

Betragtes billedet ses et musiksignal grafisk fremstillet. Det vandrette forløb er tidsforløbet og det lodrette forløb er effektniveauet.

Effektniveauet mellem de to grønne streger gengives af en forstærker med tilstrækkelig udgangseffekt, hvorimod effektniveauet mellem de to røde streger er begrænset af en forstærker med for lille udgangseffekt. Signalet i felterne med bølger bliver "klippet" og omdannet til forvrængning (røde felter).

Denne forvrængning udgør effekt i et væsentligt længere tidsforløb end de uforvrængede transienter.



2. Del - højttalerne

Summa sum`marum anvend hellere forstærkere med lidt for stor udgangseffekt frem for forstærkere med for lille udgangseffekt, relateret til anvendte højttalere.

Nedbrud i delefiltere forekommer typisk i forbindelse med overbelastning af højttaler-enhederne. Nedbruddet sker mere eller mindre tilfældigt af filtrets komponenter (kondensatorer, spoler og modstande).

Sikring af komplette højttalersystemer og højttalerenheder:

Sikring af komplette systemer kan kun foretages med en elektronisk sikringsenhed, der er forsynet med et justerbart følekredsløb til indstilling af brydetidspunkt.



Elektronisk justerbar sikringsenhed

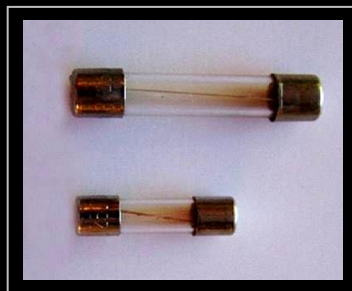
Sikring af bashøjttalere er sjældent nødvendige i hi-fi-systemer til boligen, hvorimod sikring af dyre bashøjttalere i PA-systemer kan være en god investering. Skal en sikring af bashøjttalere være effektiv, bør der anvendes omtalte elektroniske kredsløb.

Anvendes der ikke en elektronisk sikring af det komplette højttalersystem, kan man sikre mellemtone- og diskant-højttalere med finsikringer eller PTC modstande, idet svingspolerne (især i diskant-højttalere) er vikled af sårbare, tynde kobbertråde, der let smelter ved høje varmegrader.

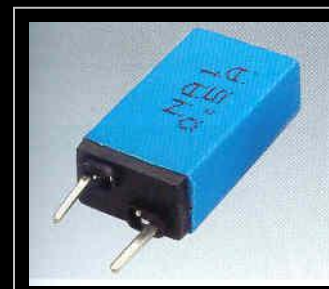
2. Del - højttalerne

Anvendes der ikke en elektronisk sikring af det komplette højttalersystem, kan man sikre mellemtone- og diskant højttalerne med finsikringer eller PTC modstande, idet svingspolerne (især i diskant højttalere) er vikled af sårbare, tynde kobbertråde, der let smelter ved høje varmegrader.

Denne sikringsmetode er dog mindre sikker grundet en relativ lang reaktionstid og kan tillige påvirke gengivekvaliteten i mindre grad.



Finsikringer



PTC-modstand

Finsikringer (0,8 – 1 A / træg til diskant højttaler / imp.8 Ohm) og **PTC-modstande** fungerer ved en gradvis opvarmning grundet overbelastning.

Når en given temperatur er nået afbryder sikringen. Finsikringer skal udskiftes efter afbrydelsen, hvorimod PTC-modstanden fungerer igen efter nogen tid når overbelastningen er fjernet.

Beregninger af denne type sikringer er imidlertid noget usikre, idet beregningerne skal baseres på musiksignaler, der er temmelig komplekse. Ved nogle forsøge kan metoden bringes til at fungere.

Delefiltere har stor betydning for beskyttelse af mellemtone- og diskant højttalere. Den bedste beskyttelse fås fra filter med højest mulige delefrekvenser og med store flankestejlheder (12 dB – 18 dB).

Delefiltere beskrives i 5. DEL.

Transducere

En transducer er et apparat, der omsætter en energiform til en anden energiform.

Omsætningsprocessen kan bestå af flere processer.

Omsætningsprocessen medfører altid et "tab", d.v.s. et uønsket restprodukt, der i mange tilfælde bliver til varme.

Jo mere effektiv transducere fungerer, des mindre varmeudvikling. Eksempelvis kan nævnes en almindelig elektrisk pære (glødelampe), - har en effektivitet på ca. 10%, der bliver til lys, - resten 90% bliver til varme.

Tranducer-eksempler:

Mobiltelefon: Fra lyd til elektricitet til radiomagnetisk bølger, - eller omvendt.

Lampe: Fra elektricitet til lys.

Elmotor: Fra elektricitet til rotation.

Komfur: Fra elektricitet til varme.

Solvarmeanlæg: Fra lys til varme.

Højtaleren er en transducer, der omsætter elektrisk effekt til lyd. Dens effektivitet varierer, alt efter konstruktionsprincip.

En typisk hi-fi-højtaler har en effektivitet på 1 – 3%.

Store hornhøjtalere har en effektivitet på op til 50%.

Restproduktet er varme.

Valg af enheder relateret til kabinetsystemer

Når man står for at skulle bygge en højttaler, har man sandsynligvis allerede gjort sig nogle tanker om hvilket system det skal være. Vil man som udgangspunkt sikre sig at højttaleren kommer til at fungere optimal (akustisk, elektrisk og placeringsmæssigt), må man vælge højttalerens specifikke formål ud fra de funktionsområder, der er beskrevet i afsnittet: "Højttalerens målrettede formål". Når det så er gjort, kan man begynde at finde de bedst egnede drivere, der vælges ud fra følgende kriterier:

- 1) Kvalitet / pris.
- 2) Kabinetsystem.
- 3) Tekniske specifikationer.

Kvalitet / pris hænger som regel sammen. En tommelfingerregel siger: Jo højere kvalitet af drivere, des mere enkle delefiltere. Drivere med lavere kvalitet, kræver ofte stejle afskæringer ved defrekvenserne, ligesom korrektioner kan være nødvendige. Dette komplicerer konstruktionsarbejdet og medfører flere komponenter i filtret, der kan være grobund for fejlmuligheder, ligesom højttalerens følsomhed forringes.

Kabinetsystem.

Start altid med at vælge bashøjttaleren, idet denne danner udgangspunkt for valg af kabinetsystem, kabinettets rumfang samt systemets følsomhed. Husk at bashøjttalere med højere følsomhed end mellemtone- og diskant højttalere ikke kan dæmpes elektrisk. For de øvrige enheder er det kun mellemtoneenheden der har behov for et mindre kabinet.

Der kan være flere årsager til, hvilket kabinetsystem man vælger, men en ting er givet:

Bashøjttaler og kabinetsystem skal altid passe sammen, hvilket betyder, at man altid skal være i besiddelse af enhedernes tekniske data, hvor de tre vigtigste er Thiele / Small parametrene : f_s – Q_t - V_{as}

Har man allerede enhederne med de nødvendige data (Thiele / Small), vil dette medvirke til valget af kabinetsystem.

Har man endnu ikke besluttet sig for at bygge en bestemt kabinetsystem, kan følgende hjælpeværktøj omhandlende EBP, lytterummets størrelse og systemernes karakteristika sandsynliggøre valget af enhederne med relaterede data.

EBP (effektivitets-båndbredde-produkt) hjælpesystem udviklet af Richard Small kan benyttes som udgangspunkt til valg af basenheder relateret til kabinetsystem med følgende nøgletal:

EBP under 50: Transmissionliniekabinet.

EBP 50 – 99: Trykkammerkabinet (lukket)

EBP 100 – 149: Basreflekskabinet.

EBP 150 – 250: Hornkabinet

Kabinetkonstruktioner

Denne del af artikelserien omhandler de vigtigste processer i den **teoretiske** gennemgang af de mest almindelige kabinetsystemer baseret på computerberegninger og simuleringer i LAB 3. [Se Dias nr. 160, downloads](#)

Beregninger og simuleringer danner udgangspunkt og grundlag for det efterfølgende forløb i det **praktiske** og eksperimentale konstruktionsarbejde.

Højttalerkabinettet har vital betydning for bashøjtalerens funktion, idet kabinettets rumfang minutløst "styrer" bashøjtaleren, medens kabinettets betydning for mellemtonehøjttaleren, der har separat kabinet - og diskant-højttaleren kan koncentrerer omkring udformningen af kabinettets front (baffle).

Kabinetter er stort set uundværlige for gengivelse af lave frekvenser med nogle få undtagelser.

Når en bashøjtaler udsender lydølger, vil disse udbredes i 360 grader som ringe i vandet.

Såfremt enheden ikke er monteret i et kabinet, vil lydølgerne fra membranens forside brede sig til bagsiden grundet den rundstrålende udbredelse og der vil herved ske en gradvis ophævelse af lydølgerne, - kaldet akustisk kortslutning. Den akustiske kortslutningen vil ske med et fald i lydtrykket med ca. 6 dB pr. oktav fra ca. 150 Hz og ned.

Sørger man for at der ikke er akustisk forbindelse mellem membranens for- og bagside bliver enheden i stand til at gengive lave frekvenser, hvilket kan gøres ved at placere enheden monteret på en meget stor plade og jo større plade, des lavere frekvenser kan gengives.

Konstruktionen kan forekomme noget upraktisk, idet gengivelse af f.eks. et frekvensområde ned til 50 Hz fordrer en plade på 10 m².

Alternativet er at placere bashøjtaleren i et kabinet, om end det bliver mere kompliceret at beregne, men til gengæld noget mere placeringsvenlig.

I de kommende afsnit gennemgås de mest benyttede kabinettyper, der alle har til opgave, at forhindre omtalte akustiske kortslutning samt "styre" bashøjtaleren akustisk.

Det ideelle kabinet bør være lyd-mæssigt neutralt, men i praksis bidrager kabinetter altid med deres egen lyd, - mere eller mindre.

Undtagelserne

Kabinetter er ikke altid fuldstændigt uundværlige, idet der findes konstruktioner næsten uden kabinetter, de såkaldte dipol-højttalere, spændende konstruktioner i flere afskygninger, f.eks. med dynamiske elementer eller som elektrostatpaneler, men systemer der nok ikke har hjemme i højttalerbyg for begyndere, men blot nævnes for helhedens skyld.



Martin Logan med dipol elektrostatpanel kombineret med subwoofer

Kabinetsystemer til bashøjttalere:

De ofte benyttede kabinettyper er trykkammersystemet, basreflekssystemet, slavebassystemet og båndpasssystemet, - alle beskrevet her i artiklen.

De omtalte kabinetsystemers effektive rumfang i liter skal altid beregnes og kendes, det samme gælder for dimensionering af porte i basrefleks- og båndpasssystemer. Overlad intet til tilfældigheder, såfremt resultatet skal blive godt.

Alle beregninger og simuleringer baseres på højttalerenhedernes parametre, hvorfor disse skal kendes. Er man ikke i besiddelse af parametrene, kan disse måles og beregnes i LAB 3 programmer. [Se 6. Del, Dias nr. 132 målinger](#)

Andre kabinettyper er hornsysteget, herunder kvartbølgehornet samt transmissionslinie-systemet, der alle stiller store krav til beregninger og snedkermæssige færdigheder og derfor nok er mindre velegnede til nybegyndere.

Kabinetsystemer til mellemtonehøjttalere:

Mellemtoneenheder gengiver typisk ikke frekvenser under ca. 500 Hz, hvorfor et kabinet ikke har væsentlig betydning ud over af at separere trykbølger fra bashøjttaleren. Der kan dog være fordele ved den "luftfjeder" et trykkammerkabinet på $\frac{1}{2}$ - 1 liter kan yde. Kabinettet skal forsynes med dæmpevat til reduktion af refleksion og dermed forvrængning.

Eksperimenter

Når teorien er på plads, kan legen begynde og opbygning af et nyttigt erfaringsgrundlag kan tage sin spinkle start. Eksperimenter med kabinetternes variabler danner basis for opbygning af højttalerkonstruktørens måske vigtigste værktøj, - erfaringen. En egenskab der til stadighed er under udbygning og først får sin gradvise betydning efter adskillige års arbejde med lyd og højttalerbyg.

Begynderen må altså udvise lidt tålmodighed inden erfaringen for alvor kan komme til nytte.

Efter at have beskæftiget sig blot en smule med højttalerkonstruktion, finder man hurtigt ud af, at mange beregninger og målinger kan gradbøjes mere eller mindre, ligesom der er vide rammer, hvad angår valg af kombinationer af kabinetter, filtre og drivere. Dette betyder at ingen højttaler kan konstrueres eller bygges ideel, - alle højttalere har deres eget særpræg og deres egen lyd på godt og ondt.

Det gode er, at højttalerkonstruktører såvel professionelle som amatører kan boltre sig med idéer og kreativitet uden snævre grænser, så individuel smag og særpræg kan få lov at blomstre.

Og det er vel lige netop denne individualitet, der gør denne hobby levedygtig i vor tids teknologiske verden.

- og skulle janteloven melde sin ankomst, så negligér den blot og dyrk din hobby med største fornøjelse!

Janteloven:

Du skal ikke tro du er noget
Du skal ikke tro du er lige så meget som os
Du skal ikke tro du er klogere end os
Du skal ikke bilde dig ind at du er bedre end os
Du skal ikke tro du ved mere end os
Du skal ikke tro du er mere end os
Du skal ikke tro at du duer til noget
Du skal ikke le ad os
Du skal ikke tro at nogen bryder sig om dig
Du skal ikke tro du kan lære os noget
(Aksel Sandemose)

Måderne at eksperimentere på er individuelle, - gør man det på skrømt bidrager det nok ikke så effektivt til opbygningen af erfaringsgrundlaget på sigt. Bringer man derimod lidt systematik ind i eksperimenterne eventuel suppleret med notater, så er man godt på vej.

Systematik med eksperimenterne:

Her i artiklen anvendes tovejssystemer som de foretrukne eksperimentale systemer grundet deres relative enkle opbygning, der til trods indeholder mange typiske og basisteknikker til belysning af konstruktion og funktion.

Der startes fra scratch med udgangspunkt i de områder, der gennemgås i følgende afsnit:

[3. Del / Kabinetkonstruktioner](#)

[4. Del / delefiltre](#)

[5. Del / Subwoofere](#)

[6. Del / måling](#)

Eksperimenter med højttalerkonstruktioner er så omfattende et område, at de følgende eksempler kun er toppen af isbjerget og kun tænkt som en igangsætter og en lille forsmag på, hvad det vil sige at eksperimentere med højttalerbyg.

Hovedvægten lægges på teoretiske eksperimenter med brug af computeren, hvorved fundamentet til efterfølgende eksperimenter får en rationel indgang til det praktiske arbejde med kabinetter, filtre m.m. og eventuelle målinger.

Eksperimenter der rækker ud over de her beskrevne er uendelige og overlades til læserens nysgerrighed, kreativitet og fantasi.

I det følgende vil der være forslag til eksperimentalområder med anvendelse af beregninger og simuleringer baseret på programmet LAB 3, og målinger

baseret på programmet Holm Impulse. [Se Dias nr. 160, downloads](#)

Idet artikelserien er møntet på begyndere, er kun enkelte elementer medtaget fra de mange muligheder computerprogrammerne har at byde på. For de nysgerrige er der mængder af muligheder i programmerne til yderligere eksperimenter.

Beregnings- og simuleringsprogram til computeren

LAB 3

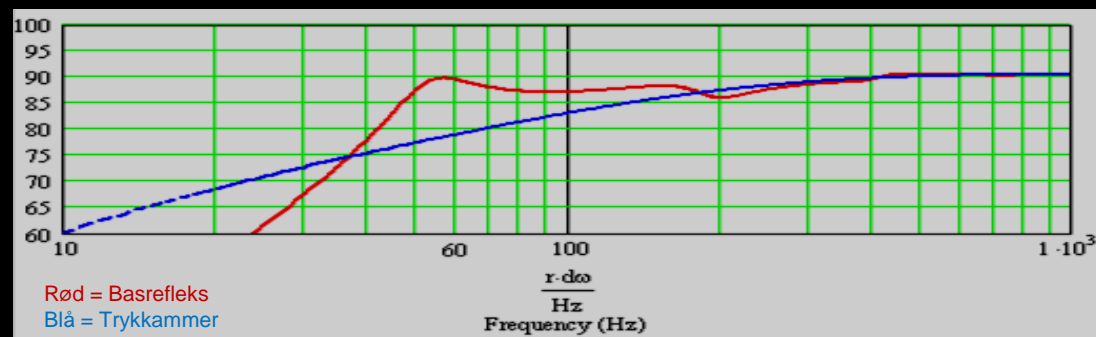
LAB 3 programmet er et lidt aldrende program, men har nogle gode funktioner, der er let anvendelige for begynderen. Disse funktioner findes i en gratis demoversion, der kan downloades . [Se Dias nr. 160, downloads](#)

Programmet har tre sektioner, - kabinet beregning, filter beregning og måling.

I **kabinetberegningssektionen** kan der udføres beregninger og simuleringer for trykkammer-, basrefleks- og båndpasssystemer. Vejledninger her i denne artikel.

Ofte kan tvivlen melde sig om man skal vælge basrefleks eller trykkammer.

Flere parametre gør sig gældende bl.a. hvordan de to systemer arter sig med hensyn til frekvensrespons. Kurverne på grafikken viser en typisk simuleret respons for de to systemer.



Start

Nyttig funktion, - brug den !

Nødvendige Indputs til beregninger og simuleringer i LAB 3

Indtast data iflg. de fire sorte vinduer : **Start med Thiele / Small Parametre**, herefter øvrige data i vilkårlig rækkefølge.

Start Box Design

The screenshot shows the LoudSpeaker LAB software interface. The main window displays a frequency response graph with a grid. The y-axis is labeled 'dB' and ranges from 55 to 105. The x-axis is labeled 'Hz' and ranges from 10 to 10K. The graph area contains the text 'NO SIMULATION'.

Annotations in black boxes point to various input fields:

- Trykkammer : kabinettets tuning. Se planche nr. 16, Dias nr. 71** (points to the 'User...' dropdown in the Tuning panel)
- Basrefleks : kabinettets tuning. Se planche nr. 22, Dias nr. 81** (points to the 'QL' input field)
- Båndpas : kabinettets tuning. Se planche nr. 26, Dias nr. 90** (points to the 'VB (l)' input field)
- Portens tuning : Se plancherne : nr. 16, Dias nr. 15 / nr. 17, Dias nr. 16 / nr. 18, Dias nr. 17** (points to the 'Parameters' table)
- Fyldningsgrader af dæmpevat** (points to the 'Damping' input field)

Annotations in a red box point to the 'Quick T/S' button in the driver selection panel:

- T/S parametre for bashøjtaleren:**
 - Resonansfrekvens (fs)
 - Ækvivalentvolumen: (Vas)
 - Total Q: (Qt)

The software interface includes a menu bar (File, Edit, Show, Box Design, X-Over, Measurement, Calculator, Window, Help), a toolbar, and a right-hand panel with a driver selection dropdown (Vented) and a table for driver parameters:

FS (Hz)	VAS (l)	QTS
0	0	0

Buttons for 'Select Lib...' and 'Quick T/S' are located below the table.

Trykkammersystemet

eller det lukkede kabinet, er det mest forudsigelige og håndterlige kabinet at konstruere af samtlige kabinettyper.

Her går det sjældent helt galt, selv uden omfattende justeringer.

Andre systemer bør som regel trimmes og justeres, såfremt optimal gengiverkvalitet ønskes.

Den bedste trimning foretages ved hjælp af akustisk måleudstyr og har man ikke adgang til et sådan, kan trykkammersystemet måske være det sikre valg.

På trykkammersystemets minusside kan nævnes en mindre følsomhed, idet halvdelen af den tilførte effekt går tabt og afsættes som varme inde i kabinettet (en basenhed udsender lige meget effekt bagud som fremad).

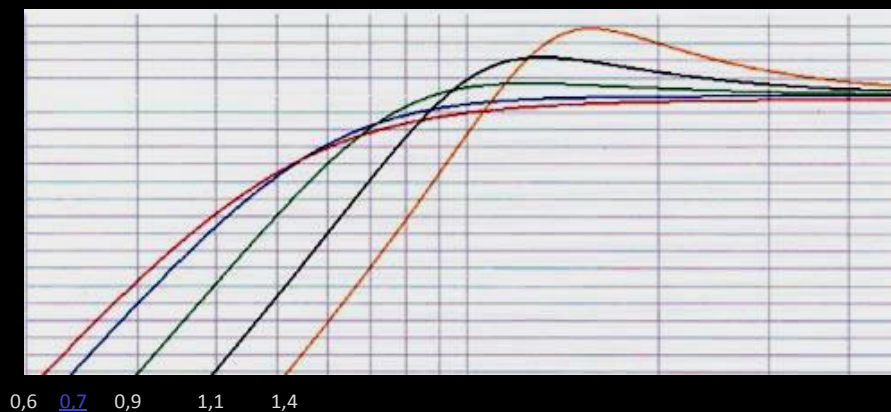
Trykkammersystemets evne til gengivelse af lave frekvenser begynder at aftage højere oppe i frekvensspektret end f.eks. basrefleksystemet, men går ofte længere ned i frekvensområdet.

På plussiden hører trykkammersystemets uovertrufne evne til gengivelse af transienter (kraftige, hurtige impulser).

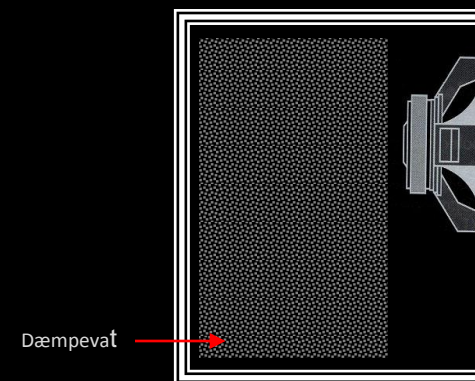
Som det fremgår af navnet, er kabinettet lukket, hvilket vil sige at den indespærrede luftmasse er konstant, idet kabinettet er fuldstændigt tæt. Luftmassen virker som en fjeder, som ved hjælp af kabinetrumfanget er afstemt til basenhedens parametre.

Kabinetrumfanget fyldes delvis med dæmpevat, der øger det akustiske rumfang med faktor 1,2 samt reducerer indvendige refleksioner i mellemtonelejet og heraf følgende forvrængning.

Simulerede frekvenskurver for trykkammerkabinettets Q-værdier.



Trykkammersystem



Kabinettets Q-værdier

0,6 (rød kurve). Kraftig dæmpning, fin impulsgengivelse, fast men ikke særlig fyldig basgengivelse. Anvendes ikke ofte.

0,7 (blå kurve). Bedste kompromis mellem præcision og basfyldte.

0,9 (grøn kurve), 1,1 (sort kurve), 1,4 (orange kurve). Alle tre afstemninger giver en fyldig bas på bekostning af impulsgengivelse og præcision, også betegnet "snydebas".

Beregninger af trykkammersystemet

Når det drejer sig om selve konstruktionsarbejdet er trykkammersystemet det mest enkle og giver en rimelig sikkerhed for et godt resultat. Det eneste der skal beregnes er kabinettets effektive rumfang i liter.

Husk at medtage rumfanget af enheder, filtre afstivninger m.m. i beregningerne.

Dæmpevat skal medtages i computerberegningerne.

I beregningsprogrammet LAB 3 indsættes kabinettets Q-værdi, der vises som et simuleret frekvensforløb.

Se planche nr. 16, Dias nr. 72

Signalement af højttalerenheder velegnet til trykkammersystemer

Visuelle kendetegn: Lille magnet og blødt membranophæng.

Lav resonansfrekvens (f_s), idet den indespærrede luft i kabinettet vil medvirke til at gøre systemets resonansfrekvens høj, hvis ikke kabinettet gøres urealistisk stort og herved sætter grænser for gengivelse af lave frekvenser.

Høj eftergivelighed (V_s), af samme grund som lav resonansfrekvens.

Lang slaglængde udtrykt som V_d (Volume displacement) med det formål at kunne flytte tilstrækkelig luft uden for stor forvrængning.

Enhedens Q_t bør befinde sig over ca. 0,4 afhængig af hvilken afstemning der ønskes (forholdet mellem udstrækning af frekvensområdet nedadtil og impulsgengivelsen).

Basenhedernes EBP til trykkammersystem: 50 – 99. Se 2. Del - Valg af enheder, Dias nr. 60 og 61

Teoretiske eksperimenter på computeren med LAB 3 programmet

Trykkammersystem: Beregninger og simuleringer.

Med trykkammersystemet kan der eksempelvis foretages eksperimenter med **kabinetrumfang, dæmpevat samt baffelmål**.

Systemet er mindre kritisk med hensyn til afvigelse fra det "optimale", hvilket betyder at eksperimenter sandsynligvis ender med en lykkelig udgang.

Brugervejledning LAB 3 planche nr.16 , Dias nr. 72

Klik på "Box Design" i programmets værktøjslinje.

Klik på "Simulator Settings".

Klik på "New Box Design"

Blå felter: Betingede valg og forudsætninger for beregninger og simuleringer.

Simuleringsområde: Vælg "SPL"

Flere simuleringsområder:

"Acoustic & Phase"

"Impulse Response"

"Cone Velocity"

"Step Response"

"Impedance"

"Impedance & Phase SPL & Impedance"

"XMax Limited SPL"

"Cone Excursion & Group Delay"

"Group Delay"

"Cone & Excursion"

"Electrical Phase"

"SPL & Excursion"

Kabinetsystem: Klik "Closed". Valg af system baseret på enhedens Thiele / Small parametre.

Brug eventuel EBP-nøglen. **Se 2. Del , Dias nr. 58 og 59, "Valg af enheder"**.

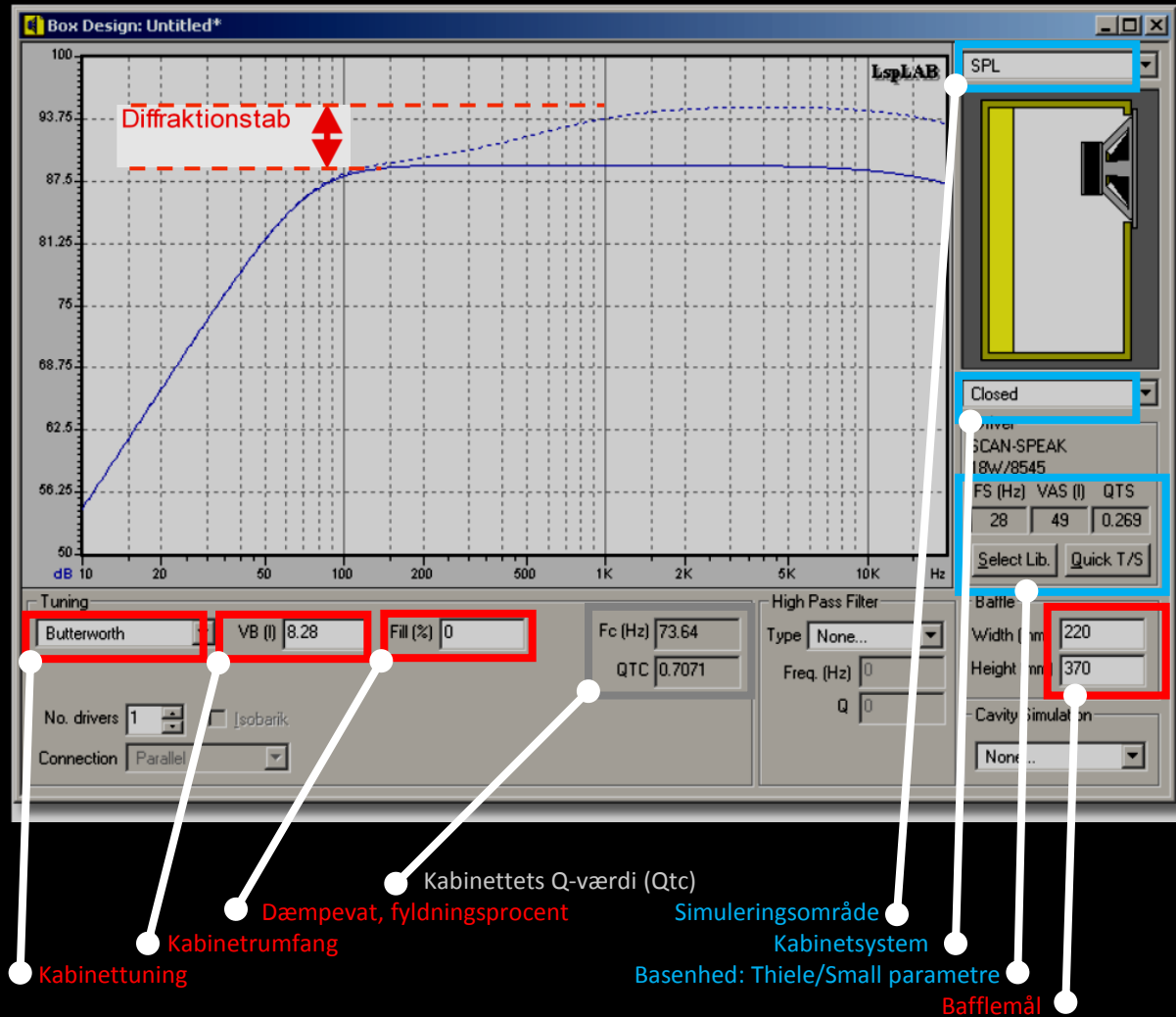
Obs! Nogle enheder har Thiele / Small parametre, der gør dem anvendelige til både trykkammer og basrefleks.

Enheden Thiele / Small parametre Qts, Vas og Fs er betingede ved udførsel af alle beregninger og simuleringer.

Enheder uden oplysning af de tre parametre kan udmåles med LAB 3 programmet. **Se afsnittet 6. Del – Dias nr. 130, målinger (Thiele/Small parametre).**

Thiele / Small parametre indsættes i "Quick T/S" eller hentes fra biblioteket "Select lib", der tillige kan udbygges yderligere med ønskede enheder.

Teoretiske eksperimenter med trykkammersystemet på computeren med LAB 3 programmet



Teoretiske eksperimenter med trykkammersystemet på computeren med LAB 3 programmet

Røde felter: Eksempler på eksperimentale områder.

Udgangspunktet for beregninger er baseret på enhedens Thiele / Small parametre samt valget af tuningen, - Bessel, Butterworth eller Chebyshev, - hvilket fører til programmets beregnede simulering. Denne simulering vil være springbrættet til efterfølgende eksperimenter.

Efter valget i de **blå felter** er foretaget, kan eksperimenterne begynde i de **røde felter**.

Start i feltet **"Tuning"** og vælg én af de tre muligheder.

Programmet udfører beregnet simulering i henhold til det valgte i **"simuleringsområdet"**.

Eksperimenter med individuelle kabinetrumfang "VB" (liter).

Bekræft ændrede rumindhold med **"User"** i tuningsfeltet.

Nyt simuleret SPL beregnes og simuleres automatisk.

Kabinettets Q-værdi svarende til det ændrede kabinetrumfang vises i det grå felt.

Eksperimenter med dæmpevat "Fill %".

Bekræft ændret fyldningsprocent med **"User"** i tuningsfeltet.

Fyldningsprocent på 80 - 100 % er typisk.

Nyt SPL beregnes og simuleres automatisk.

Eksperimenter med baffelmål og relaterede diffraktionstab.

Jo mindre baffelmål desto principielt bedre stereoperspektiv og gradvis højere

startfrekvens for diffraktionstab.

Simuleret diffraktionstab vises relateret til punkteret kurve i simuleret SPL.

Diffraktionstab udgøres af niveauforskellen mellem de lave frekvenser (bølge-længder der overstiger baffelmålene og herved afbøjes), - relateret til de højere frekvenser (bølgelængde der er mindre end baffelmålene og derfor gradvis reflekteres fra bafflen og forstærkes med op til 6 dB).

Variovent

En variovent fungerer som variabel udligningsventil af trykbølger fra basenheder i lukkede (trykkammer) højtalersystemer.

Ved hurtige trykimpulser forbliver ventilen lukket og medvirker til opretholdelse af trykket i kabinettet og ved dybe frekvenser åbnes ventilen for en trykudligning.

Ventilen medvirker hermed til en optimering af impulsgengivelse i trykkammersystemer, hvilket betyder at transienter får et meget præcist forløb.



Basreflekssystemet

Det skal siges med det samme, - basreflekssystemet er væsentligt mere kompliceret at beregne end trykkammersystemet og meget følsom overfor fejlberegninger.

Justeringer og korrektioner er stort set altid nødvendige og optimeringer af systemet bør assisteres med måleudstyr.

Når det så er sagt, skal vi se på systemets fordele, der gør det til det mest benyttede.

Den første og mest hørbare fordel, er systemets evne til at gengive lave frekvenser, selv i små kabinetter.

Systemets anden fordel er en lav harmonisk forvrængning. I et korrekt afstemt system vil membranen, selv under kraftig basgengivelse, kun have relative små udsving, hvilket resulterer i den lave forvrængning. Årsagen hertil er, at portens luftmasse er en betydelig mere lineær "membran" end selv den mest velkonstruerede højttalermembran og energien fra membranens bagside vil i kraft af en akustisk fasevending i port og kabinet, udsendes i fase med selve højttalermembranen. Herved er højttalermembranen fritaget for det "grove" arbejde, - det klarer porten. Man kan nærmest betegne porten som en slags subwoofer.

Systemets tredje fordel er en forbedret effektivitet som følge af bagsideudstrålingen og en kraftig magnet (mindre Q_t).

Ulemper ved systemet kan være den manglende styring under portens afstemningsfrekvens, systemets ringere impulsrespons relateret til trykkammersystemet samt tidsforvrængning fra porten.

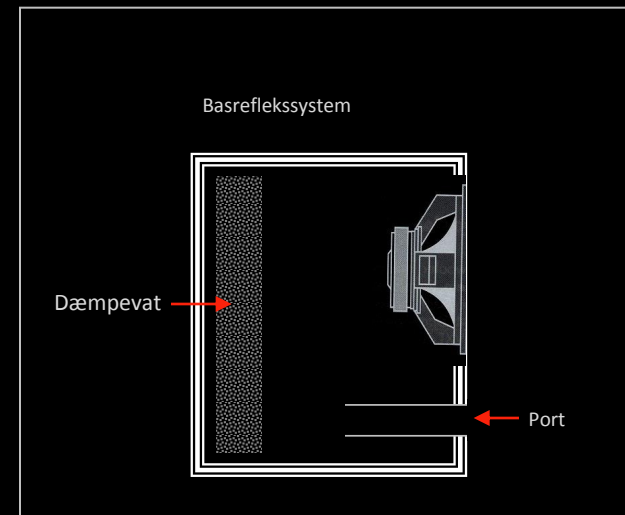
Den synlige forskel til trykkammersystemet er basreflekssystemets portåbning, der kan bestå af et rør eller en spalte. Portens placering er oftest på kabinettets front, men kan placeres på andre sider med samme virkning, idet lave frekvenser udbredes 360 grader i alle retninger.

Beregninger af basreflekssystemet

Beregningerne omfatter kabinettets **nettorumfang** i liter, hvilket betyder at indvendige komponenter som højttalerenheder, filtre, porte, afstivninger m.m. skal inkluderes i det simulerede rumfang.

Dæmpevattet skal medtages i computerberegningerne.

Beregningerne omfatter tillige dimensionering af **porte**, der godt kan drille lidt. Man kan derfor være nødsaget til at eksperimentere og som regel indgå kompromisser.



Portens areal

- er altid udgangspunktet for portberegninger og beregnes manuelt med formlen:

Højttalerenhedens membranareal i cm² (S_d) - divideret med Pi (3,1415) - gange 0,6283 = portareal i cm².

Det skal bemærkes, at beregning af portarealet ikke kræver præcision, idet længden tilpasses automatisk i computerberegningen.

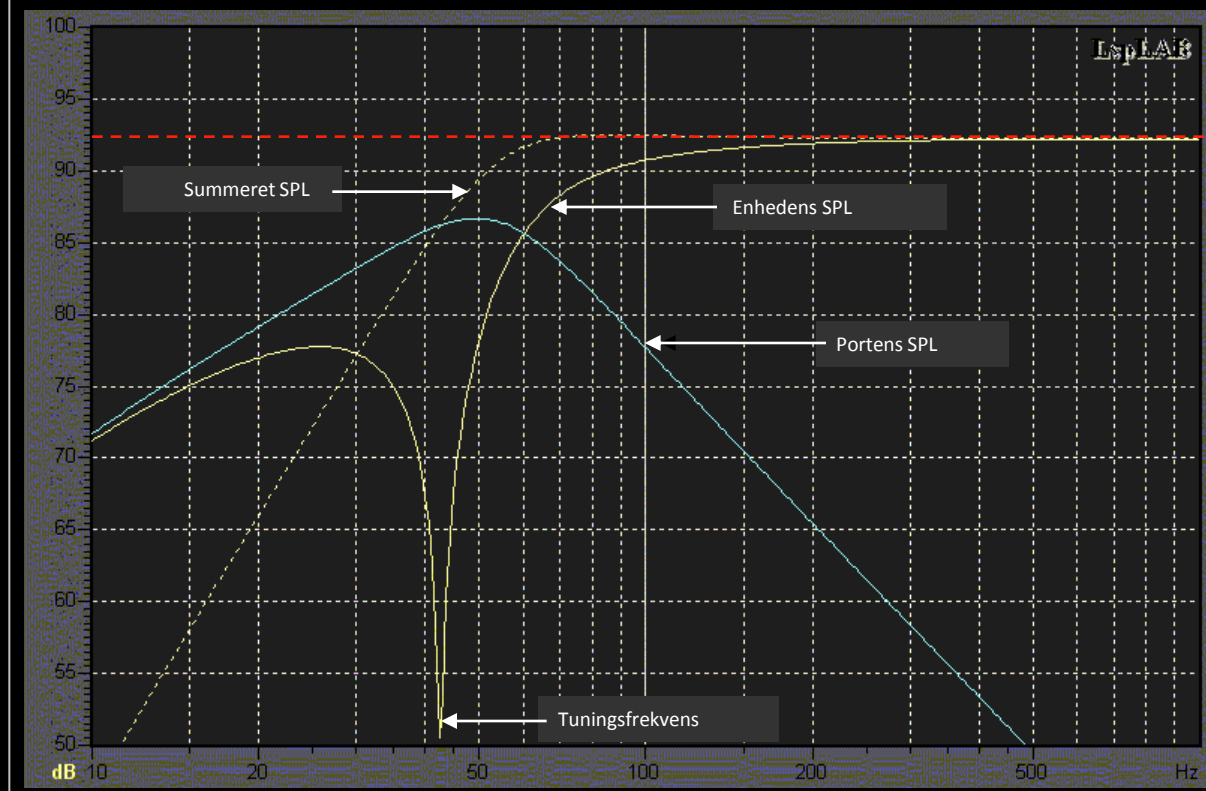
Obs ! Et lille portareal øger vindhastigheden og kan resultere i vindstøj. Porte med "trumpetmundinger" reducerer vindstøj.

Portens tuningsfrekvens

Beregning og simulering af portens optimale tuningsfrekvens og deraf følgende dimensionering overlades til programmet LAB 3.

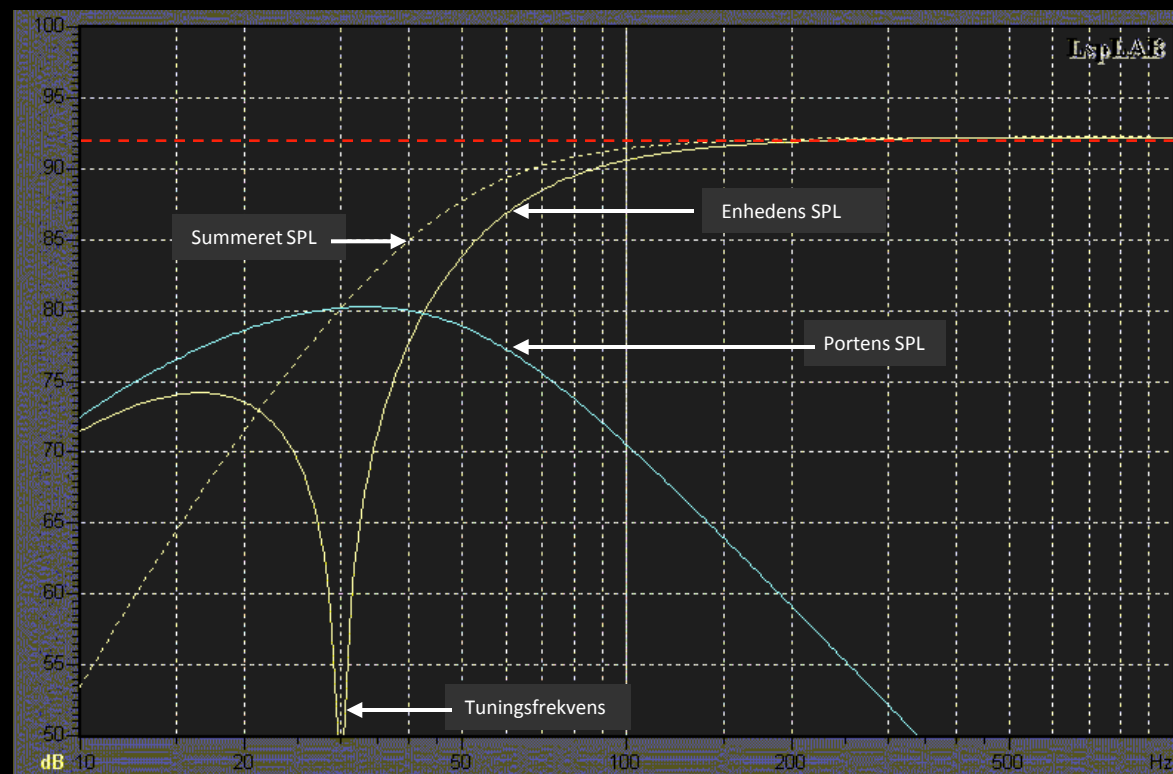
På planchen ses den grafiske fremstilling af portens SPL (lydtryk) relateret til enheden og kabinettet.

Den optimale tuning af porten udmunder i et lineært summeret SPL ned til grænsefrekvensen.

Optimal tuningsfrekvens af porten

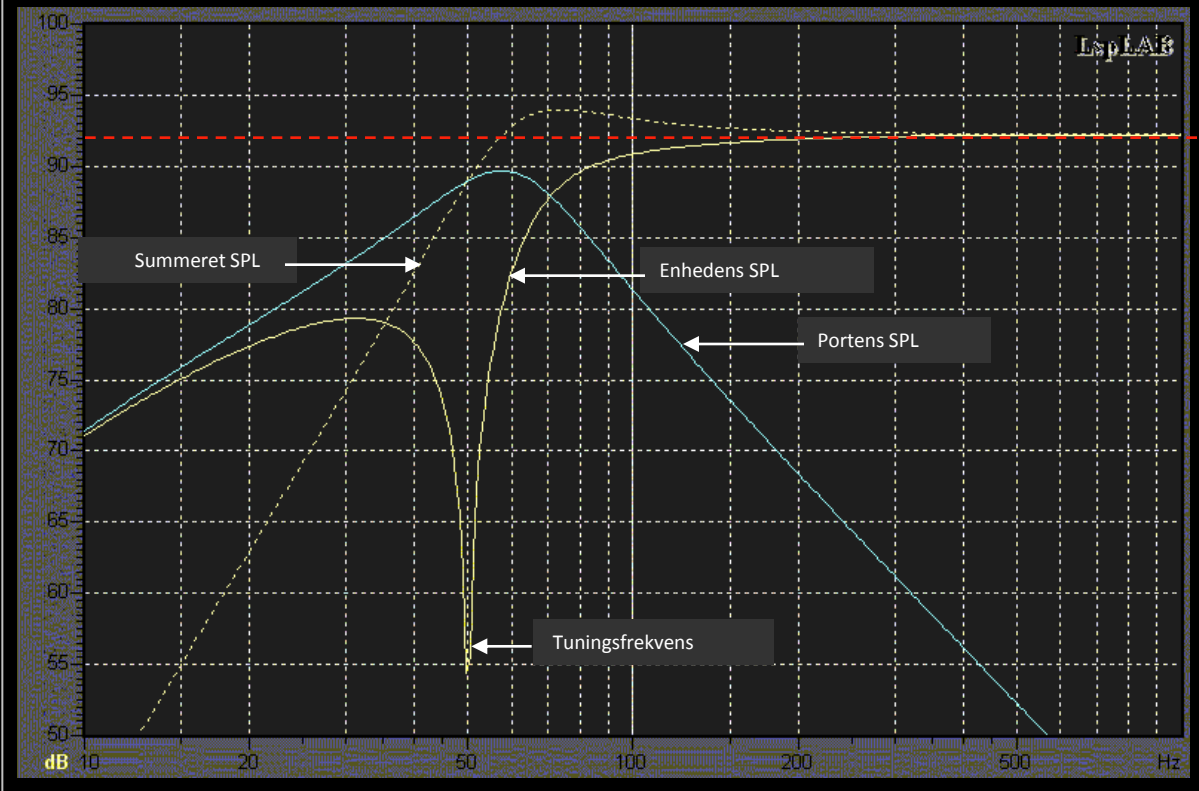
Portens tuningsfrekvens

Lav tuningsfrekvens af porten



Portens tuningsfrekvens

Høj tuningsfrekvens af porten



Porten

Den geometriske udformning af portens tværsnit er underordnet, blot arealet stemmer overens med det beregnede. Den mest anvendte figur er den runde, men den firkantede figur er lettere at beregne.

Portens længde relateres til arealet og beregnes af LAB 3.

Vindstøj fra porten forårsages ofte af store lydtryk. Tilstrækkeligt stort portareal samt afrundede kanter i portens indgang og udgang reducerer vindstøjen.

Portdimensioner (ca.) relateret til drivere

Basenheder	Membranareal	Portareal	Rørdiameter
3"	Ca. 30 cm ²	Ca. 7 cm ²	3 cm
4"	Ca. 55 cm ²	Ca. 11 cm ²	3,5 cm
5"	Ca. 75 cm ²	Ca. 12,5 cm ²	4 cm
5½"	Ca. 95 cm ²	Ca. 20 cm ²	5 cm
6½"	Ca. 140 cm ²	Ca. 28 cm ²	6 cm
8"	Ca. 210 cm ²	Ca. 39 cm ²	7 cm
10"	Ca. 350 cm ²	Ca. 78 cm ²	10 cm
12"	Ca. 520 cm ²	Ca. 100 cm ²	11,5 cm



Port med trompetmundinger reducerer vindstøj.

- Rart at vide om porte :**
- Jo mindre portareal, des kortere port.
 - Jo større portareal, des længere port
 - Jo mindre portareal, des højere vindhastighed i porten, hvilket øger risikoen for vindstøj.
 - For stort portareal kan mindske resonansvirkningen.
 - Jo mindre kabinetvolumen, des længere port.
 - Mere end én port, - beregning og simulering i LAB 3.
 - Portlængden bør justeres sammen med kabinet, driver og dæmpemateriale.

Signalement af højttalereheder velegnet til basreflekssystemer.

Visuelle kendetegn: Stor magnet. Relativt stift membranophæng for at undgå alt for store kabinetter. Resonansfrekvens spiller ikke helt samme rolle som ved trykkammersystemet, idet der er flere muligheder til at styre den nedre afskæring ved kombinationer mellem enhed, kabinet og port.

Basenhedens Q_t bør være ca. 0,2 – 0,5.

Basenhedens EBP til basreflekssystem: 100 – 149

Inputs til beregninger i LAB 3

T/S parametre for basenhed:

- Resonansfrekvens (f_s)
- Ækvivalentvolumen (V_{as})
- Totale Q (Q_t)
- Fyldningsgrader af dæmpevat: ca. 10 – 50 %.
- Portens diameter (\varnothing) eller areal (cm^2)

Teoretiske eksperimenter med basreflekssystem på computeren med LAB 3 programmet.

Basreflekssystem : Beregninger og simuleringer

Med basreflekssystemet kan der eksempelvis foretages eksperimenter med kabinettets rumfang, portafstemning, dæmpevat samt baffelmål. Systemet er følsomt overfor fejlregninger, men her computeren kommer til hjælp, når korrektioner skal foretages.

Man skal være opmærksom på, at ændringer af rumfanget samtidig medfører ændringer af portafstemningen. Ændres kabinetrumfanget beregner programmet automatisk den optimale portafstemning ved en ændring af portens længde.

Brugervejledning LAB 3 Planche nr. 22, Dias nr. 82

Klik på "Box Design" i programmets værktøjslinje.

Klik på "Simulator Settings".

Klik på "New Box Design"

Blå felter: Betingede valg og forudsætninger.

Simuleringsområder: "SPL" - "Port SPL" - "Cone + Port SPL"

Flere simuleringsmuligheder:

"Acoustic Phase"	"Group Delay"
"Cone Excursion & Group Delay"	"SPL & Phase"
"Cone Velocity"	"Impedance"
"Vent Velocity"	"Electric Phase"
"Cone & Vent Velocity"	"Impedance & Phase"
"Xmax Limited SPL"	"SPL & Impedance"
"Impulse Response"	"SPL & Excursion"
"Step response"	"Cone SPL"
	"Cone Excursion"

Kabinetsystem "Vented".

Enhedens Thiele / Small parametre Qts, Vas og Fs er betingede ved udførelse af alle beregninger og simuleringer.

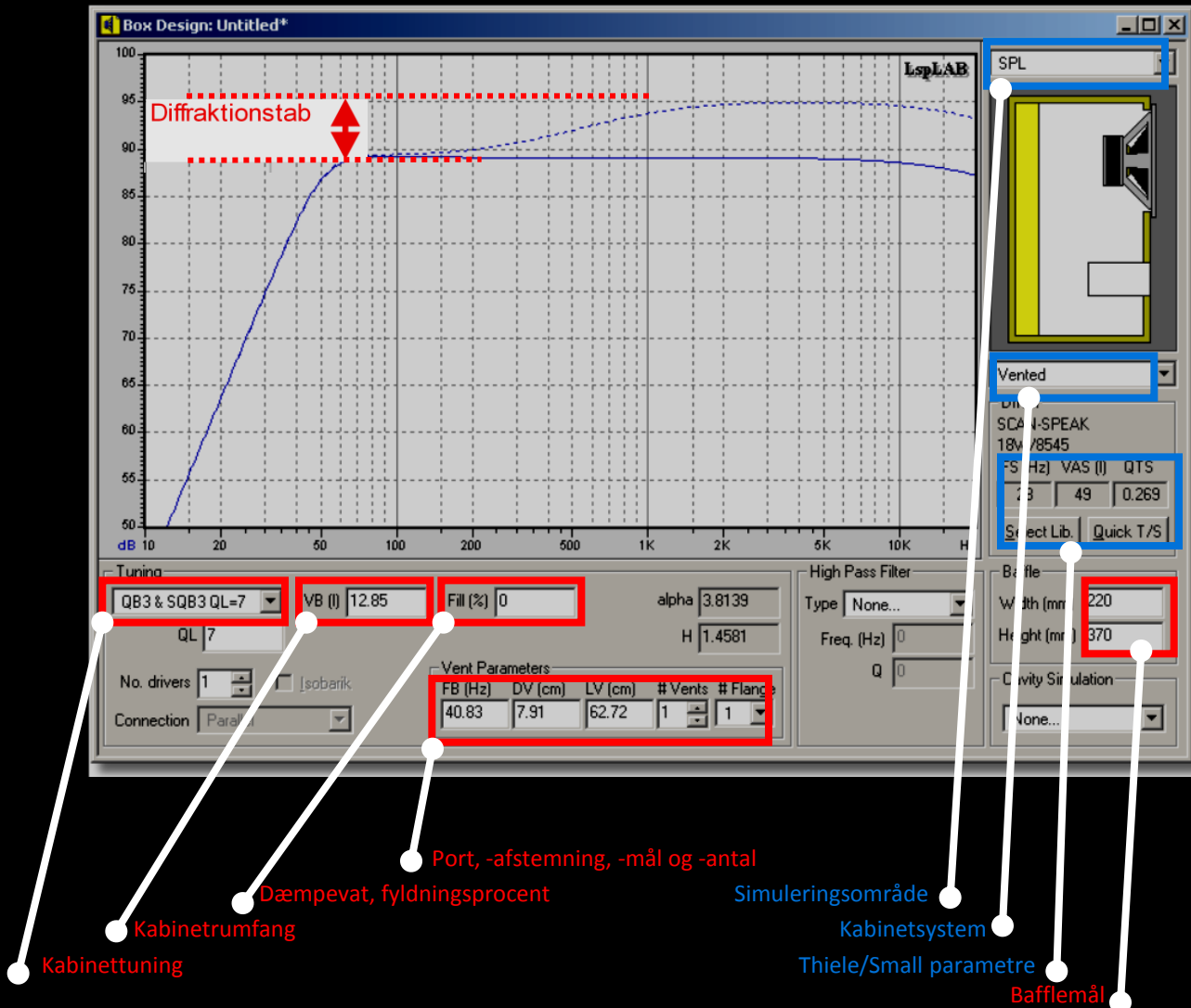
Brug evt. EBP-nøglen. **Se Del 2, Dias nr. 60 og 61, "Valg af højttalereenheder".**

Obs! Nogle enheder kan anvendes til både trykkammer og basrefleks.

Enheder uden angivelse af de tre parametre kan udmåles med LAB 3. **Se 6. Del, Dias nr. 132, målinger, "Thiele/Small parametre".**

Thiele / Small parametrene indsættes i "Quick T/S" eller hentes fra biblioteket "Select lib.", der tillige kan suppleres med flere enheder.

Teoretiske eksperimenter med basreflekssystemet på computeren med LAB 3 programmet



Røde felter: Eksempler på eksperimentale områder.

Udgangspunktet for beregninger og simuleringer er som nævnt baseret på enhedens Thiele / Small parametre og vil være den beregning programmet anbefaler, som den optimale ud fra den valgte tuning (kabinettets tæthed), hvor QL 3 er mindre, QL 7 er gennemsnitlig eller QL 15 er meget tæt.

Den valgte tuning vil være springbrættet til de efterfølgende eksperimenter.

Efter de blå felter er udfyldte, kan eksperimenterne begynde i de røde felter.

Start i feltet **"Tuning"** og vælg et QL . Programmet udfører simulering i henhold til det valgte i **"simuleringsområde"**

Eksperimenter med individuelle kabinetrumfang "VB" (liter).

Bekræft ændrede rumindhold med **"User"** i tuningsfeltet.

Ny SPL og portdata beregnes og simuleres.

Eksperimenter med dæmpevat, "fill %".

Bekræft ændret fyldningsprocent med **"User"** i tuningsfeltet.

Fyldningsprocent på 10 – 30 % er typisk.

Ny SPL beregnes og simuleres.

Eksperimenter med port.

Vælg i **"simuleringsområde"** portens SPL eller cone + port SPL.

Bekræft alle ændringer med **"User"** i tuningsfeltet.

Portens afstemningsfrekvens **"FB"** kan ændres individuel. Ny længde **"LV"** beregnes automatisk.

Portens diameter **"DV"** kan ændres individuel. Ny længde **"LV"** beregnes automatisk.

Antal porte kan vælges individuel. Nye portmål beregnes automatisk.

Simuleret sammenspil mellem kabinetrumfang, dæmpevat og port kan aflæses i [Simuleringsområdet: "Cone + porten SPL"](#).

Se [plancher nr. 21 og nr. 22](#), [Dias nr. 79 og 82](#)

Eksperimenter med baffelmål og relaterede diffraktionstab.

Jo mindre baffelmål des principielt bedre stereoperspektiv og gradvis højere startfrekvens for diffraktionstab.

Simuleret diffraktionstab vises relateret til punkteret kurve i simuleret SPL.

Diffraktionstab: Mindre respons fra lave frekvenser der ikke reflekteres af bafflen beroende på baffelarealet.

Årsagen er lave frekvensers større bølgelængder end højere frekvensers bølgelængder, der reflekteres af bafflen.

Eksperimenter med ændringer af kabinetrumfangets størrelse påvirker systemets nedre grænsefrekvens. Mindskes eksempelvis kabinetrumfanget i forhold til det "optimalt beregnede" vil nedre grænsefrekvens typisk blive højere, ligesom portlængden vil øges.

Ændringer medfører automatisk nye beregninger af porten.

Ændringer bør efterfølgende justeres med dæmpevattets fyldningsprocent samt portens afstemningsfrekvens til maksimal flad frekvensrespons.

Eksperimenter med portens afstemningsfrekvens kan som nævnt foretages for opnåelse maksimal flad frekvensrespons [Se planche nr. 18, Dias nr. 76](#),

men kan også foretages for opnåelse af en ønsket "sound". Eksempelvis vil en højere afstemningsfrekvens end den optimal beregnede afstedkomme et øget niveau i et frekvensafsnit, f.eks. 60 – 90 Hz, der af nogle foretrækkes til beat / rock musik. Det bør tilføjes at denne højere portafstemning påvirker den nedre grænsefrekvens.

[Se planche nr. 20, Dias nr. 78](#),

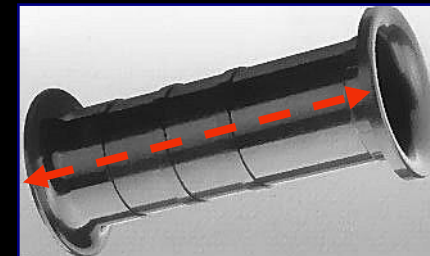
Omvendt vil en lavere afstemningsfrekvens af porten afstedkomme et let faldende niveau af de helt lave frekvenser, hvilket ofte kan være fordelagtig såfremt højttaleren ønskes placeret tæt ved vægflader. [Se planche nr. 19, Dias nr. 77](#)

Portens diameter og areal er relateret til den anvendte enhed og er dermed fastlagt.

[Se planche nr. 21, Dias nr. 79](#)

Det betyder at eksperimenter med portens afstemning foretages med **portens længde**.

Hertil kan eksempelvis anvendes variable, såkaldte teleskop refleksrør eller standard PVC rør, der findes i adskillige diametre og kan tilpasses (saves) i ønskede længder.



Slavebassystemet

fungerer og beregnes i princippet som basreflekssystemet, men kræver en del eksperimenter med slavens afstemning relateret til kabinet og fyldningsgrad af dæmpevat.

Denne afstemning skal være ret præcis, hvis systemet skal fungere optimalt. Det kan anbefales at holde sig til producentens "parede" sæt af basenhed og slaveenhed. (afstemninger af slaveenheder kan foretages med eksperimenter med montering af lodder)

Det vil tillige være nyttigt med et supplement af målinger til eksperimenterne.

Er slavesystemet afstemt korrekt muliggør dette et endnu mindre kabinet end basreflekskabinettet og vel at mærke med den samme basgængivelse og uden risiko for den vindstøj porten i basreflekssystemet kan forårsage.

Slavenheden, der blot er en højttaler uden magnet og svingspole, flytter mere luft end den aktive højttaler og skal derfor være større, - typisk med dobbelt så stort membranareal som den aktive enhed.

Slavesystemet er dog ikke uden ulemper idet den aktive og den passive enhed kan komme ud af takt grundet slavens inertie, især hvis man spiller meget højt.

Signalement af højttalerenheder velegnet til slavebassystemer.

Visuelle kendetegn: Stor magnet. Relativt stift membranophæng for at undgå alt for store kabinetter.

Resonansfrekvens spiller ikke helt samme rolle som ved trykkammersystemet, idet der er flere muligheder til at styre den nedre afskæring ved kombinationer mellem enhed, kabinet og slaveenhed.

Basenhedens Q_t bør være ca. 0,2 – 0,5.

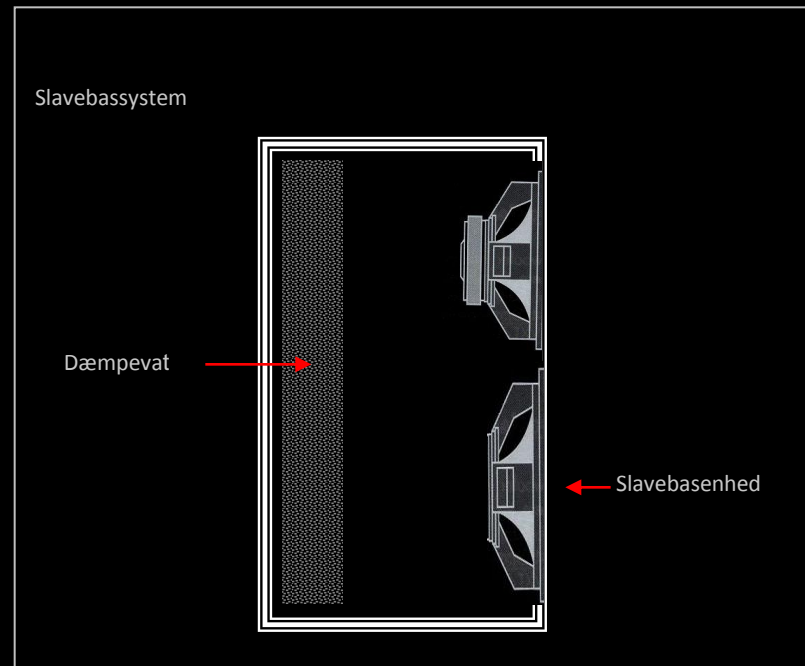
Basenhedens EBP til slavebassystem: 100 – 149

Inputs til beregninger i LAB 3:

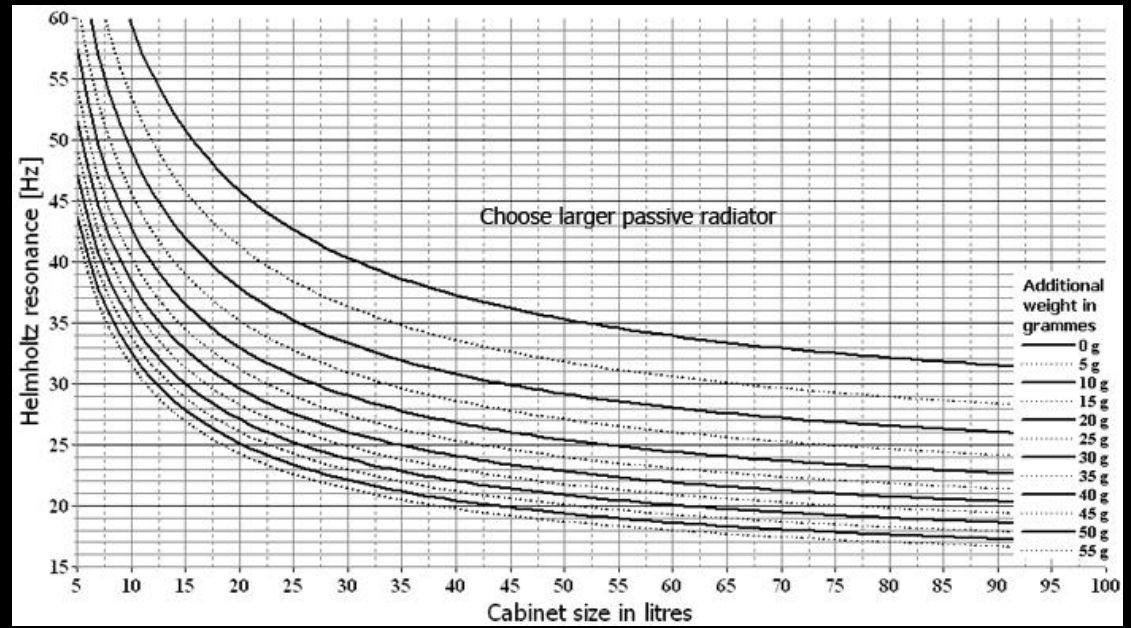
T/S parametre for basenheden:

- Resonansfrekvens (f_s)
- Ækvivalentvolumen (V_{as})
- Totale Q (Q_t)

- Fyldningsgrader af dæmpevat: ca. 10 – 50 %.



Slaveenheden (Passiv radiator)



Skema for afstemning af resoansfrekvens relateret til kabinetvolumen.

Nogle slaveenheder kan påsættes lodder til forskellige afstemninger

Båndpassystemet (coupled cavity)

- benyttes til subwoofer- og bassystemer.

Er beregningerne komplicerede til basreflekssystemet, så er de endnu mere komplicerede til båndpassystemet, idet der ikke er mindre end fire parametre, der indgår i et puslespil, som stort set kun en computer kan håndtere:

- Kabinetvolumen i lukket kammer.
- Kabinetvolumen i reflekskammer.
- Portdimensioner.
- Enhed(er).

Hertil skal lægges de mange valgmuligheder systemet muliggør af afstemninger. (båndbredde, følsomhed og transientgengivelse), - alt efter ønsker og behov.

Båndpassystemet er oprindeligt konstrueret som et trekammersystem, men er senere forenklet til et tokammersystem, der principielt fungerer på samme måde ved sammenbygning af et trykkammerkabinet og et basreflekskabinet, hvor porten er systemets eneste akustiske udgang og samtidig fungerer som akustisk filter, der kun tillader det afstemte frekvensområde at passere.

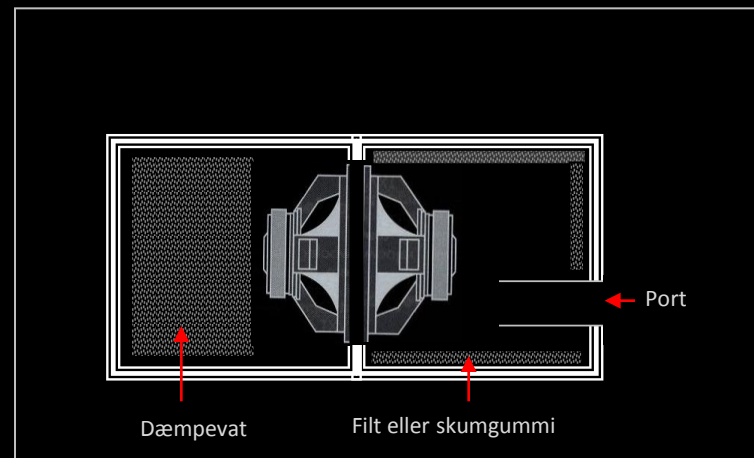
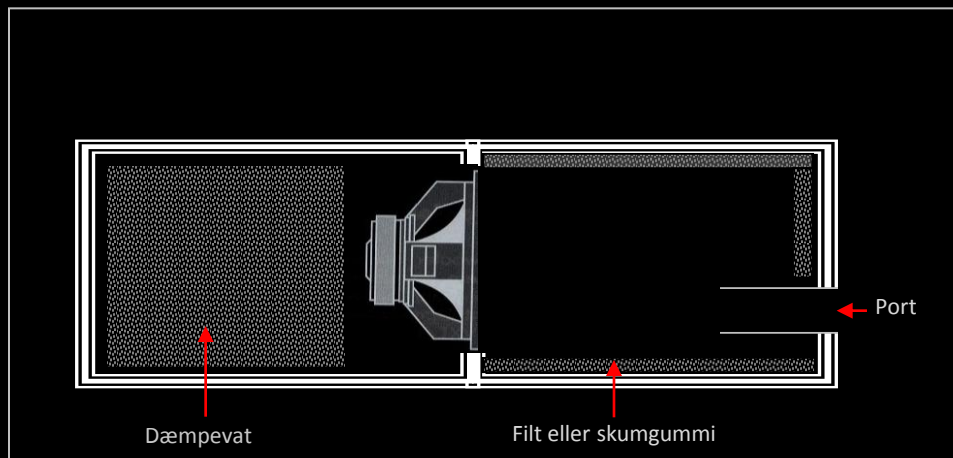
Det geniale ved konstruktionen er en kombination og en udnyttelse af de to systemers fordele:

Trykkammersystemets uovertrufne impulsrespons og præcise styring af membranudsving kombineret med basreflekssystemets gode evne til dybtonegengivelse med en lav forvrængning. I de sammenbyggede kabinetter fælles skillevæg er enheden monteret. Enheden har således et kabinet på begge sider af dens membran.

Se plancher nr. 24, Dias nr. 88

Der er flere muligheder med hensyn til valg af basenhed (er):

- En enkelt enhed med én svingspole. Systemet kan drives af en monoforstærker.
- En enkelt enhed med dobbelt svingspole. Systemet kan drives af mono- eller stereoforstærkere.
- To ens enheder placeret med fronten mod hinanden (så tæt som muligt), betegnet compound eller isobarik. De to enheder er forbundet elektrisk med modsat polarisation, så de arbejder i fase (push-pull), hvorved ulinearitet ophæves. Ydermere opnås en fordobling af motoreffekt (to magneter og to svingspoler) samt en fordobling af systemets belastningsevne. Systemet kan drives af mono- eller stereoforstærkere.



Planchen til venstre viser brugen af en enkelt enhed. Bruges i stedet to enheder, som vist i planchen til højre, - halveres den totale ækvivalentvolumen (V_{as}) og resulterer samtidig i en ca. halvering af det samlede kabinetrumfang.

Inputs til beregninger i LAB 3 (Vejledning i 8. Del):

T/S parametre for basenheder:

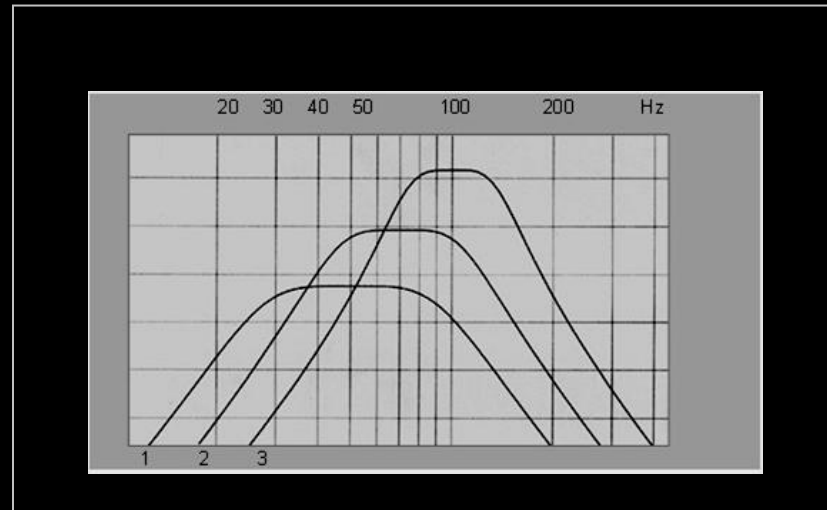
- Resonansfrekvens (f_s)
- Ækvivalentvolumen (V_{as})
- Totale Q (Q_t)

Enhederne bør være af typen "Long throw" (lang membranvandrings).

Refleksammerets indvendige flader beklædes med ca. 10 mm filt eller skumgummi.

Det lukkede kammer fyldes ved eksperimenter med dæmpevat (ca. 20 – 50 %).

Tuning af kamrenes rumfang, hvor det bageste kammer er trykkammer og det forreste kammer er basrefleks. Eksempler på simulerede sammenspil mellem de to kamres størrelser, deres størrelsesforhold og portafstemninger ses på nedenstående skema vist som nærfeltskurver.



Kurve 1 viser stor båndbredde, der går lang ned i frekvensområdet, hvilket må betegnes som værende positive egenskaber, men egenskaber der uheldigvis er på bekostning af systemets følsomhed og transientgengivelse.

Jo større båndbredde desto større er det bageste kammer (trykkammeret) relateret til det forreste kammer (basreflekskammeret).

Kurve 2 er et godt kompromis, hvor de to kamre har ca. samme størrelse. Afstemningen er et godt udgangspunkt for yderlige eksperimenter.

Kurve 3 er modsætningen til afstemningen i kurve 1, hvilket vil sige høj følsomhed og god transientgengivelse som de positive egenskaber og med lille båndbredde og svag gengivelse af de laveste frekvenser som de negative egenskaber.

Jo større følsomhed og bedre transientgengivelse desto større er det forreste kammer (basreflekskammeret) relateret til det bageste kammer (trykkammeret).

Ændringer af kamrenes størrelser medfører automatisk nye beregninger af portens afstemning, der yderligere bør suppleres med en finjustering.

Teoretiske eksperimenter med båndpassystem på computeren med LAB 3 programmet.

Båndpassystem: Computerberegninger og simuleringer.

Med båndpassystemet kan der eksempelvis foretages eksperimenter med kabinetrumfang, konstellationer for enhed(er), portafstemninger samt dæmpevat. Båndpassystemet er vel nok det mest komplicerede kabinetsystem at eksperimentere med, idet sammenspillet mellem fire parametre (forreste kammer, bageste kammer, port samt enhed) åbner for et omfattende puslespil med et utal af muligheder.

Brugervejledning LAB 3, planche nr. 26, Dias nr. 91

Blå felter: Betingede valg og forudsætninger.

Simuleringsområde: "SPL"

Flere simuleringsmuligheder

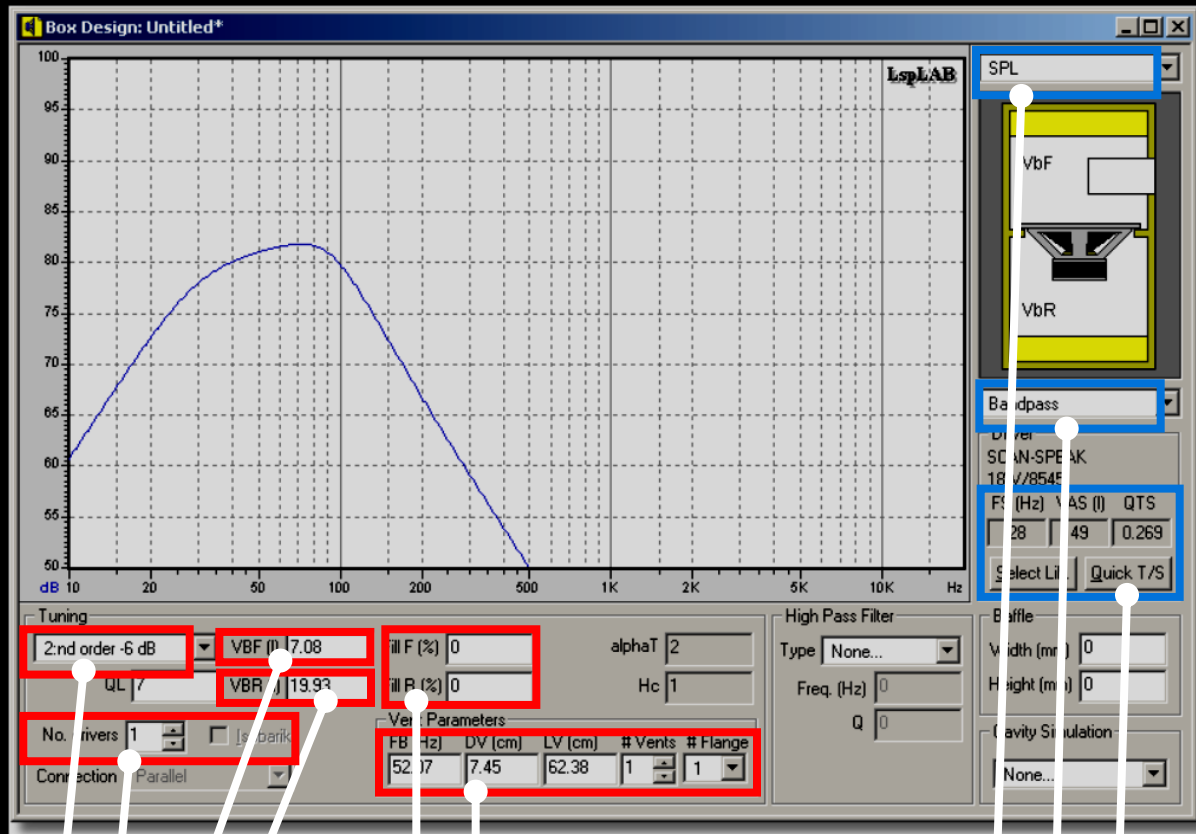
"Acoustic Phase"	"Cone & Excursion & Group Delay"
"SPL & Phase"	"Cone Velocity"
"Impedance"	"Group Delay"
"Vent Velocity"	"Electric Phase"
"Cone & Vent Velocity"	"Impedance & Phase"
"Xmax Limited SPL"	"SPL & Impedance"
"Impulse Response"	"SPL & Excursion"
"Step Response"	

Kabinetsystem: "Bandpass"

Driver, Thiele/Small parametre: Parametrene Qts, Vas og Fs er betingede ved udførelse af alle beregninger og simuleringer.

Båndpassystemet fordrer enheder med Thiele/Small parametre, der typisk svarer til basreflekssystemets, ligesom enheder af "long throw typen" anbefales. Enheder uden angivelse af de tre parametre kan udmåles med LAB 3 programmet. Se afsnittet 7. Del, målinger "Thiele/Small parametre".

Teoretiske eksperimenter med båndpassystemet på computeren med LAB 3 programmet



Port, afstemning, mål og antal
 Dækspevat, fyldningsprocenter
 Kabinetrumfang, bageste kammer
 Kabinetrumfang, forreste kammer
 Antal enheder og konstellation
 Kabinettiltuning

Simuleringsområde
 Kabinetsystem
 Basenhed: Thiele/Small parametre

Røde felter: Eksempler på eksperimentale områder.

Udgangspunktet for beregninger og simuleringer er som nævnt enhedens Thiele/Small parametre samt den valgte tuning.

Den valgte tuning og følgende simulering vil være springbrættet til de efterfølgende eksperimenter.

Efter de blå felter er udfyldte kan eksperimenterne begynde i de røde felter.

Start i feltet **"Tuning"** og vælg systemets **"orden"** – f.eks. 0 dB. Programmet udfører simulering i henhold til det valgte i **"Simuleringsområdet"**.

Eksperimenter med individuelle kabinetrumfang i forreste kammer **"VBF"** (liter) og bageste kammer **"VBR"** (liter).

Bekræft med **"User"** i tuningsfeltet.

Nye SPL og portdata beregnes og simuleres.

Eksperimenter med dæmpevat "fill %".

Bekræft ændret fyldningsprocent med **"User"** i tuningsfeltet.

Eksperimenter med port.

Bekræft alle individuelle ændringer med **"User"** i tuningsfeltet.

Portens afstemningsfrekvens **"FB"** kan ændres individuel. Ny SPL og længde **"LV"** beregnes automatisk.

Portens diameter **"DV"** kan ændres individuel. Ny SPL og længde **"LV"** beregnes automatisk.

Antal porte kan vælges individuelt. Nye portlængder beregnes automatisk.

Eksperimenter med antal enheder og konstellationer.

Antal **"No. drivere"** kan vælges individuelt. Ny SPL beregnes automatisk.

Ved anvendelse af to enheder kan **"Isobarik"** = compound = push-pull vælges individuel.

Yderligere eksperimenter med **portafstemninger** kan foretages individuelt som supplement til eksperimenter med kamrenes størrelsesforhold.

Eksperimenter med dæmpevat påvirker resultatet mindre. Det bageste kammer (trykkammeret) forsynes typisk med 30 – 80 % dæmpevat, hvorimod det forreste kammer (basrefleksammeret) bør forsynes med ca. ½ - 1 cm lag blødt filt eller lignende limet på siderne.

Eksperimenter med enheder omfatter antal og konstellationer. **Se plancher nr. 22 og nr. 23**

Eksperimenter med kamrenes rumfang, hvor det bageste kammer (VBR) er trykkammer og det forreste kammer (VBF) er basrefleks, - muliggør individuelle afstemninger af systemets båndbredde, transientgengivelse og følsomhed.

Eksempler på simulerede sammenspil mellem de to kamres størrelser, deres størrelsesforhold og portafstemninger ses på skemaet vist som nærfeltskurver. **Se planche nr. 25 Dias nr. 89**

Hornsystemet

For opnåelse af høje virkningsgrader er hornsystemer nødvendige som kabinetsystemer.

Kabinetterne bliver imidlertid meget store, såfremt de skal kunne gengive helt lave frekvenser under ca. 100 Hz, hvor hornet er afstemt til en fuld bølgelængde. Tillige opstår der ofte problemer med en effektiv dæmpning af hornkabinettets store flader, hvor resonanser fra disse farver lyden i væsentlig grad.

En alternativ løsning er kvartbølgehornet, hvor hornet er afstemt til en kvart bølgelængde og dermed væsentlig mindre, men på bekostning af effektiviteten.

Hornsystemet bliver derfor hovedsagelig anvendt til mellemtone- og diskant-højttalere.

Hornsystemet i teorien

Det centrale i enhver højttalers virkningsgrad skal findes i begrebet mekanisk impedans, der nemmest kan forklares som et systems bevægelsestræghed.

Betragter man højttalermembranens areal relateret til den omgivende luft, findes en meget stor mistilpasning af impedansen, idet højttalermembranens areal udgør en høj mekanisk impedans og den omgivende luftmasse udgør en lav mekanisk impedans. Denne mistilpasning medfører et stort effekttab og højttaleren får en lav virkningsgrad.

I hornkonstruktioner anvendes hornet som et akustisk impedanstilpasningsled i både bagladede og frontladede systemer.

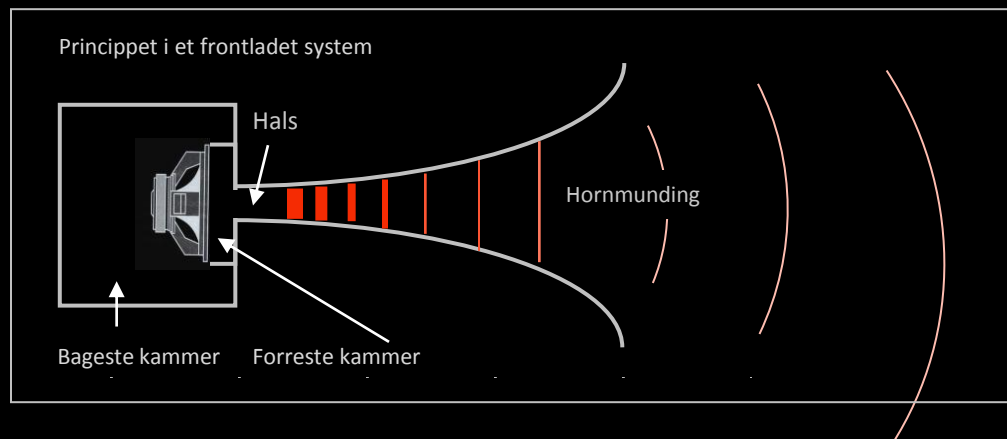
I bagladede systemer anvendes hornet kun til forstærkning af lave frekvenser fra bashøjttalerens bagside.

I frontladede systemer anvendes hornet hovedsagelig til forstærkning af mellem og høje frekvenser og mindre i grad forbindelse med bassystemer, idet det som omtalt medfører temmelig store kabinetter.

Hornets hals (den smalle ende) har et mindre hul end enhedens membranareal.

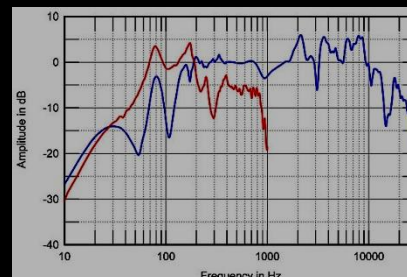
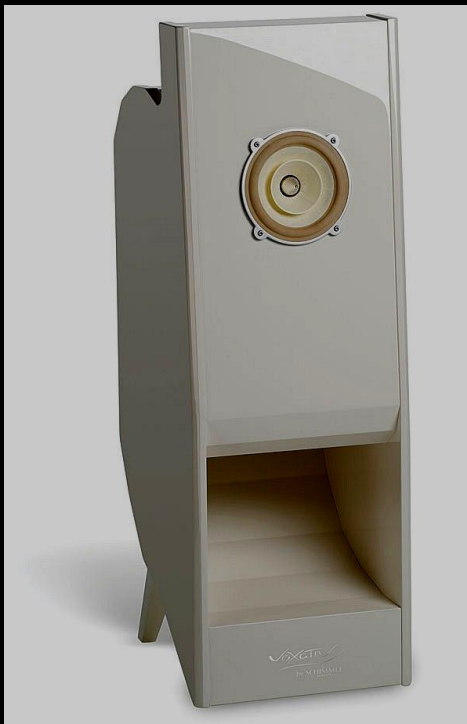
Herved opstår et højt tryk i begyndelsen af hornet, hvorved hornets akustiske impedans bliver identisk med membranens impedans.

Når lydbølgerne bevæger sig ud gennem hornet, hvis areal gradvis udvides, fordeles lydtrykket over et stort areal. Denne gradvise overgang fra højt til lavt tryk, resulterer i en akustisk tilpasning til den omgivne luftmasse og muliggør virkningsgrader på op til 50 %.

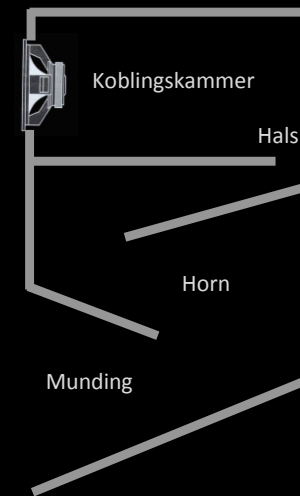


Bagladet horn

Det bagladede horn anvendes udelukkende til den laveste del af frekvensområdet og ofte bestykket med en dobbelt-membranet driver. Hornlængde og munding afstemmes til højttalerenhedens resonansfrekvens og dennes bølgelængde. Vælges en afstemning svarende til resonansfrekvensens hele bølgelængde, bliver horn inklusive munding af anselige dimensioner, hvorfor denne afstemning sjældent anvendes.



Frekvensrespons er ikke just Hi-fi

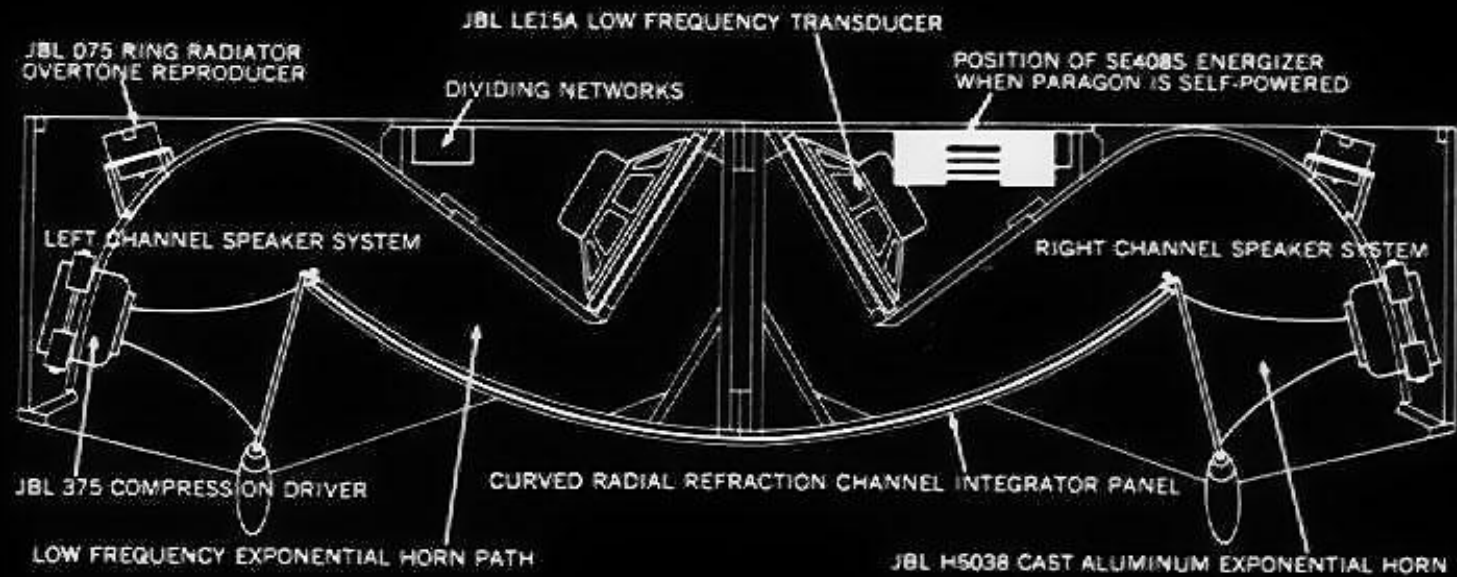


Defination på den bagladede horngeometri:

- Halsareal
- Mundingsareal
- Hornlængde
- Koblingskammer (lukket ende)
- Koblingskammer (ende ved hals)
- Koblingskammerets længde
- Højttalerenhedens position

JBL Paragon

Paragon'en er gået over i historien, men lever stadig i erindringen som en af fortidens mest avancerede hornkonstruktioner, ikke mindst på grund af dens størrelse, vægt og pris.



Kabinettets udførelse

Den mest tilgængelige **kabinetform** er "boks-kabinettet" eller det kasseformede, der almindeligvis kan anvendes til trykkammer, basrefleks, slavesystem og båndpassystem. Kabinettets seks sider er alle samlet til en kasse med vinkler på 90 grader. Højde- bredde- og dybdemål bør være divergerende af hensyn til resonanser.

Bokskabinettet er enkelt at udføre i hobbyværkstedet og velegnet til masseproduktion og er vel nok derfor det mest udbredte, men nok ikke altid den akustisk bedste løsning. – og så er der lige det med WAF.

Andre og måske mere "designede" udformninger kan anvendes, blot kabinettets rumfang er i overensstemmelse med det beregnede.

Kabinettets front (baffel) har betydning for gengivelsen af de mellemste og højeste frekvenser, idet disse bølgelængder er så korte, at de bliver reflekteret af kabinettets front og herved forårsager unøjagtigheder i stereoperspektiv og frekvensbalance.

I princippet bør kabinettets front altid have så lille et areal som muligt, ligesom skarpe kanter og hjørner bør afrundes så meget som muligt. Arealet omkring mellemtone- og diskant-højtalerne kan eventuelt beklædes med et absorberende materiale.

Kabinetmaterialer kan være i spånplade eller i MDF, hvor MDF er anbefalelsesværdig. Pladetykkelserne influerer på kabinettets egenlyd og bør derfor vælges ud fra kabinetsidernes areal:

Mindre arealer 12 – 16 mm, mellemstore arealer 16 – 19 mm og større arealer samt high-end-systemer bør være på 19 - 22mm.

Kabinetter kan om nødvendigt udføres med indvendige afstivninger, lige som indvendige større flader kan dæmpes med pålimet 4 mm bitumen (tjæremateriale).

Prøv at banke på kabinettet med knoerne: Jo mindre lyd, des bedre.

Kabinettets dimensionsberegning.

Efter computeren har beregnet rumfanget i liter, skal dette relateres til kabinettets indvendige dimensioner, der måles i cm og herefter omregnes til dm, idet 10 cm = 1 dm.

Til beregning af bokskabinettets rumfang i liter, ganges de tre dimensioner (højde, bredde og dybde) målt i dm med hinanden og rumfanget i dm³ = liter fremkommer.

Eksempler:

$$10 \times 10 \times 10 \text{ cm} = 1 \times 1 \times 1 \text{ dm} = 1 \text{ liter.}$$

$$20 \times 20 \times 20 \text{ cm} = 2 \times 2 \times 2 \text{ dm} = 8 \text{ liter.}$$

$$30 \times 30 \times 30 \text{ cm} = 3 \times 3 \times 3 \text{ dm} = 27 \text{ liter}$$

Dæmpematerialer fordeles i kabinetterne i forskellige mængder alt efter kabinetsystem.

Som dæmpemateriale kan anvendes kunstfibre (vat), glasuld, fåreuld eller lignende, der har til opgave at dæmpe indvendige refleksioner af de mellemste frekvenser fra bas-mellemtone-højtaleren, hvorved forvrængning reduceres.

Lydens hastighed nedsættes tillige i dæmpematerialet og den **akustiske kabinetvolumen** øges typisk med faktor 1,2.

Praktiske eksperimenter med de tre kabinettyper.

Et godt stykke arbejde ved computeren med beregninger og simuleringer, skal nu bestå sin prøve og føres ud i livet med praktiske forsøg. Der har formodentligt tegnet sig et "billede" af hvilke(n) kabinettype(r) de praktiske forsøg kan omfatte.

Med de tre kabinettyper, trykkammer, basrefleks og båndpas er det bl.a. rumfangets størrelse, der kan eksperimenteres med og for ikke at skulle snedkerere et nyt kabinet, hver gang rumfanget ønskes ændret, kan de eksperimentale kabinetter udføres med variable rumfang. Eksperimenter med dæmpevat influerer ikke afgørende på resultatet, men bør anvendes til småjusteringer, - hvorimod ændringer af portens afstemningsfrekvens har en væsentlig betydning for gengivelse af de lave oktaver i basrefleks- og båndpassystemerne.

Processerne fungerer som et pendul mellem teori og praktik med ændringer og justeringer indtil det ønskede resultat er nået, og omfatter lyttetest med udvalgte musikeksempler samt målinger.

Tro derfor ikke at det teoretiske arbejde er ude af billedet - tvært imod, de praktiske eksperimenter må ofte ty tilbage til nye beregninger og simuleringer på computeren.

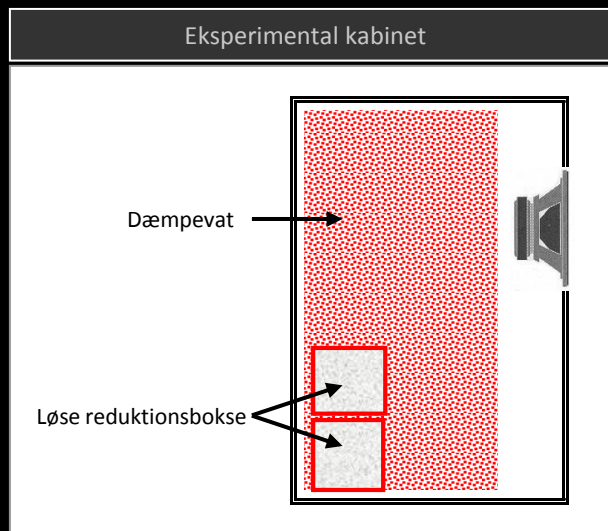
Praktiske eksperimenter med trykkammersystemet.

Som tidligere nævnt er trykkammerkabinettet et enkelt og taknemmeligt system at opnå gode resultater med, også hvad angår eksperimenter. Målinger er et vigtigt stykke værktøj i forbindelse med eksperimenter og bør anvendes sammen med lyttetest med musikeksempler ved alle ændringer.

På computeren har vi koncentreret os om kabinettets Q-værdi og dermed også kabinettets rumfang samt finjusteringer med dæmpevattet. Start eksperimenterne med at udføre tegninger efter det beregnede rumfang. Anvend 16-22 mm MDF plade, der udskæres i præcise mål på rundsav.

Til rumfangsreduktion i trykkammerkabinettet anvendes reduktionsbokse. Boksene kan udføres af kasserede ½ eller 1 liters mælkekartoner (husk at skylle dem), der evt. kan fyldes med sand. Kartonerne skal lukkes med malertape, så de er helt tætte. Husk at boksene skal kunne komme igennem hullet til til bashøjtaleren.

1 liter = 1 dm x 1 dm x 1 dm (1 dm = 10 cm).
På nedenstående tegning er variablerne røde.



Start eksperimenterne med snedkerering af det største, simulerede rumfang (mindste Q-værdi), herefter kan eksperimenter foretages med reduktion af rumfang (højere Q-værdier) ved indsættelse af reduktionsbokse. Husk at finjustere alle rumfangsændringer med mængden af dæmpevat, der ikke må pakkes for hårdt. Med til eksperimenterne hører lyttetest og måling.

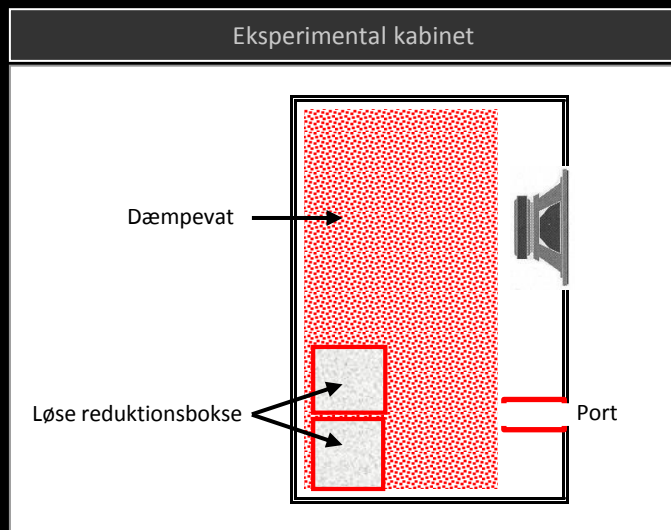
Praktiske eksperimenter med basreflekssystemet.

Som tidligere omtalt er basreflekssystemet kritisk med hensyn til beregninger, simuleringer og ikke mindst, hvad angår eksperimenter. Målinger er et vigtigt stykke værktøj i forbindelse med eksperimenter og bør anvendes sammen med lyttetest med musikeksempler ved alle ændringer.

På computeren har vi koncentreret os om kabinettets rumfang samt finjusteringer af port og dæmpevat. Start eksperimenterne med at udføre tegninger efter det beregnede rumfang. Anvend 16-22 mm MDF plade, der udskæres i præcise mål på rundsav.

Til rumfangsreduktion i trykkammerkabinettet anvendes reduktionsbokse. Boksene kan udføres af kasserede $\frac{1}{2}$ eller 1 liters mælkekartoner (husk at skylle dem), der evt. kan fyldes med sand. Kartonerne skal lukkes med malertape, så de er helt tætte. Husk at boksene skal kunne komme igennem hullet til til bashøjtaleren.

1 liter = 1 dm x 1 dm x 1 dm (1 dm = 10 cm).
På nedenstående tegning er variablerne røde.



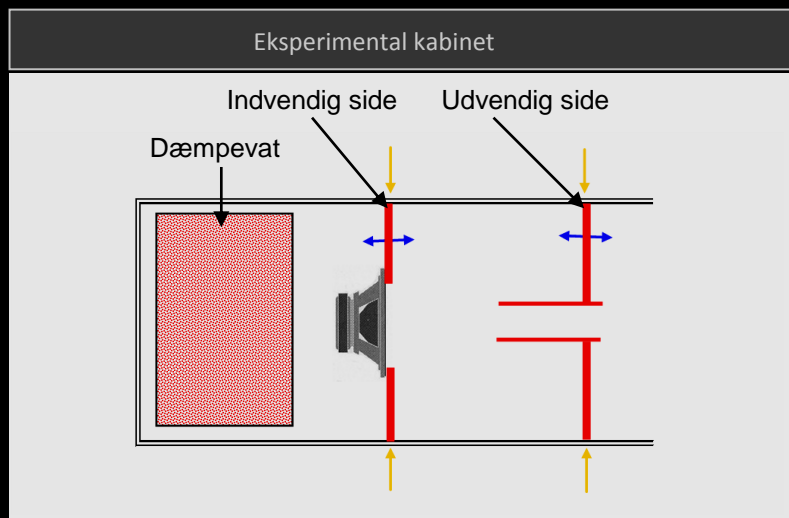
Start eksperimenterne med snedkerering af det største, simulerede rumfang (mindste Q-værdi), herefter kan eksperimenter foretages med reduktion af rumfang (højere Q-værdier) ved indsættelse af reduktionsbokse. Husk at finjustere alle rumfangsændringer med mængden af dæmpevat, der ikke må pakkes for hårdt.

Praktiske eksperimenter med båndpasssystemet.

I båndpaskabinetet sidder enhed, dæmpevat og skillevæg skjulte og er ikke umiddelbare tilgængelige for eksperimenter.

Den traditionelle kabinetkonstruktion af trykkammer og basrefleks kan anvendes til eksperimenter uden specielle anordninger, men så nemt går det ikke med båndpaskabinetet, her må der snedkeres et specielt kabinet, der kan åbnes og lukkes. Desuden skal to vægge være flytbare.

Målinger er et vigtigt stykke værktøj i forbindelse med eksperimenter og bør anvendes sammen med lyttetest med musikeksempler ved alle ændringer.





De flytbare vægge bør udføres i 22 mm MDF i præcise mål, så de slutter tæt til de faste sider.


Oversiden er aftagelig og fastholdes f.eks. ved bespænding med skruetvinger. En Gummipakning mellem oversiden og kanterne på de tre faste sider, skillevæggen og den flytbare væg skal sikre en tæt samling.

Begynd med at snedkerere det største beregnede, totale rumfang (bageste + forreste inkl. sidernes pladetykkelse).

Udfør huller til enhed og port i de to flytbare sider og monter herefter enhed og port.

Begynd med at udmåle bageste kammer, placer den indvendige side med enheden og fastspænd med skruetvinger. Udmål herefter forreste kammer, placer den udvendige side med porten og fastspænd med skruetvinger. Monter oversiden og fastspænd med skruetvinger.

Kabinettets faste sider:  Kabinettets flytbare sider: 

Klemmepunkter fra skruetvinger: 

På tegningen ses fra oven de tre faste sider samt undersiden, der er limet tæt sammen til en enhed.

Desuden ses de to flytbare sider med henholdsvis enhed og port.

Kabinettets materialer, dæmpning og udformning.

Egenlyd fra højttalerkabinetter influerer på lyd gengivelsen. Ofte med så store bidrag til det oprindelige signal, at en bekæmpelse af dette uvæsen kan lønne sig med hørbare forskelle. Imidlertid er det en umulig opgave at definere egenlyden fra kabinetter blot ved lytning, ligesom måling og registrering af kabinettets mange svingningsformer kræver specielt måleudstyr.

På eksperimentelstadiet må man derfor ty til brug af kendte metoder til reducere af kabinettets egenlyd kombineret med hensynstagen til forskellige materialers forarbejdningssmuligheder.

Det ideelle kabinet har ingen egenlyd. Prøv at banke hårdt med knoerne forskellige steder på kabinettet, - jo mindre lyd des bedre.

Reduktion af kabinettets egenlyd kan opnås ved minimering af kabinetsiderne, der principielt virker som en membran, hvilket betyder at de bringes i svingninger fra lydølgerne, der kommer fra driverne. Jo større sideareal, des større udsving og udstrålingsareal.

Ergo mindre højttalerkabinetter har principielt mindre egenlyd end store kabinetter, - alt andet lige.

I Bassystemer og subwoofersystemer kan kabinetvibrationer og egenlyd reduceres med op til 90% ved brug af to enheder i en boxer konfiguration.

Se 5. del, Dias nr. 122, subwoofere.

Kabinetmaterialers vægt og vægtfylde.

Ud over kabinetsidernes areal er det tillige kabinetmaterialets vægtfylde, der influerer på mængden af egenlyd. Jo større sidernes vægt er, des mindre sættes siderne i svingninger ved lave frekvenser, hvorimod sidernes vægt ved højere frekvenser har mindre indflydelse på egenlyden.

Et godt kompromis er træfiberplader (MDF) der har en brugbar vægtfylde kombineret med enkle forarbejdningsteknikker. Pladetykkelser fra 16 mm kan anvendes til mindre sidearealer med gode resultater. Til større sidearealer bør tykkelser på mindst 22 mm anvendes.

Formbare materialer er næppe velegnede på begynderniveau, men omtales for helheden.

Her kan bl.a. nævnes fiberbeton med en høj vægtfylde, der muliggør brugen af tyndere vægside med tilstrækkelig stor vægt til minimering af svingninger og resonanser. Fiberbeton har dog en ringe egendæmpning af højere frekvenser, hvorfor de må beklædes indvendigt med f.eks. Bitumen.

Desuden viser aluminium sig at være velegnet, idet materialet besidder en stor egendæmpning.

Refleksionsdæmpning inde i kabinettet.

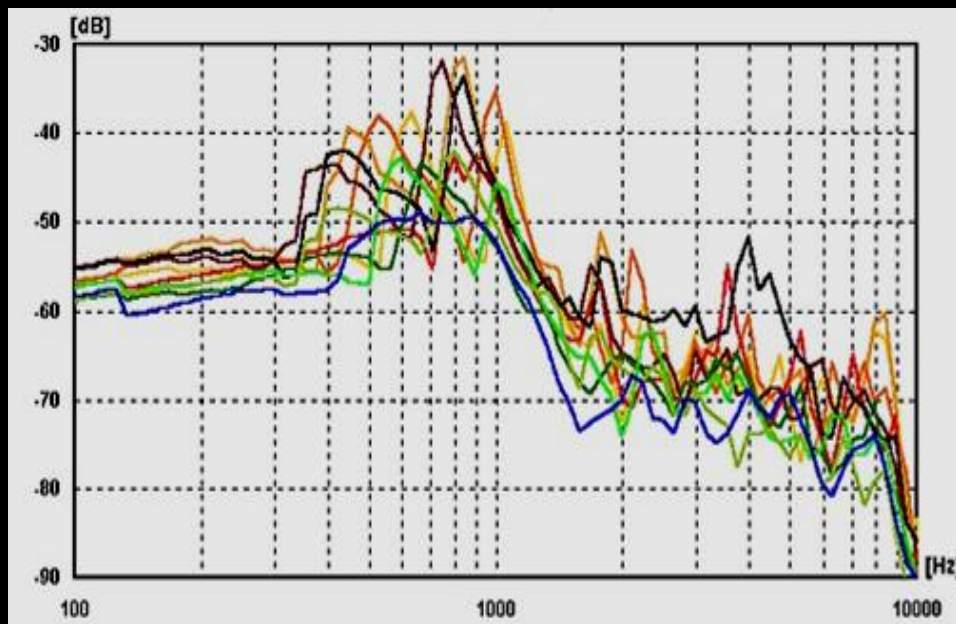
Da lyd består af svingninger i luftmassen, og lyd dæmpning går ud på at bremse disse svingninger, er isoleringsmaterialer normalt en god løsning, da disse materialer har til formål at etablere stillestående luft.

Luft har en ekstremt høj isolans og samtidig evnen til at transportere varme ved konvektion. Luft er således både det bedste og mest forhåndenværende isoleringsmateriale, hvis bare man kan få den til at stå stille, d.v.s. at bremse luftens bevægelser mest mulig, inden den når ud til kabinettets vægge.

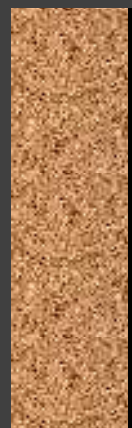
En god løsning vil være at fylde kabinettet op med et isoleringsmateriale, med varierende porøsitet, således at porøsiteten er højest lige bag membranerne, og lavest ude ved kabinettets vægge, således at luften kan svinge 99% uhindret bag membranerne, men stå næsten helt stille ude ved væggen, uden at møde reflekterende flader undervejs.

Kabinetmaterialers egendæmpning: Som tidligere nævnt har kabinetmaterialets vægtfylde indflydelse på egenlyden fra de lave frekvenser, men i væsentlig mindre grad indflydelse på egenlyden fra de højere frekvenser.

På nedenstående planche nr. 63 fra (www.picosound.d) ses markante øgninger af svingninger og resonanser i forskellige kabinetmaterialer i frekvensområdet fra ca. 350 – 1000 Hz.



Dæmpning med 4 mm bitumenplader



16 mm MDF med 4 mm bitumen
med 4 mm bitumen limet på
Kabinetets inderside



2 x 8 mm MDF med 4 mm bitumen
limet mellem pladerne.
(sandwich)

Med ørets følsomhedskurver [Planche nr. 6](#), [Dias nr. 23](#) i hukommelsen ses et uheldigt sammenfald med kurverne, vist på ovenstående billede, - idet adskillige materialer har markante øgninger af svingninger og resonanser grundet manglende egendæmpning i store dele af det frekvensområde, hvor netop øret har sin højeste følsomhed.

Kurverne på billedet anskueliggør markante forskelle på f.eks. en ganske almindelig 22 mm spånplade (gul kurve) og en trelags "sandwich" bestående af 16 mm MDF + 4 mm bitumen (tjære) + 4 mm krydsfiner (blå kurve).

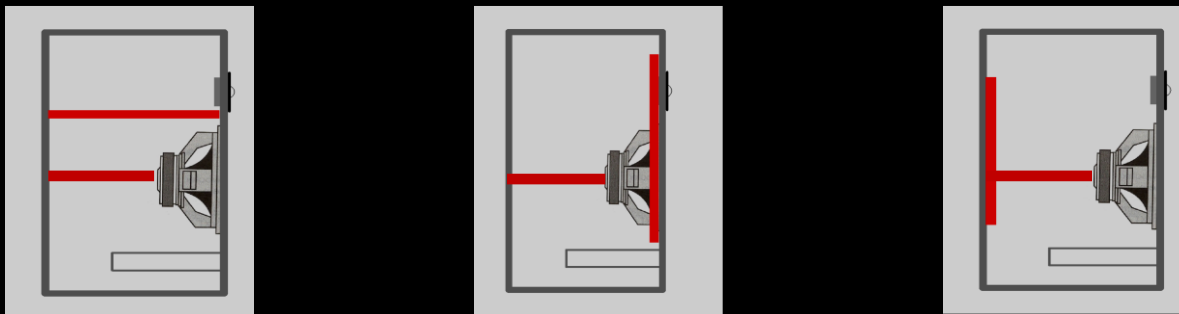
Man kan således opnå en væsentlig reduktion af kabinetters egenlyd ved at eksperimentere med sammensætninger af flere lag bestående af materialer med forskellige hårdhedsgrader.

Bitumen (en slags tjære) bør fremhæves med dets gode dæmpeegenskaber. Selv mindre bitumenplader med en tykkelse på ca. 4 mm klæbet på kabinettets inderside uden at være totaldækkende, men på strategiske rigtige steder kan have stor dæmpende virkning.

Kabinettets indvendige afstivninger: Det kan have en gavnlig virkning, at anvende afstivning af store sidearealer. Bankemetoden med knoerne forskellige steder på kabinetfladerne kan afsløre, hvor afstivninger kan hjælpe.

Enkle afstivningsmetoder ses på de tre nedenstående tegninger, der viser kobling af modstående sider i kabinettet med én eller flere lægter eller rundstokke, hvor special afstivning fra bashøjtalerens magnet er effektivt. Fortykkelse af kabinetsiderne med MDF plader limet på virker dæmpende.

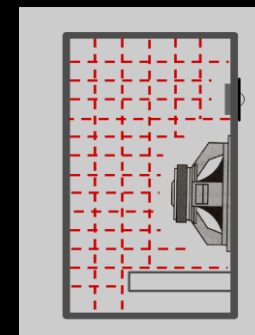
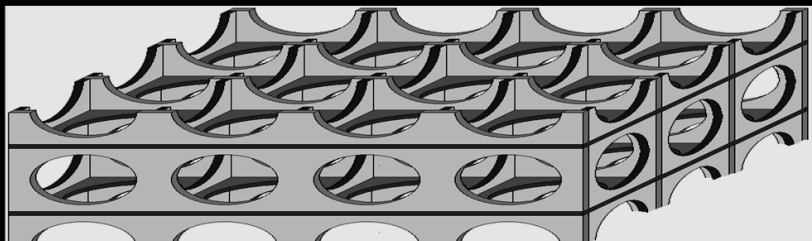
Afstivningerne fungerer bedst ved asymmetrisk placering.



Matrix-systemet er en særdeles effektiv metode til dæmpning af svingning og resonanser i kabinetsider.

Systemet har til opgave at forbinde samtlige kabinetsider med en fintmasket lamelstruktur med størst mulig styrke, der optager mindst muligt af kabinetrumfanget.

Systemet er medtaget for helheden og er temmelig kompliceret at udføre i praksis.



Dæmpning af refleksioner fra baffel:

Lydbølger der afbøjes fra især diskant højttalere og til dels mellemtone højttalere har så lille en bølgelængde

(340 meter divideret med frekvensen), at de vil ramme højttalerens baffle og efterfølgende reflekteres.

Det reflekterede signal opfattes forsinket relateret til det direkte signal og maskerer derved stereoperspektiv og diskantgengivelse.

Ekspirer med et dæmpende materiale limet på bafflen omkring enhederne vil ofte resultere i hørbare forbedringer.

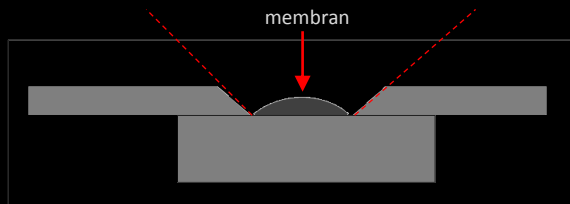
Materialer med absorberende egenskaber, som f.eks. filt eller skumgummi med en tykkelse på ca. 3 - 5 mm kan anvendes.

Wave Guide :

Mange af markedets dometweeters er forsynet med en såkaldt wave guide.

Hvilket betyder at membranen er undersænket i diskant enhedens frontplade.

Herved kan udstrålingen styres så lydbølgerne ikke reflekteres fra højttalerkabinettets baffel.



Tegningen viser udstrålingsåbningen mellem de røde linier i en typisk dometweeter med Wave Guide.



Scan Speak diskant omkranset med filt.

Kabinettets udformning

Udformning af højttalerkabinetter kan ofte være ambivalente, idet hensynstagen til individuelle sofistikerede designs kan være modstridende med teknisk idealløsninger.

Kunsten og balanceakten er så at finde løsningsmodeller, der tilgodeser såvel design som teknik.

Højttalerkabinettets udformninger udført i hobbyværkstedet begrænses af håndværksmæssige færdigheder, værktøj og materialer, der ofte er en eller anden form for træ.

Kabinettets form tager udgangspunkt i dets placeringssted, f.eks. på gulv, i reol eller på væg.

Enkelte tommelfingerregler for Gulv- og reolhøjttalere:

Front (baffle) bør have mindst muligt areal.

Fronten bør have mindst mulig bredde.

Kanter og flader i enhedernes udstrålingsområde f.eks. fra stoffronter etc. bør minimeres.

Kanter fra enheder bør undgås f.eks. ved undersænkning af disse.

Kabinetkanter bør afrundes mest muligt.

Enkelte tommelfingerregler for væghøjttalere:

Afstand fra baffle til væg bør være mindst mulig.

Størst mulig afledning af trykbølger i kabinettets indre til siderne fra basemhederne, idet afstanden fra enheden til kabinetbagsiden er relativ lille sammenlignet med traditionelle kabinetter. Kabinettets lille dybde kan forårsage begrænsninger i frekvensresponsens nedre oktaver.

Valg af kabinetformen beror på prioriteringer. Om det er designet eller teknikken, der har den største betydning må afgøres af den personlige vægtning.



Davone med coaxial højttalersystem



Frislev møbel med integreret high-end coaxial højttalersystem (frontstof demonteret)

Delefilter

Delefilter til højttalere er et temmelig omfattende område, ja nærmest en videnskab for sig.

Der er skrevet et utal af bøger og afhandlinger over emnet, så hvis man vil forske i området, er der nok at gå i gang med.

Indledningsvis skal det understreges at delefilterkonstruktion er en komposition af beregninger, simuleringer, lytninger, målinger, korrektioner, subjektivitet og ikke mindst en masse erfaring.

Valg af delefilter med deraf følgende beregninger og justeringer udføres, efter valg af specificerede højttalerenheder er truffet og efterfølgende monteret i et færdigberegnet kabinet. **Ergo filtret skal matche både enheder og kabinet.**

Det er vigtigt at være opmærksom på, hvor store afvigelser fra det optimale og færdige system man kan acceptere.

Disse afvigelser er i vid udstrækning beroende på delefilterets beregning baseret på måling af enhederne monteret i det færdige kabinet.

Computerprogrammer (f.eks. Loudsoft) der kan foretage dette samspil findes på markedet, - men er dog relativt kostbare.

Her i artiklen vil vi som begyndere nøjes med at studere de grundlæggende teorier, og bruge disse som udgangspunkt til konstruktion af relative enkle filtre.

Alle skrevne formler er lige som i kabinetberegningerne udeladt og overladt til computerens beregningsprogrammer.

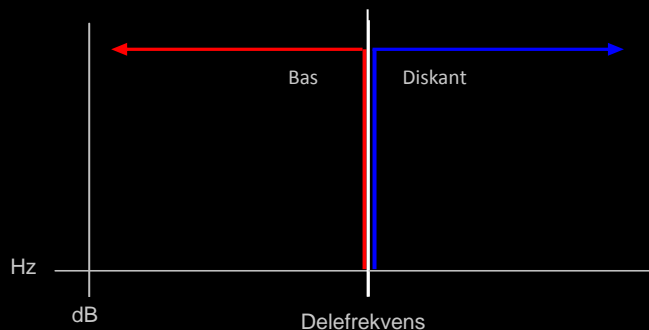
Delefilter har ét overordnet formål: At tildele de rette frekvensafsnit til de rette højttalerenheder, hvilket vil sige bas, mellemtone og diskant, med så få bivirkninger som muligt og samtidig udnytte enhedernes bedste egenskaber. Filtret har tillige til opgave at beskytte mellem- og diskantenhederne mod "afbrænding" fra tilføjte frekvenser uden for enhedernes arbejdsområde.

Underordnet kan filtre tillige indeholde kredsløb til impedanskorrektion, notchfilter og dæmpningsled.

Ganske enkelt men så er der lige

Murphy's lov:

- 1) Intet er så nemt, som det ser ud til. - 2) Alting tager længere tid end du tror. - 3) Alt hvad der kan gå galt, vil gå galt.
- 4) Hvis der er mulighed for at flere ting kan gå galt, vil den ting, der vil forårsage mest skade være den ting, der går galt.
- Hvis der er et tidspunkt, hvor det vil være meget slemt, at ting går galt, så vil det ske på dette tidspunkt.
- 5) Hvis der er noget der ikke kan gå galt, så går det alligevel galt.
- 6) Hvis der er fire måder, hvor en procedure kan gå galt og man forudser dette, så vil en femte og uforudset måde øjeblikkelig forekomme.
- 7) Når ting bliver overladt til sig selv, vil de gå fra at være dårlige til at være virkelig dårlige.
- 8) Hvis alt ser ud til at gå godt, så har man tydeligvis overset et eller andet.
- 9) Når du har sat dig for at lave en bestemt ting, er der noget andet der må gøres først.
- 10) Enhver løsning avler nye problemer.



Simuleret grafik af frekvensrespons fra et teoretisk delefilter, helt uden fasefejl, ripple og overlapning, - findes desværre kun i højttalerkonstruktørens fantasiverden. I højttalerkonstruktørens virkelige verden findes delefilter kun som kompromisser.

Passive højttalersystemer er stadig de mest forekommende, men de aktive højttalersystemer med indbyggede forstærkere vinder frem. I begge systemer, der fungerer som flervejssystemer, er delefiltere nødvendige og virker principielt på samme måde. Her i artiklen beskrives udelukkende eksempler på filtre til passive systemer.

Når flere højttalerenheder kobles sammen via et delefilter, sker der ændringer i lydstyrken. Der opstår fasefejl og enhederne modarbejder hinanden med mere eller mindre akustiske kortslutninger til følge. Desuden spiller kabinetets størrelse og form ind i de forskellige enheders opførsel. Alle forhold der under hele konstruktionsprocessen løbende medfører korrektioner i delefiltret og understreger at et "standard" delefilter ikke kan fungere optimalt.

Måske skal delefiltret tillige korrigere for enhedernes ofte forskellige følsomheder, for ulineære impedansforløb og er der pukler på frekvenskurven kan filtret udglatte disse ved hjælp af sugekredse.

Delefilter er hjertet i enhver højttaler med flere enheder og er højttalersystemets måske vanskeligste del at konstruere. Faktorer der skal tages hensyn til, er mangfoldige og uhyre komplekse.

Delefrekvenser vælges hovedsaglig ud fra enhedernes egenskaber, således at de forskellige enheder får tilført de korrekte energimængder og de bedst egnede frekvensafsnit.

I trevejsystemer vælges den laveste delefrekvens mellem bas og mellemtone typisk i området 500 – 1.500 Hz. Den højeste delefrekvens vælges mellem mellemtone og diskant typisk i området 3.000 – 5.000 Hz.

I tovejsystemer vælges delefrekvensen normalt i området 2.000 – 3.000 Hz. Her varetages mellemtoneområdet af en kombineret bas- mellemtoneenhed.

Hidtil kendte teknikker i delefiltere benytter kapacitet (kondensatorer) og induktion (spoler), enkeltvis eller i kombination, til at udføre delingen af de elektriske signaler ved de ønskede frekvenser.

Denne teknik fungerer dog ikke helt problemfri, idet den ønskede deling nok lader sig praktisere, men desværre også med en del bivirkninger og kompromisser, - alt efter den benyttede filtertype.

Filtrets flankestejlhed: Med den kendte teknik vil flankerne altid have en vis stejlhed (hældning), alt efter den benyttede filtertype. Herved opstår der et underskud (-) og et overskud (+) af energimængden omkring delefrekvensen i den såkaldte "crossover region".

Dette underskud og overskud bør resultere i en udligning med en lineær summeret kurve (stiplet linie) som resultat. **Se planche nr. 34, Dias nr. 110**

Ulempen ved flankestejlhedens hældning er den uundgåelige energimæssige rest af uønskede frekvenser, der tilføres højttalerenhederne med deraf mulig overbelastning og forvrængning. 6 dB-filtret har den største og 24 dB-filtret har den mindste energimæssige rest på hver side af delefrekvensen, hvorfor 6 dB-filtret stiller de største krav til enhederne, så store at dets anvendelsesmuligheder begrænses til specifikke enheder.

Crossover region

(Transition Region) - er betegnelsen for det frekvensafsnit, hvor den gradvise ind- og udkobling sker af to frekvensafsnit.

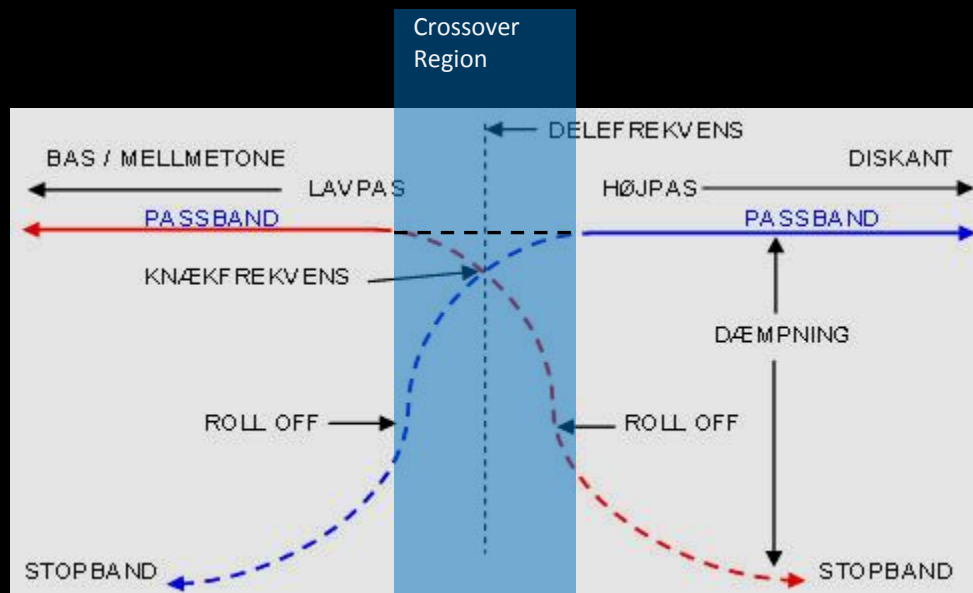
Knækfrekvensen er skæringspunktet svarende til **delefrekvensen**, - er -6 dB i Linkwitz-Riley filtre og -3 dB i øvrige filtre.

Knækfrekvensen er punktet, hvor to enheder starter delingen af den tilførte energi. (Decibelangivelser er elektriske decibel)

Enhederne bør præcist have den samme øjebliksværdi (fase) i regionen, grundet den frekvensmæssige overlapning.

Delingsprocessen er temmelig kompliceret, idet tidsfaktoren (faseforløbet) spiller en væsentlig rolle. Er enhedernes faseforløb ikke sammenfaldende i området, hvor de overlapper hinanden, vil differencen resultere i et ulineært lydtryksniveau i regionen .

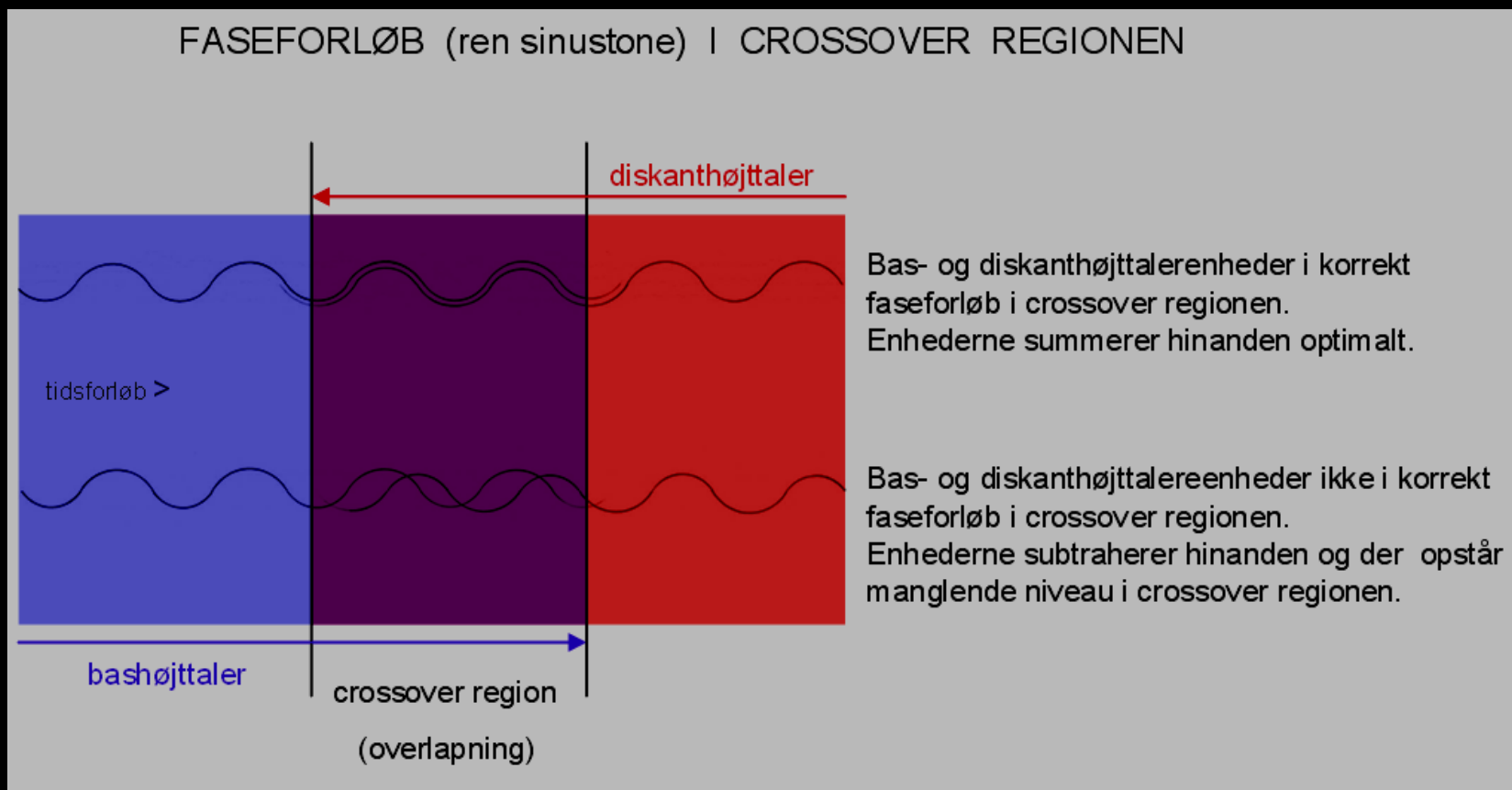
Alt i alt en proces, hvor kompromiserne må indgås.



Filtrets faseforløb

Fase defineres som øjebliksværdien af et signals energimængde på et givet tidspunkt.

Skal processen i crossover regionen lykkes, må signalets tidsforløb for de to frekvensafsnit tilnærmelsesvis være sammenfaldende.



Filterdiagrammer

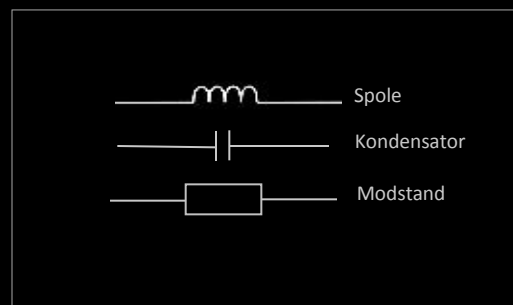
Delefilterets flankestejlhed er, som nævnt den hastighed, hvormed de forskellige enheder gradvis ind- eller udkobles omkring delefrekvensen. Disse ind- og udkoblingers stejlheder udtrykkes i dB pr. oktav også kaldet filtrets orden.

Filtertyperne Butterworth, Linkwitz-Riley og Bessel er diagrammæssige identiske med symmetriske flanker ved delefrekvensen. Filtrenes stejlheder pr. oktav udgør 6 dB (1.orden), 12 dB (2.orden), 18 dB (3.orden) og det lidt sjældne 24 dB (4.orden), dog undtaget Linkwitz-Riley, der kun findes som 12 dB og 24 dB. Komponenternes forskellige værdier i de tre filtertyper bevirker de respektive filters egenskaber, som eksempelvis faselinearitet, frekvenslinearitet, impulsbearbejdning m.m.

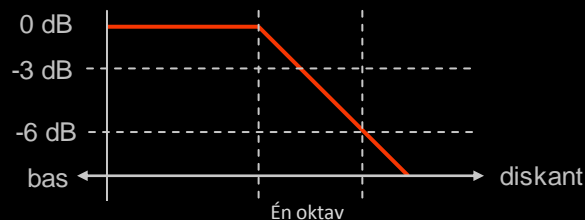
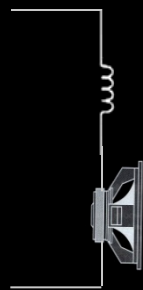
Desuden anvendes hybride filtre, der f.eks. kan være sammensat af et 6 dB's og et 18 dB's filter og derfor er asymmetrisk ved delefrekvensen. Hybride filtre bør altid sammensættes af enten ulige eller af lige orden, f.eks. 1. og 3. eller 2. og 4.

Kombinationer af filterkomponenter: Kombinationen af spoler og kondensatorer og disses respektive værdier bestemmer filtrets delefrekvens og flankestejlhed. For hver gang der indføres ét element i signalvejen (spole eller kondensator) øges den frekvensafhængige dæmpning med ca. 6 dB pr. oktav og giver teoretisk et fasedrej på 90° . Den tredje komponenttype modstande indgår typisk i dæmpningsled og korrektionsled.

Symboler for filterkomponenter

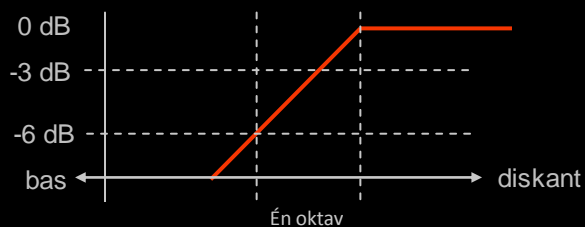
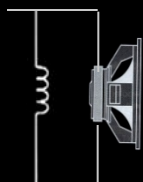


Spolernes funktioner i delefiltere



Seriespolen dæmper de høje frekvenser med 6 dB pr. oktav og giver et fasedrej i delefiltere på 90° . Antallet af viklinger bevirker spolens induktion. Jo flere viklinger, des større induktion og des lavere delefrekvens. Induktionen kan yderligere øges ved at indsætte en ferritkerne (sammenpresset jernpulver) i spolens midte.

Tråden i seriespolen er typisk af kobber og bør yde så lille en jævnstrømsmæssig modstand som muligt, hvilket betyder at trådtykkelsen i seriespoler til bashøjttalere bør have en tykkelse på min. 0,8 – 1 mm og mellemtonehøjtalere på min. 0,5 mm, hvorimod trådtykkelsen til diskant højtalere er ukritisk.



Parallelspolen dæmper de lave frekvenser med 6 dB pr oktav og giver et fasedrej i delefiltere på 90° .

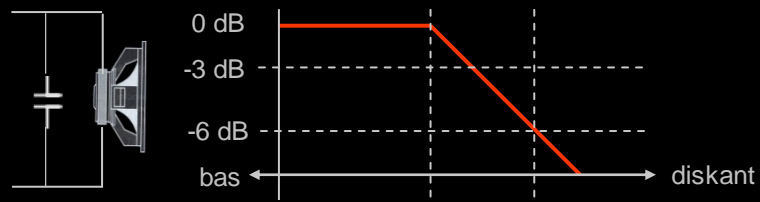
Antallet af viklinger bevirker spolens induktion. Jo flere viklinger, des større induktion og des lavere delefrekvens.

Tråden i parallelspolen er typisk af kobber. Den jævnstrømsmæssige modstand er mindre væsentlig.

Parallelspoler anvendes til mellemtone- og diskant højtalere og fordrer mindre trådtykkelser, typisk på 0,3 – 0,5 mm.

Induktion angives i måleenheden Henry (H). I delefiltere anvendes dog relativt mindre induktionsværdier og angives i enhederne milliHenry (mH).

Kondensatorenes funktioner i delefiltere



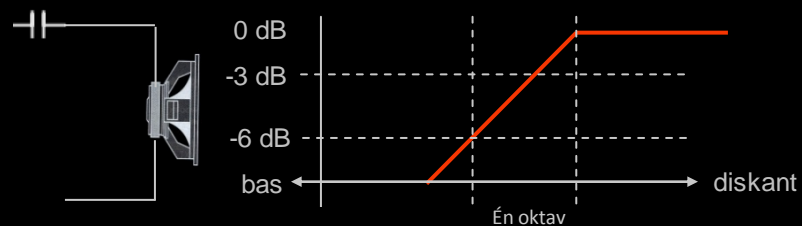
Parallelkondensatoren dæmper de høje frekvenser med 6 dB pr. oktav og giver et fasedrej i delefiltere på 90°.

Kondensatorer findes i et utal af forskellige kvaliteter.

Brug en kvalitet der passer til højttalerens øvrige komponenter.

Det skal bemærkes at elektrolytkondensatorer ikke er egnede til højttalerdelefiltere.

Man skal tillige være opmærksom på kondensatorens arbejdsspænding relateret til højttalerens belastningsevne.



Seriekondensatoren dæmper de lave frekvenser med 6 dB pr oktav og giver et fasedrej i delefiltere på 90°.

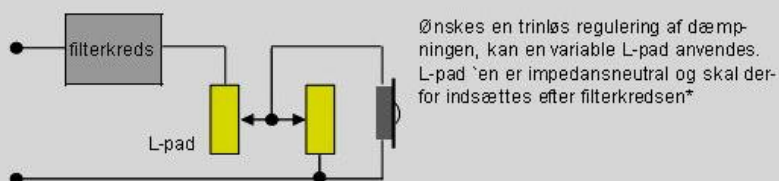
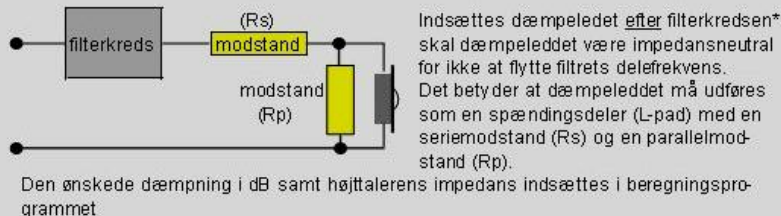
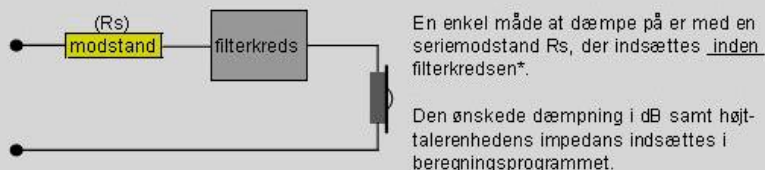
Modstandenes funktioner i korrigerende kredsløb i delefiltere

Programmer og links på Dias nr. 160



Delefilterets tredje komponent er modstanden, der udelukkende anvendes i korrektionskredsløb. Modstandens værdi angives i Ohm og belastningsevnen angives i Watt, der mindst skal modsvarer dens belastning i et specificeret kredsløb.

Dæmpeled



Bashøjttaleren danner udgangspunkt for det samlede højttalersystemets lydtryk og kan ikke dæmpes elektrisk. Såfremt mellemtone- og diskantenheder afgiver større lydtryk end basenheden, kan disse dæmpes med de viste modstandskombinationer.

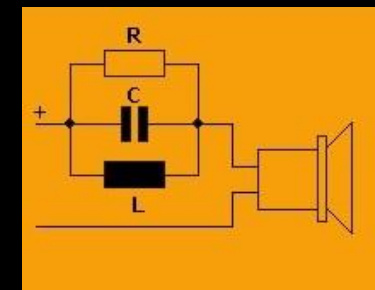
Notch filter (sugekreds)

<http://www.mh-audio.nl/parallelnotchfilter.asp>

Notch filter dæmper positive "pukler" på en frekvenskurve.

Filtret kan afstemmes således :
1) Frekvens 2) Bredde 3) Dybde

Filtret skal justeres sammen med kontrolmålinger.



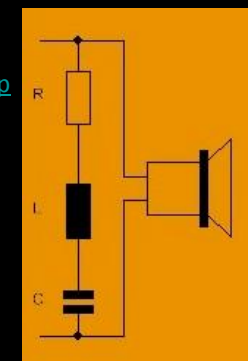
Resonans filter (sugekreds)

http://www.mh-audio.nl/RLC_Series_Resonant_Calculator.asp

Resonans filter dæmper resonansen hovedsagelig på diskant- og mellemtone drivere. Kan anvendes til bas drivere, men kræver relative store komponentværdier.

Filtret kan afstemmes således :
1) Frekvens 2) Bredde 3) Dybde

Filtret skal justeres sammen med kontrolmålinger.

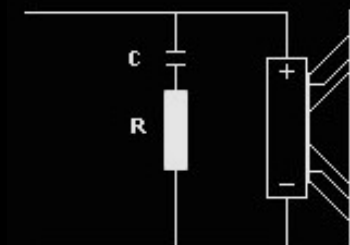


Zobel filter (impedanskorrektio)

<http://www.mh-audio.nl/iec.asp>

Filter til at korrigere en bas-drivers impedanskurve. Bas-drivere har stigende impedans med stigende frekvens, hvilket snyder beregninger af delefiltere, idet filtret beregnes ud fra driverens nominelle impedans. Zobel filtre korrigerer driveren, således at dens impedans er konstant uanset frekvens.

Se ARTA grafik i link`et

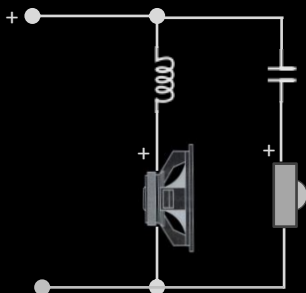


Filtertyperne

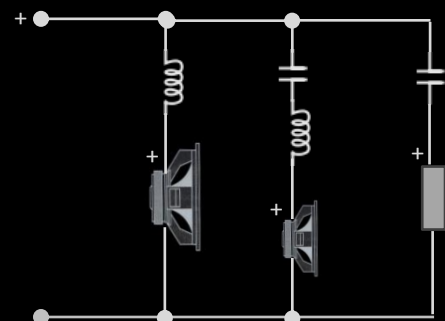
Butterworth, Bessel og Linkwitz & Riley er diagrammæssigt identiske. Kun komponentværdierne og enhedernes indbyrdes polariseringer er forskellige filterne imellem.

Butterworth og Bessel

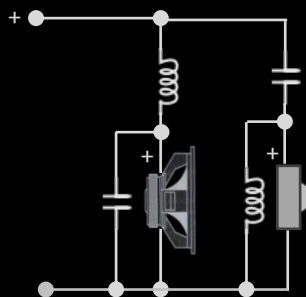
Tovejs - 1. Ordens filter (6 dB / oktav)



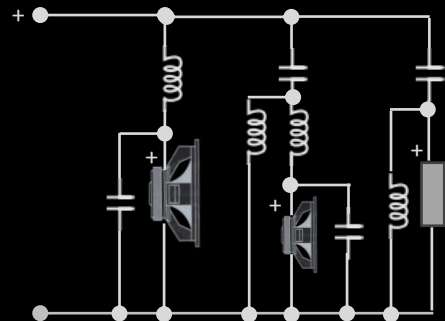
Trevejs - 1. Ordens filter (6 dB / oktav)



Tovejs - 2. Ordens filter (12 dB / oktav)

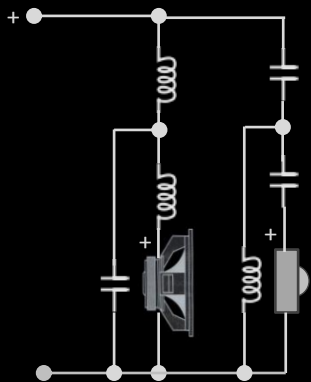


Trevejs - 2. Ordens filter (12 dB / oktav)

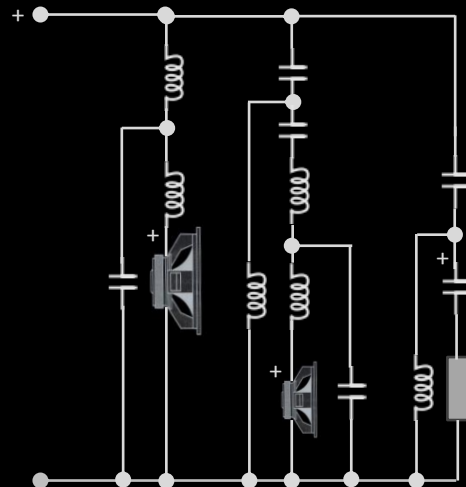
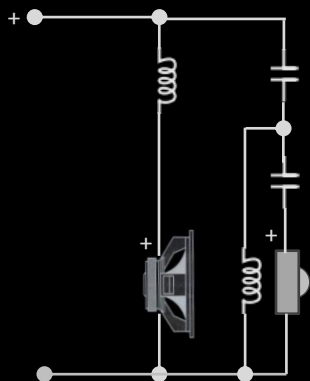


Butterworth og Bessel

Tovejs - 3. ordens filter (18 dB / oktav)



Trevejs - 3. ordens filter (18 dB / oktav)

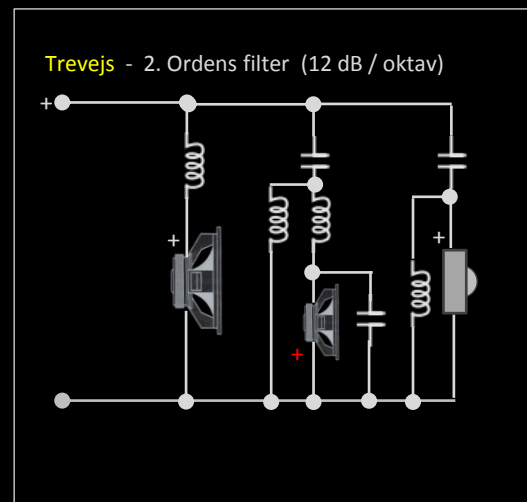
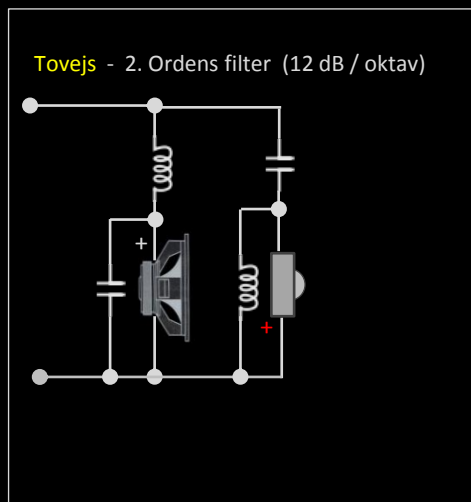
Hybrid - 1. ordens / 3. ordens filter
(6 dB / 18 dB / oktav)

Linkwitz-Riley

Linkwitz-Riley filtrene optræder udelukkende som 2. ordens og 4. ordens filtre, hvor 2. ordens filtret er det foretrukne, såvel målemæssigt som lydmæssigt.

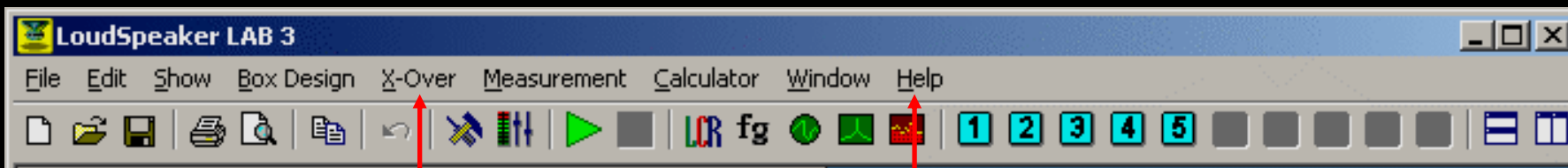
Det skal bemærkes at overgangen fra driver til driver skal have modsat polarisering.

Linkwitz-Riley filtre 2. orden anvendes her i artikelseriens beregninger, simuleringer samt praktiske projekter.



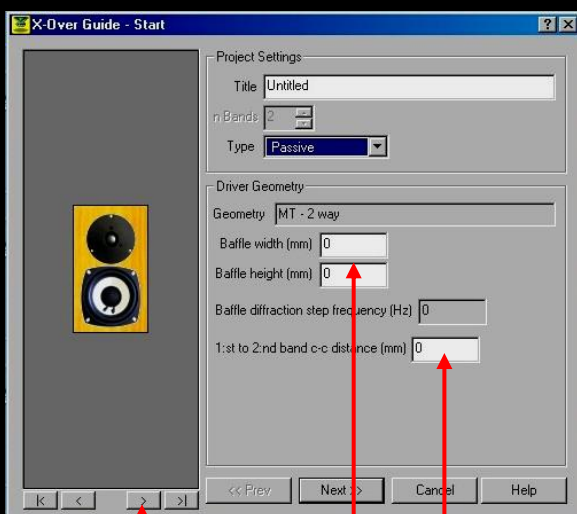
Beregning og simulering af delefilter med LAB 3

Det kan anbefales, at man som begynder ikke kaster sig ud i de helt store eksperimenter, men holder sig til en enkel og funktionsdygtig filtertype.



Start

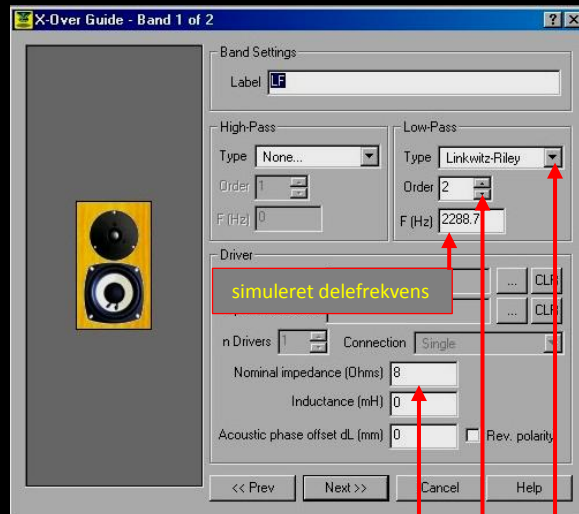
Nyttig funktion, - brug den !



system

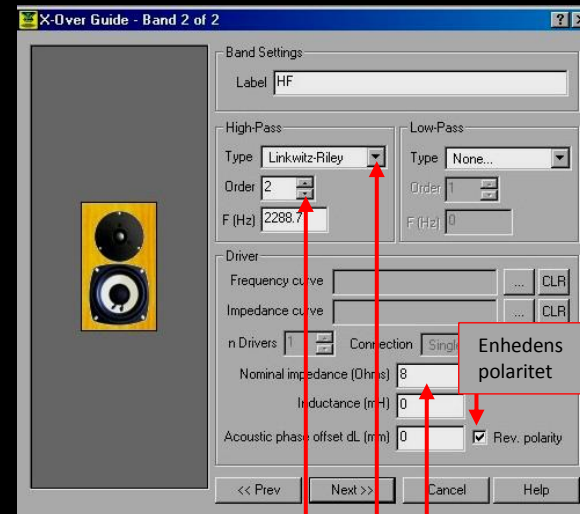
baffelmål

afstand mellem
enhedernes centrum



impedans

filtertype
og orden

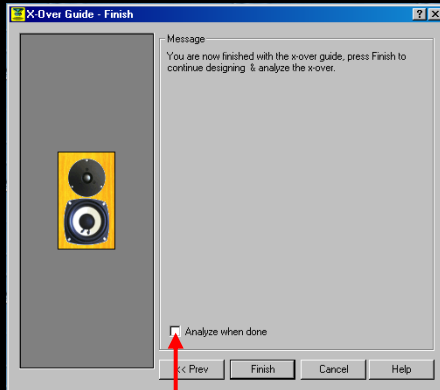


filtertype
og orden

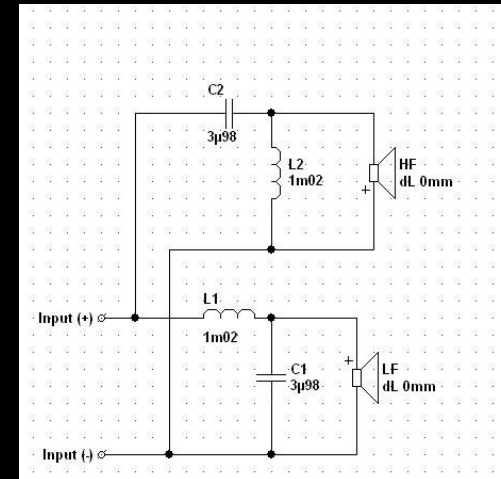
impedans

Enhedens
polaritet

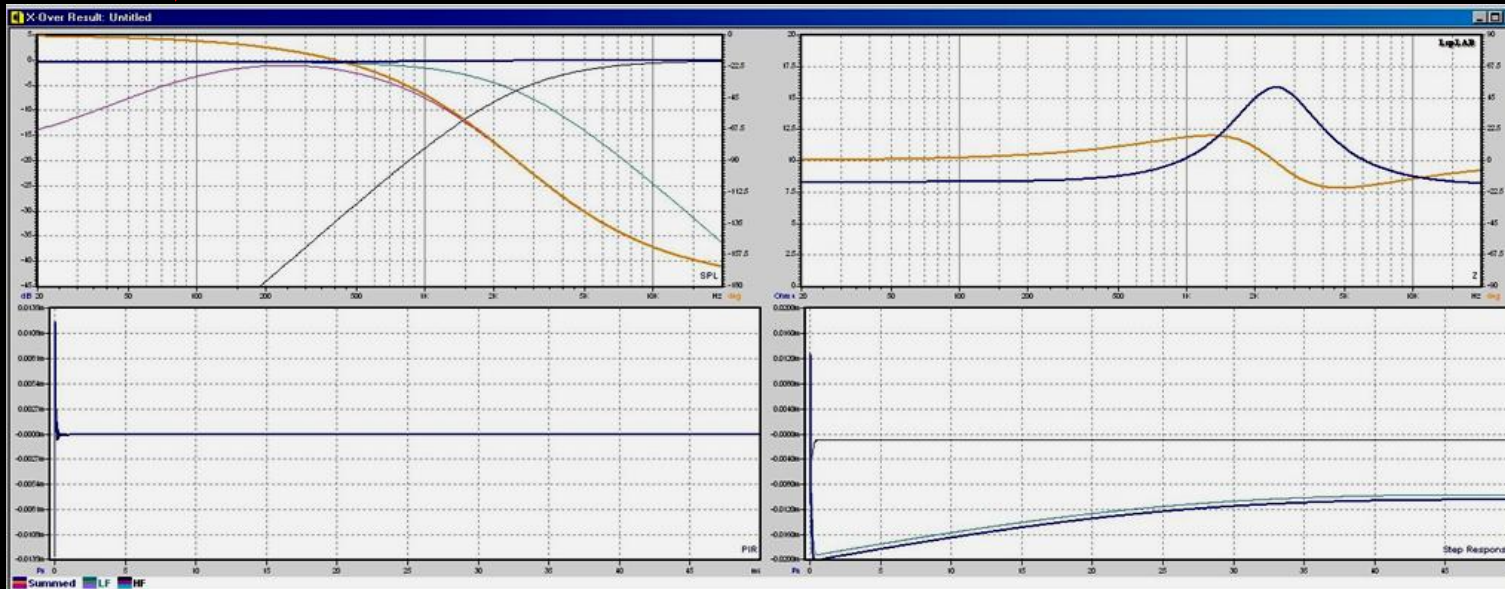
Beregning og simulering af delefiltere med LAB 3



Beregnet filter diagram

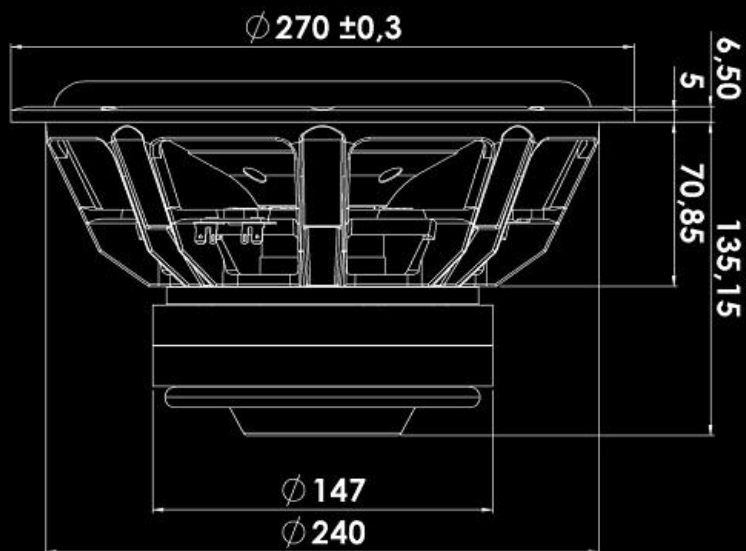


Simuleret frekvenskurve, delefrekvens og fase



Subwoofere

En subwoofer er et højttalersystem, hvis frekvensområde typisk er fra ca. 150 Hz og ned til under 20 Hz



Subwoofers 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 højttalersystem med to kabinetter, - et lille som er selv 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.

Subwoofere kan være passive systemer, der tilsluttes direkte til en forstærker, eller som aktive systemer med indbygget forstærker, - der nok er dagens standard. De aktive subwoofere har de fordele, at nødvendige reguleringer som niveau, delefrekvens og fase, kan foretages i forstærkeren, Ligesom subwooferen kan suppleres med et rumtilpasningssystem (DSP), bestående af en lille computer, der kan equalize lytterummet og dæmpe rumresonanser.

Hvorfor subwoofere ?

- underforstået subwoofere som separate enheder, - enten som supplement til højttalere, der mangler gengivelse af de nederste oktaver eller i kombination med såkaldte satellithøjttalere.

Separate subwoofere har fordelene ved
 - flere møblerings muligheder grundet dens spredningskarakteristik (360°), - flere muligheder for mest gunstige placeringer relateret til de akustiske forhold.
 - Indbygget forstærker med justeringer samt mulighed for tilslutning af roomadaption.



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 [Dias nr. 14, akustik](#).

Der findes ikke færdige opskrifter på den ideelle subwoofer til konkrete formål. Gode resultater opnås kun ved mange praktiske forsøg, hvilket vil sige lytning og måling, - og endelig er der jo også den ikke uvæsentlige og subjektive opfattelse af, hvordan basgengivelse skal lyde.

En vigtig faktor for subwoofere er dens placering i rummet, idet lyd gengivelsen påvirkes ved frekvenser under ca. 125 Hz, der 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 [planche nr. 5](#), [Dias nr. 18](#)

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 drillepind, - lytteafstanden mellem lydkilde og lytter. Mange har nok oplevet at styrken af de lave frekvenser varierer når afstanden mellem højttaler og lytter ændres. Fænomenet skal findes under begrebet bølgelængde, hvor som bekendt faser varierer i en lydbølges tidsforløb.

Se [planche nr. 3](#), [Dias nr. 11](#)

Konklusionen bliver, at en ensartet basgengivelse i almindelige lytterum i boligen langt fra er mulig, - naturlove kan ikke ændres, heller ikke lydens.

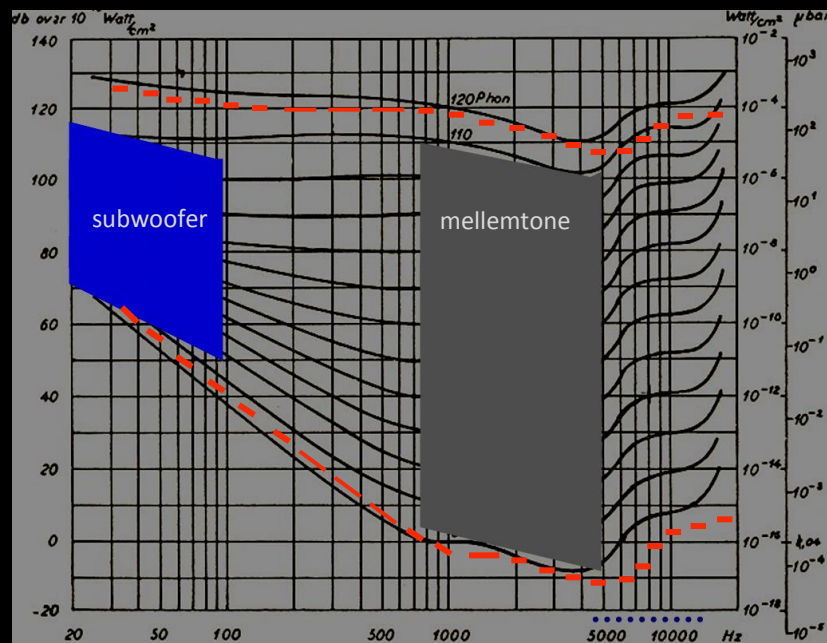
Gengivelse af de dybeste oktaver i boligen, er og bliver kompromisser !

Hvordan justeres der til bedst mulige basgengivelse i lytterummet ?

Overordnet skelnes der mellem akustiske og elektriske justeringer og optimeringer. Alle justeringer foretages såvel objektivt som subjektivt, d.v.s. ved hjælp af henholdsvis måleudstyr og høreelse.

Subwoofers dynamiske område.

Ørets lave følsomhed ved lave frekvenser sætter en væsentlig begrænsning for subwoofers dynamiske formåen. Den grafiske fremstilling skitserer den opnåelige dynamik i subwoofers frekvensområde (blåt felt), sammenlignet med det mellemste frekvensområde (gråt felt) relateret til ørets dynamiske område mellem de røde linier.



Man kan næppe forvente, at kunne gengive de laveste frekvenser med et lydtryk på mere end 110 dB, hvilket i sig selv kræver en hel del. Ved 50 Hz kan man således kun opnå et dynamisk område på ca. 35 dB, - ikke er 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. Stort set er det kun orgler, der kan gå ned til ca. 20 Hz.

Man kan således konkludere at 40 Hz i mange tilfælde til musisk brug, er den magiske grænse som afskæringsfrekvens, forudsat et opnåeligt niveau på ca. 90 - 100 dB i spidserne.

Oftentimes er det dynamisk kompression og ikke selve frekvensområdet, der skuffer og opleves som manglende bas. Mange "kompakthøjttalere" er måleteknisk i stand til at gengive de lave frekvenser, men ikke med det fornødne lydtryk og dermed manglende dynamiske egenskaber ved disse frekvenser.

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: 41 Hz eller fra et orgel: typisk 32 Hz, men store orgler kan dog gå ned til under 15 Hz.

Bruges subwooferen sammen med film, f.eks. i et surround system, kan endnu dybere frekvenser dog 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 højttalerkabinettet i uønskede svingninger, hvilket alt sammen bidrager med en hørbar forvrængning af lyden.

Krav til enhederne.

Når man har fastsat kravet til subwoofers nedre grænsefrekvens og det maksimale lydtryk, kan man beregne, hvor meget luft der skal flyttes og dermed hvor store udsving enhedens membran skal udføre, - afhængigt af membranarealet.

Med til at opfylde dette krav skal medregnes rummets bidrag til subwoofers arbejdsområde, idet der reelt er tale om et hjørne med 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 placeringssted relateret til vægflader. Niveaueet er stigende med faldende frekvens og kan eksempelvis yderligere bidrage med op til 12 dB ved de helt lave frekvenser.



Enheder til subwooferbrug bør være "Long Throw", d.v.s. med lang membran vandring.

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

Subwooferen i lytterum, 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 måske 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 enheder og dermed store kabinetter og i stedet koncentrere sig om brugen af f.eks. to 8" enheder, hvis membranareal svarer til en 12". Det skal dog understreges at disse enheder skal opfylde nogle specifikke krav med hensyn til parametre, lang membranvandring (long throw), stor belastningsevne.

Enheder på 8" gør sig godt i båndpasssystemer og bruger man to enheder i en push-pull konstellation kan kabinetvolumen næsten halveres, hvilket gør den særdeles, møbleringsvenlig.

Et båndpasssystem bestykket med to 8" (long throw) enheder 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):

Store lydtryk ! er behovet, - 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" enheder, - 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 ofte skal være mobile, ville det ikke være hensigtsmæssigt.

I stedet benyttes løsninger med et eller flere kabinetter, - ofte basrefleks bestykket med to eller fire enheder 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 .

Ën eller to subwoofere ?

Subwooferen er højtaltersystemets største fysiske enhed og på lige fod 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 subjektivt. Er møbleringen vigtigst, vælges én subwoofer, er lyd gengivelse vigtigst, vælges to subwoofere, hvis lyd mæssige sammenhæng 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 enhed medvirker til en god dæmpningsfaktor og reducerer effekttab.

Reguleringsmuligheder (delefrekvens, styrke samt fase) muliggør mere præcise justeringer af sammenfald med satellithøjtalere.

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.



Roomadaption

En digitalt signal processor (DSP) kan være løsningen på mange akustiske problemer i boligens lytterum, hvor rumresonanser kan være næsten

umulige at dæmpe ved forsøg med placeringer eller forskellige absorbere.

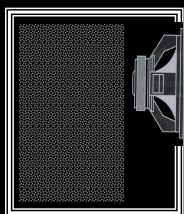
DSP er en lille computer, der med den medfølgende målemikrofon kan analysere akustikken i lytteområdet og herefter korrigere for evt. resonanser.



Kabinetsystemer

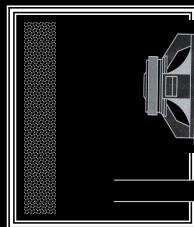
At vælge kabinetsystem er en individuel beslutning baseret på hvilke egenskaber de forskellige systemer har. Man kan således ikke sige hvilket system der er bedst egnet til subwooferbrug.

Trykkammersystem



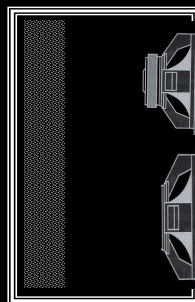
- +
 - Bedste impulsrespons
 - Mindre kritisk afstemning med enhed.
 - Den indespærrede luftfjeder styrer enheden i helfrekvensområdet.
 - Jævn "roll off" kurve velegnet til equalizing med DSP.
- ÷
 - "roll off" starter højere i basområdet, men gengiver ofte lavere frekvenser end f.eks. basrefleksystemet.

Basrefleks



- +
 - Større output af lave frekvenser (ned til portens afstemning) end trykkammersystemet.
 - Relativ god dybbas i små kabinetter.
 - Porten fritager enheden for gengivelse af de nederste oktaver, hvilket kan reducere forvrængning.
- ÷
 - Kritisk afstemning med enhed.
 - Stejl "roll off" levner ingen output under portens afstemning.
 - Port kan skabe vindstøj
 - Den indespærrede luftfjeder styrer kun enheden ned til portens afstemning. Mellemfrekvenser kan ofte høres gennem porten.

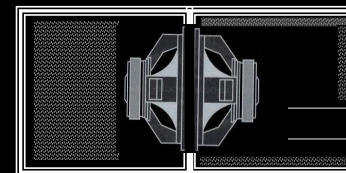
Slavesystem



Samme funktion som basrefleks.

- +
 - Større output af lave frekvenser (ned til slavens afstemning) end trykkammersystemet.
 - Relativ god dybbas i små kabinetter.
 - Ingen vindstøj (som fra port i basrefleks).
- ÷
 - Kritisk afstemning med enhed / slave / kabinet.
 - "roll off" levner svagt output under slavens afstemning.

Båndpas



Sammensat trykkamer- og basrefleks-systemer med udnyttelse af begge fordele.

- +
 - Hurtig og præcis impulsrespons og god dybbas.
 - Akustisk filtrering i port.
 - Kompakt system med to enheder i push-pull konfiguration, der samtidig udbalancerer evt. forskelle mellem enhederne.
- ÷
 - Kompliceret konstruktion og afstemning.
 - Port kan afstedkomme vindstøj.

Alle kabinetsystemerne findes i [3. Del, Dias nr. 63 kabinetkonstruktioner](#), med beregninger og simuleringer.

Forstærkere

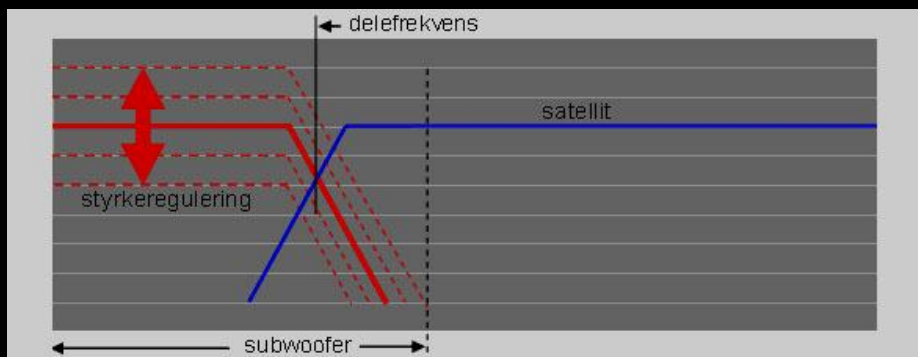
Traditionelle forstærkere, hvis udgangstrin er af typen klasse A/B .

Denne type forstærkere har typisk en effektivitet af den tilførte energi på ca. 30 – 40 %, resten omsættes til varme.

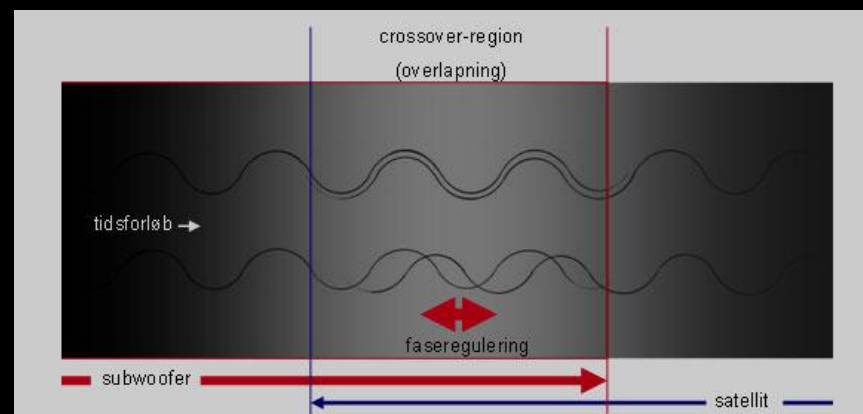
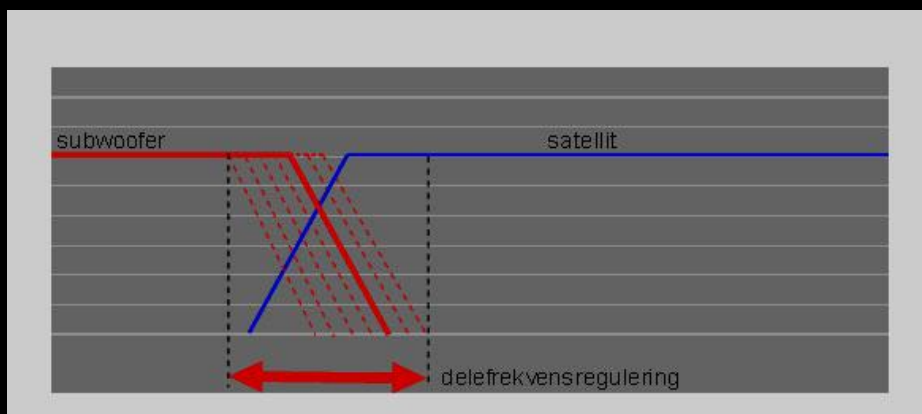
Det er vigtigt, at forstærkerens køleplade placeres på højttalerkabinetets yderside.

Klasse D-forstærkere er efterhånden de mest anvendte og kvaliteten er god.

Fordelene er indlysende: Lav varmeudvikling, lavt energiforbrug, høj udgangseffekt og kan placeres indbygget skjult i højttalerkabinetter.



Earthquake klasse D forstærker
320 Watt RMS

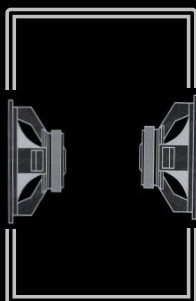


Antivibrationssystem

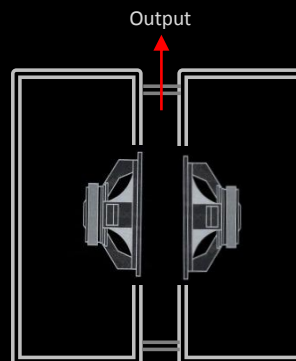
System med op til 90% eliminering af vibrationer og egenlyd i højttalerkabinetter.

Systemet fungerer med to ens bashøjttalere i en boxerkonfiguration, hvor de to membraner bevæger samtidig sig enten mod hinanden eller fra hinanden.

Systemet giver tillige en sidegevinst i form af en hurtig og præcis impulsrespons, især i trykkammersystemer. Skemaet nederst viser en sammenligning mellem brug af to 8" enheder og én 12 enhed. Membranarealerne er næsten identiske, mens 8" enhedens membranvægt og dens samlede kraftfaktor er væsentlig bedre end 12" enheden.



Traditionel trykkammersystem med boxersystem.



To identiske og forbundne trykkammersystemer med boxersystem i en **slot loaded**-konfiguration.

Kabitterne beregnes i LAB3 programmet.

Dimensionering af slot`en kan kun findes ved forsøg.

	antal drivere	membranareal	membranvægt	kraftfaktor BL	magnet
VIFA 8" M21WO-39-08	2 stk.	470 cm ²	46 gram	16,40 Tm	ferrit
Peerless 12" XXLS-P835017	1 stk.	483 cm ²	131,4 gram	10.58 Tm	ferrit

Måling

Kan man bygge højttalere udelukkende baseret på lytning ?
...eller kan man bygge højttalere udelukkende baseret på computersimuleringer og målinger ?

Nej, - det ene udelukker ikke det andet !

Ergo bygning af højttalere er en kombination af beregninger, målinger og lytning.
Man kommer således ikke udenom et indkig i måleriets verden, selv her på begynderstadiet, men man må gå lidt på listepoter i starten, når det handler om alle måleteknikkens krinkelkroge.
Erfaringen fortæller, at det for nogen kan virke temmelig overvældende med så megen drilsk teknik og ikke mindst udsigten til investering i en eller anden form for måleudstyr, der dog efterhånden beløber sig til relative små omkostninger.

Man kan dog starte forsigtigt, uden de helt store investeringer.
Enkelte måleområder som en højttalers eller et lytterummets frekvensrespons kan udføres ved hjælp af gratis eller billigt software downloaded på din computer - samt en målemikrofon man evt. selv kan lave.
Basenheder uden Thiele / Small data kan måles og beregnes.
Man kan således opnå rimelige resultater med målerummets akustik som en vigtig medspiller, dog med en vis margen til det perfekte og samtidig opleve måleteknikkens virke og funktion.

Husk at målinger af højttalere også er målinger af rummet. Det må derfor understreges, at måling af en højttalers frekvensrespons stiller krav til målerummets akustiske konditioner og jo nærmere disse konditioner kommer et lyddødt (anechoic) rum, des mere præcise målinger.

Husk at måling kun er et stykke værktøj, der kan benyttes som et stormasket analysesystem af et lydbillede, hvorimod den menneskelige hørelse har et langt mere finmasket analysesystem og derfor er i stand til at opfatte fine nuancer og detaljer, som stort set er umålelige. Ergo måling vil sandsynligvis aldrig helt kunne erstatte et "veltrænet øre" i udviklingsprocessen.

Det "at måle" kan gå hen at blive nærmest en religion og i ekstreme tilfælde udvikle sig til en form for fanatisme, hvor teknikken overskygger alt andet. Her må der prioriteres ! - Bygger man højttalere, hvor målingen er det vigtigste eller bygger man højttalere, hvor ørets vurdering er det vigtigste ?

Find balancen !



Måling anno 1973 med Brüel & Kjær 1/3 oktav, pink noise.

Med gratis programmer, der findes på [Dias nr. 160, downloads](#), kan man ved hjælp af computeren foretage alle beregninger, simuleringer og målinger til højttalerbyg.

Måleområder

Frekvensrespons : Nærfeltsmåling - Fjernfeltsmåling - Gulvniveaumåling - Spredningsfelt måling

Impulsrespons

Steprespons

Fase

Spectrum analyzer (FFT)

Real Time Analyzer

Thiele / Small

Induktion

Kapacitet

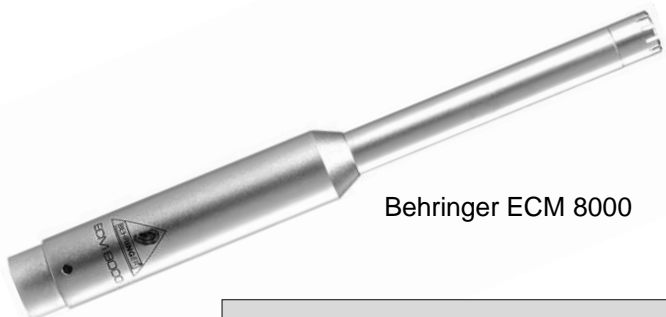
Modstand

Induktion

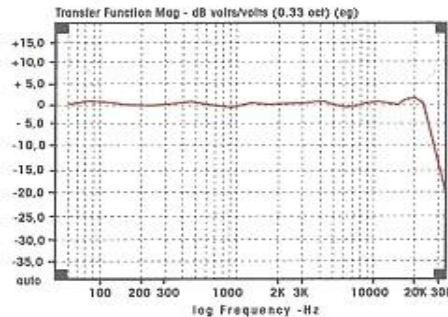
Impedans

Korrektionskredsløb: Dæmpningsled - Sugekredse (Notch filtre) - Impedanskorrektion (Zobel)

Time Window kalkulator



Behringer ECM 8000



Behringer ECM 8000 (målemikrofon)

Polaritet: Omnidirektional (kugle)

Impedance: 600 Ω

Følsomhed: -60 dB

Frekvens respons: 15 – 20.000 Hz

Phantom Power: 15 – 48 Volt



Mic Mate

Mic Mate (A/D converter)

- Supplies 48V phantom power
- Studio-quality microphone preamp
- 1/8-inch Stereo headphone jack
- Fully balanced low-noise analog front-end
- 44.1kHz and 48.0kHz/16-bit
- USB Powered
- Less than 6 inches long
- USB 1.1 and 2.0 Compatible

Monacor kabler og stativ



MEC-190

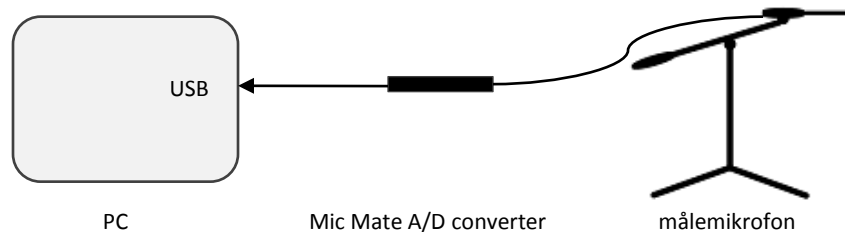


USB-203AB



MS-20

Måleopstilling



Målemikrofoner i økonomiklassen

De viste målemikrofoner her på siden er såkaldte "begyndermikrofoner". Den væsentligste forskelle til professionelle målemikrofoner kan findes i frekvensliniariten, der har større afvigelser ligesom lydtryksbelastningsevenen er noget mindre.



Monacor ECM 201

System: Electret, omnidirectional (kugle)
 Frekvensområde: 20 – 20.000 Hz
 Følsomhed: 1,3 mV / Pa / 1 KHz
 Impedans: 1,5 Kohm
 Max. SPL: 100 dB
 Strømforsyning: 1,5 – 4,5 Volt DC

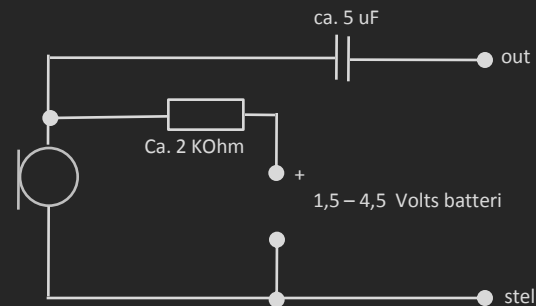


Kabel MEC-635



Monacor EMA-20

Electret mikrofoner er velegnede som målemikrofoner til særdeles gunstige priser. Eksempelvis kan den viste ECM 201 anskaffes til ca. kr. 50,- plus strømforsyning EMA-20 til ca. kr. 165,- Eller byg din egen strømforsyning med et batteri og et par komponenter. Se nedenstående diagram.

**Rart at vide om begyndermålemikrofoner:**

Retningskarakteristikken skal være kugleformet (omnidirectional)
 Frekvensområdet min. 20 – 20.000 Hz - < -3dB
 Lydtryksbelastningsevnen bør være >100 dB

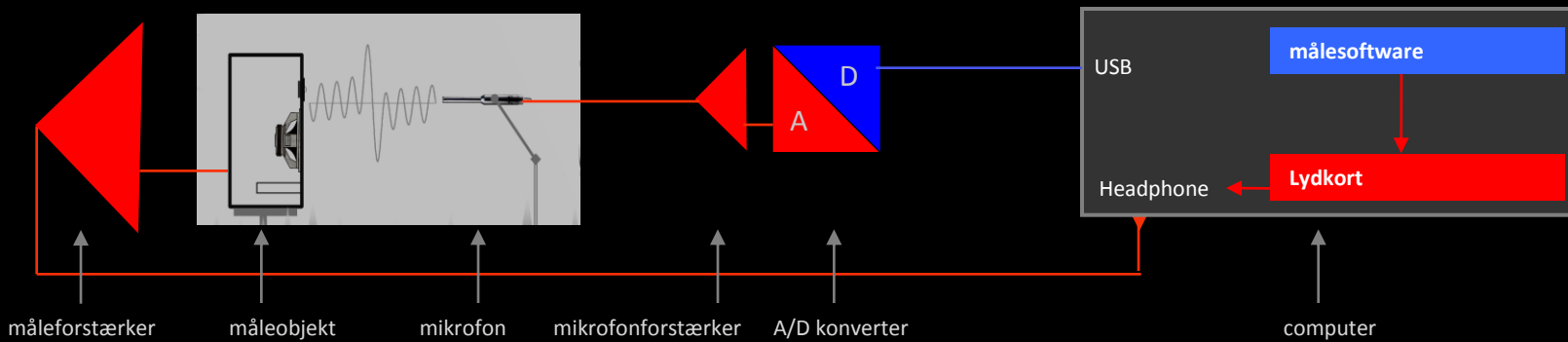
Byg din egen målemikrofon for ca. kr. 30,-

Materialer:
 Electret mikrofonkapsel (omnidirectional / 20 – 20.000 Hz)
 Aluminiums rør Længde: ca. 10 - 20 cm, indv. Ca. Ø 6 - 8 mm
 Strømforsyning (se diagram)
 Mikrofonkabel og stik
 Bygningssilicone

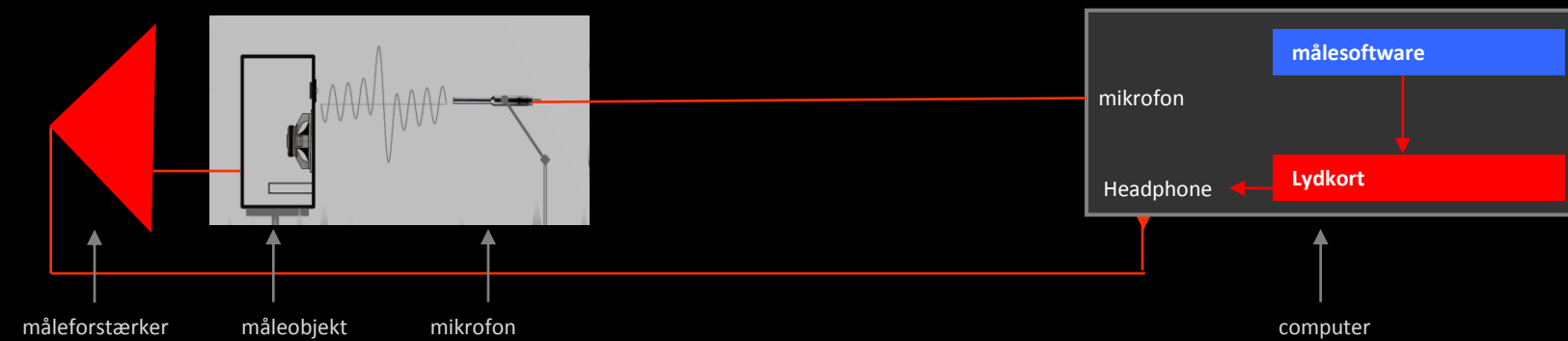


Måleopstillinger

Måleopstilling med kvalitets målemikrofon og ekstern AD-converter.



Måleopstilling med en standard elektret mikrofon, der tilsluttes direkte til computerens lydkort via dens mikrofonindgang .



Måleforstærker



Mono effektforstærker AKB-60

Udgangseffekt : 45 Watt RMS / 4 Ω
30 Watt RMS / 8 Ω

Frekvensområde : 15 – 50.000 Hz

Forvrængning : < 0,01 %

Signal / støj : > 80 dB

Indgangsimpedans : 20 K Ω bal.

Indgangsfølsomhed : 0,4 Volt

Volumenkontrol

Sikring mod kortslutning og overopvarmning.

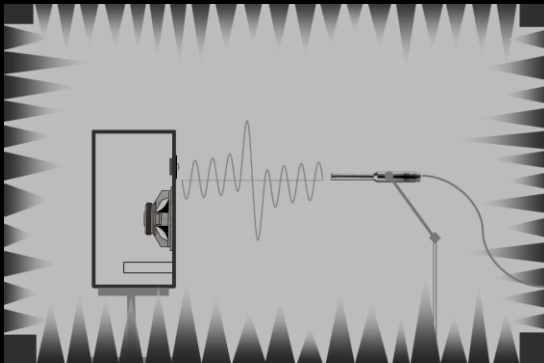
Mål : 212 x 144 x 52 mm

Måleprogram : HOLM Impulse

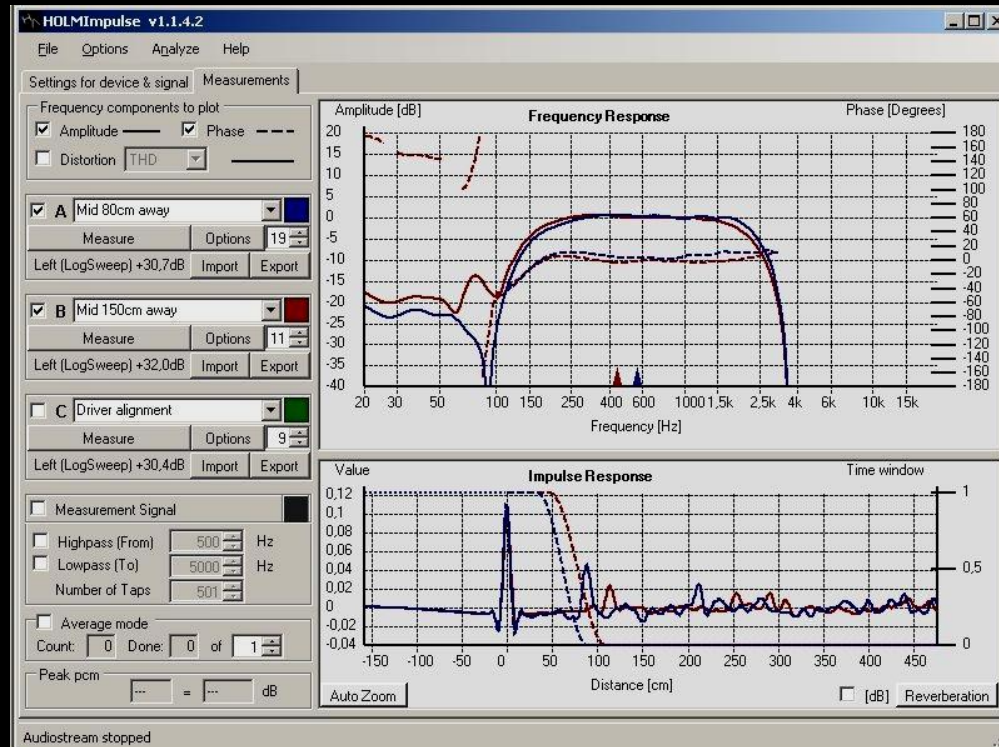
(Windows XP, Vista og Windows 7)

Fremragende professionelt måleprogram, - let at bruge, gratis download, - kan varmt anbefales.

Måling af frekvens- og impulsrespons
 Måling af harmonisk forvrængning (THD)
 Dynamisk / automatisk justering af Time Window (Gating)
 Cross-Correlation teknik ved log. sine sweep, chirp eller MLS
 Sammenlignelige målinger (op til 50 med tre viste af gangen)
 Åbne, gemme, importere og eksportere i alle formater



Anvendelse af Lyddødt rum (anechoic chamber) optimerer måleresultater.



Download program : <http://www.holmacoustics.com/holmimpulse.php>

MLS (Maximum Length Sequence)

Grundlæggende teori:

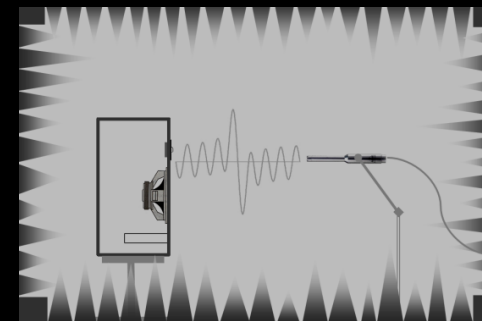
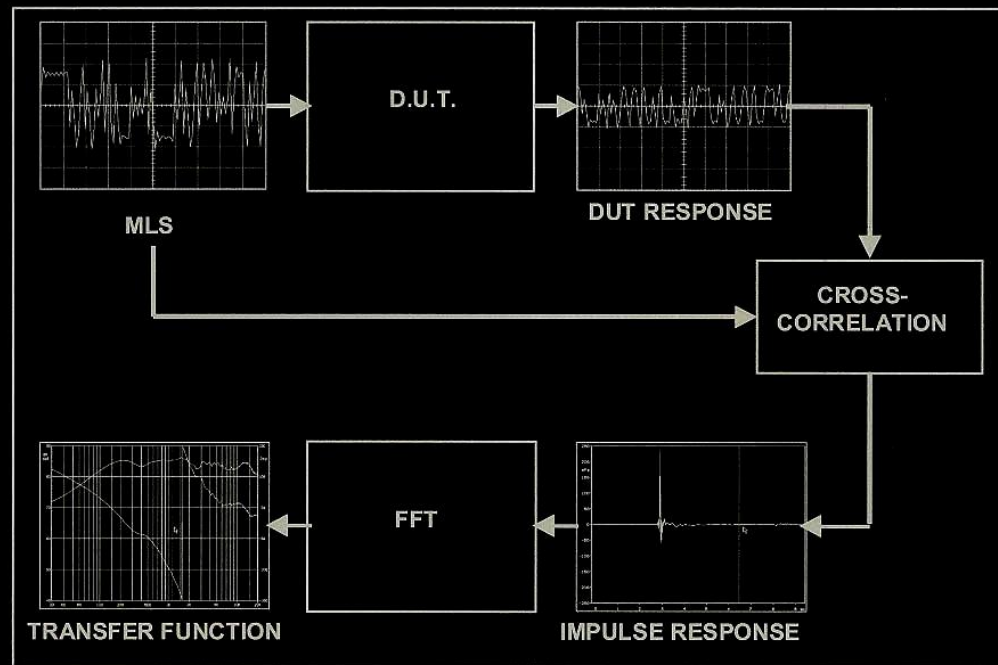
MLS målinger anvendes nu til dags som standard inden for mange fagområder, hvor et af disse områder er akustik.

Anvendelse af MLS teknikken muliggør udførelse af quasi-anechoic (næsten lyddødt rum) målinger af højttalere uden at placere dem i sådan et rum.

Impulsresponsen vises i et timewindow beregnet til analyser i almindelige lytterum, hvorved refleksioner fra vægge, gulv og loft undgås.

MLS signalet kan anvendes til måling af hvilket som helst LTI system (lineær tidskonstant). Systemets impulsrespons opnås ved computerberegning af cross-correlation (sammenligning) mellem input-signaler og output-signaler.

For LTI systemer kan impulsresponsen transformeres med FFT og vises i et frekvensdomæne (Transfer function).



Anvendelse af Lyddødt rum (anechoic chamber) optimerer måleresultater og Timewindow kan udelades,

FFT (Fast Fourier Transformation)

(navngivet efter Fourier, - fransk matematiker og fysiker).

Almindeligvis opfattes et lydsignal i et tidsdomæne, som henholdsvis amplitude og tid, men kan tillige karakteriseres ved dets frekvens. Når et signal skal analyseres kan det derfor være nyttigt at kende den frekvens, der udgør signalet. Denne viden får vi fra at arbejde med signaler i tidsdomænet over til at arbejde med signaler i frekvensdomænet - og det er netop hvad Fourier transformation gør.

FFT kan således anvendes til transformation af målinger foretaget med Spectrum Analyzer eller MLS.



Fourier (1768-18)

Måleprogram : Loudspeaker LAB 3

LAB 3 programmet er et lidt ældre program udviklet af svenskeren Johnny Grenander. De fleste af programmets funktioner er let anvendelige for begynderen. Programmet er en demo udgave, så enkelte funktioner er ikke medtaget, men det rækker til brug for begynderen, og er let at anvende.

Programmet indeholder: Kabinet beregning, filter beregning samt flere andre måleområder.

I målesektionen nøjes vi med at anvende programmets **Thiele / Small kalkulation samt måling af induktion, kapacitet, modstand og impedans samt kalkulering af Time Window.**

Med programmet installeret kan målinger foretages med en D/A konverter tilsluttet til USB porten samt en simpel måle- og kalibreringsboks.



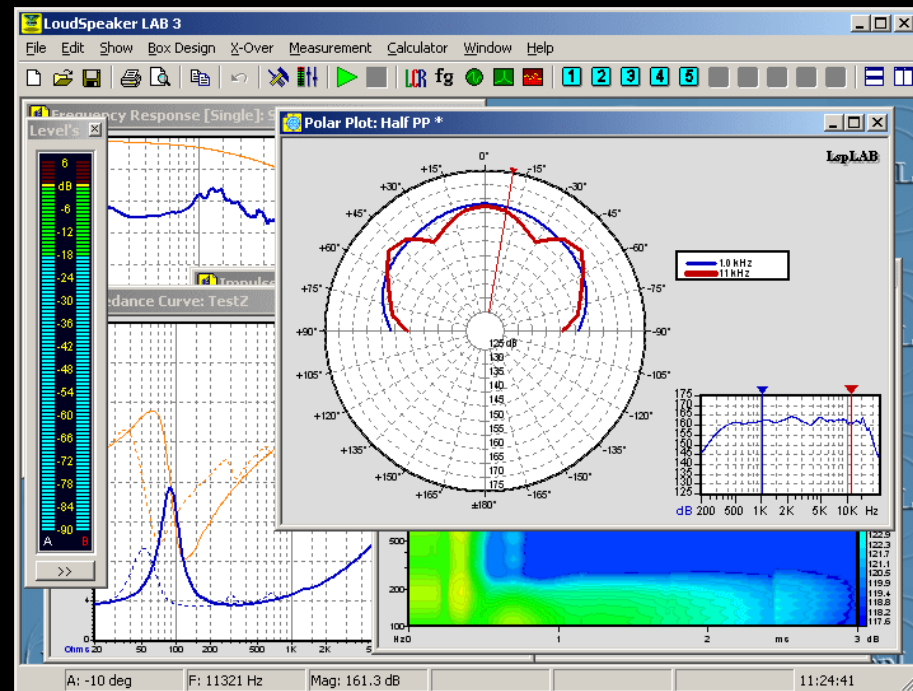
A/D konverter

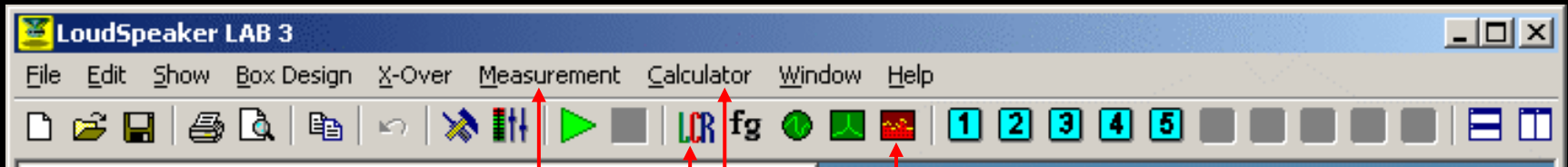
I programmet findes tillige:

- Funktionsgenerator
- Oscilloscop
- Spectrum analyzer
- RTA (Real Time analyzer)

Programmets sektion for MLS målinger er ikke medtaget her i artiklen, i stedet anvendes Holm Impuls.

Download program : <http://www.lsp-lab.com>





Real Time Analyzer

Beregning af Thiele / Small parametre
Beregning af Time Window

Måling af induktion (spoler)
Måling af kapacitet (kondensatorer)
Måling af modstande

Instruments
Settings
Levels

6. Del - Måling

Måling af frekvensrespons med Real Time Analyzer og Pink Noise vises på skærmen som søjler, der valgfrit kan indstilles til en opløsning fra 1 til 1/48 oktav. Anvendes bl.a. til måling af frekvensforløb i lytterum

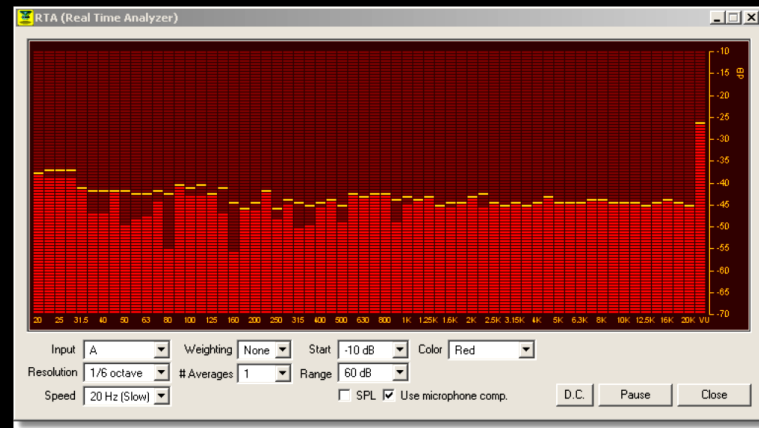
Hvad er Pink Noise ?

Talen om Pink Noise kædes ofte sammen med White Noise, hvilket ikke er så underligt, idet begge signaltyper indeholder samtlige frekvenser i et kontinuerligt tidsforløb og et givet frekvensområde typisk 20-20.000 Hz, elektrisk frembragt af en tonegenerator. (Signalet høres som sus). Forskellen på de to signaltyper skal findes i fordelingen af energimængden.

White Noise har konstant energimængde pr. Hz, - eksempelvis er der lige stor energimængde mellem 20 Hz og 21 Hz som mellem 2000 Hz og 2001 Hz. Frekvenskurven for White Noise er lineær.

Oktavinddeler man frekvensområdet 20 – 20.000 Hz (én oktav er pr. definition en fordobling af frekvensen) -- vil man se følgende opdeling i frekvensbånd anført i Hz med de modsvarende *energienheder* pr. oktav anført i parentes.

oktav : 20 – 40 Hz (20)
oktav : 40 – 80 Hz (40)
oktav : 80 – 160 Hz (80)
oktav : 160 – 320 Hz (160)
oktav : 320 – 640 Hz (320)
oktav : 640 – 1280 Hz (640)
oktav : 1280 – 2560 Hz (1280)
oktav : 2560 – 5120 Hz (2560)
oktav : 5120 – 10240 Hz (5120)
oktav : 10240 – 20480 Hz (10240)



Idet man i Real Time Analyzere (RTA) anvender oktavinddelte måleintervaller, vil behovet for en fuldstændig ensartet energifordeling af målesignalet pr. oktav opstå. Med White Noise som udgangspunkt ses en stor ubalance i energi-fordelingen jf. skema. Ved at sænke energimængden med 3 dB pr. oktav ved stigende frekvens opnås præcis den samme energifordeling i alle oktaver, metoden betegnes Pink Noise.

Frekvenskurven for Pink Noise er faldende med stigende frekvens.

Måleprogrammer fra

Arta

ARTA Spectrum Analyzer (SPA)

Programmet kan bl.a. fastfryse et "lydbillede", f.eks. en tone slået an på en kontrabas. Læg mærke til grundtonen på 41 Hz og de tilhørende overtoner.

Programmet er således velegnet til analyser af forskellige musikinstrumenter.

ARTA Real Time Analyzer FR 2

Programmet kan måle og vise et øjebliksbillede (Real Time), f.eks. af et lytterums frekvenskarakteristik.

Herved kan korrektioner af akustikken aflæses øjeblikkelig.

Se Dias nr. 143

STEP

Måling af steprespons er en vigtig måling, der simulerer dynamisk frekvensrespons svarende til musiksignaler.

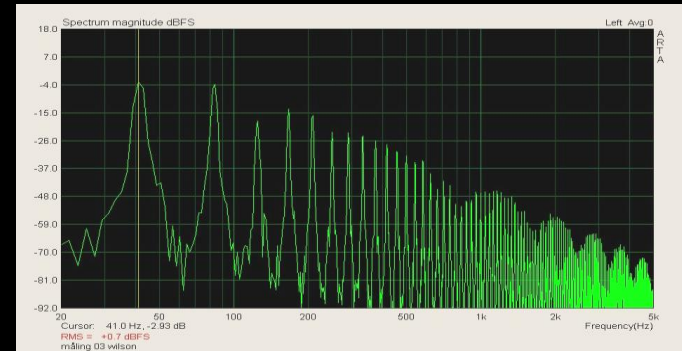
LIMP

Måling af impedans og Thiele / Small parametre

Vejledninger findes i programmernes "help"

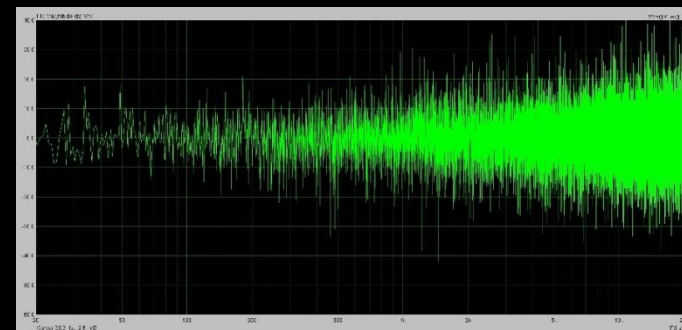
Download program : <http://www.fesb.hr/~mateljan/arta/>

SPA måling



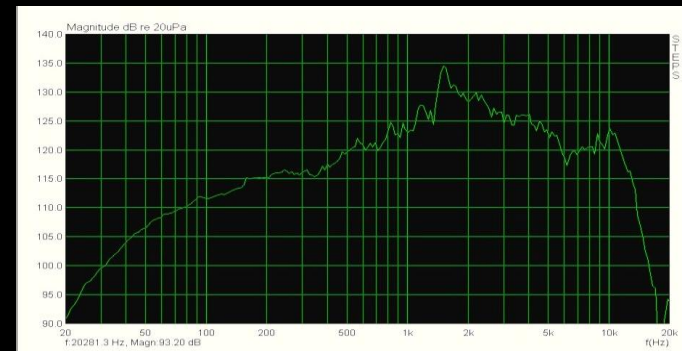
Kontrabas med 41 Hz grundtone og overtoner.

RTA måling



Frekvens respons i lytterum med Pink Noise

Step måling



Nærfelt VIFA 5" bas.

Fjernfelt måling

(Far Field)

Her begynder det at blive lidt mere kompliceret, idet rummet som tidligere nævnt påvirker målingerne i mere eller mindre grad, - især ved lave frekvenser.

Udgangspunktet for fjernfeltmålinger kan være en Time-Window beregning, der ses på nedenstående planche.

Formålet med denne beregning er at kende den ønskede målings startfrekvens, idet måling af frekvenser herunder adderes med refleksioner fra gulv og vægflader og således giver et mindre præcist resultat.

Med **Holm Impuls / Log.sine sweep** målemetode kan målinger foretages med rimelige resultater uden hensyn til "Gating".

Time Window (Gating)

Beregning i LAB 3

klik på "Calculator"

D 1 : mikrofonaftand (m) - indsættes

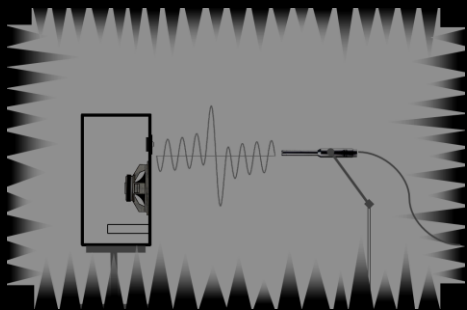
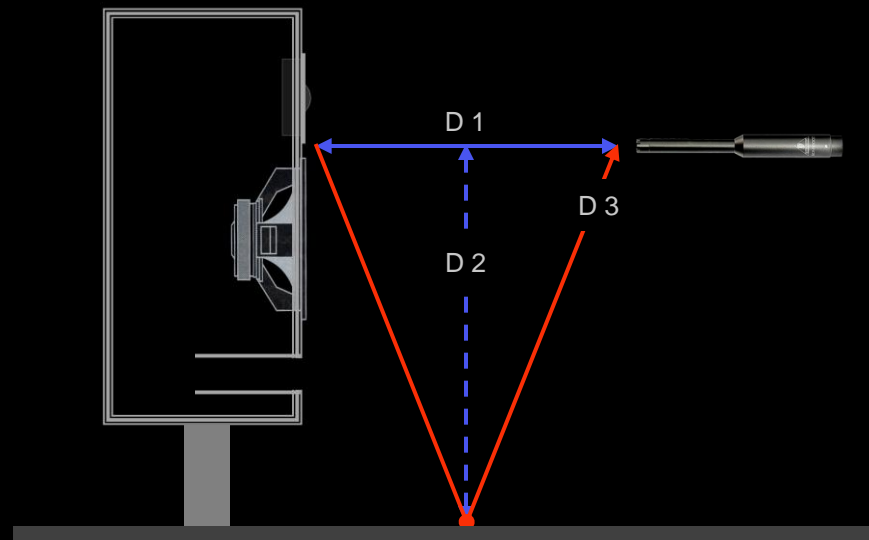
D 2 : refleksionsafstand (m) - indsættes

D 3 : total refleksionsafstand (m) - kalkuleres

Time-Window (ms) - kalkuleres

Måle- startfrekvens (Hz) - kalkuleres

Jo længere refleksionsafstand (D 2), des lavere måle-startfrekvens.

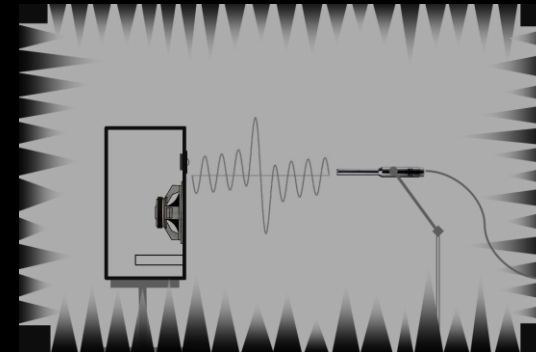
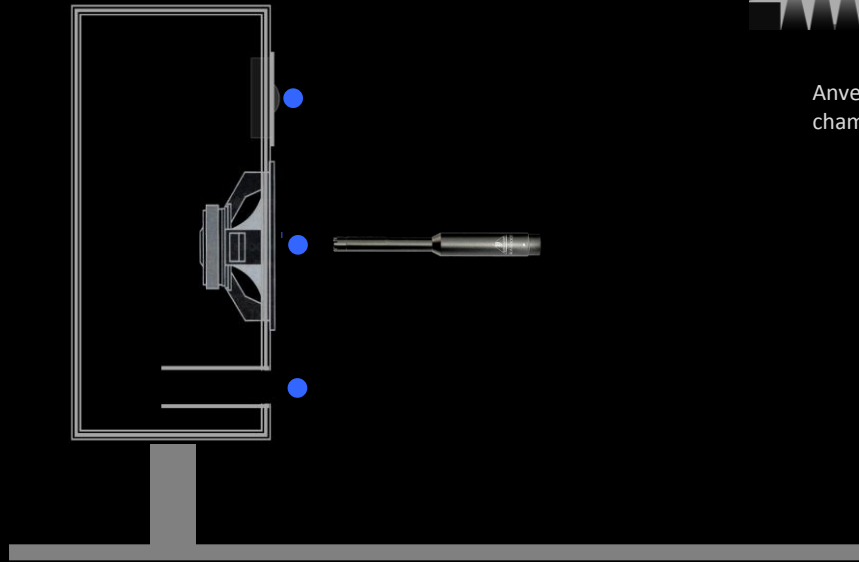


Anvendelse af Lyddødt rum (anechoic chamber) Optimerer måleresultater.

Nærfelt måling

(Near Field)

Målemikrofon placeres ca. 10 cm fra måleobjekt, f.eks. bashøjtaler, diskantøjtaler eller portmunding. Fordelene ved nærfeltsmålinger er, at rummet ikke påvirker måleresultatet. Måleresultaterne anvendes til separat vurdering af de enkelte enheders frekvensforløb, resonanser, membranopbrud og roll-off ved defrekvenser som følge af f.eks. filterfunktion samt refleksportens afstemningsfrekvens og output.



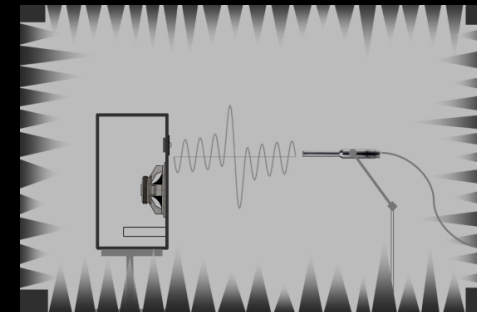
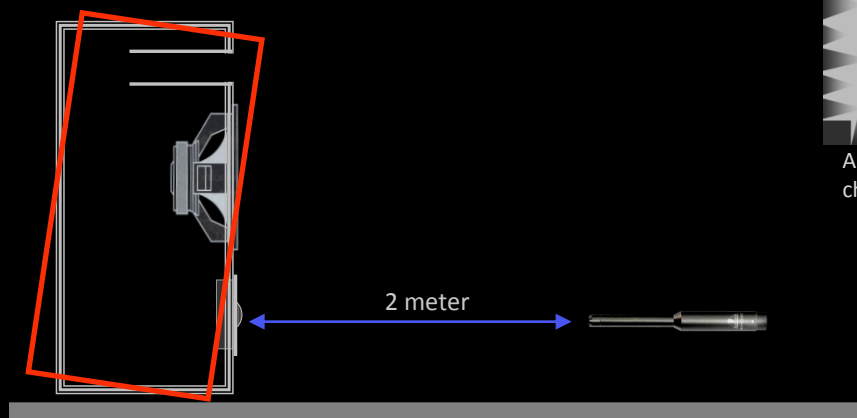
Anvendelse af Lyddødt rum (anechoic chamber) Optimerer måleresultater.

Gulvniveau måling

(Ground plane)

Måling af en højttaler placeret på gulvniveau kan stort set sammenlignes med måling i et lydødt rum (anechoic chamber), men idet målemikrofonen opfanger både det direkte og det reflekterede signal fra gulvet er lydtrykket øget med 6 dB. For at kompensere for denne lydtryksforøgelse placeres målemikrofon i en afstand på 2 meter, således at niveauet svarer til det lydøde rums målinger.

Ved måling af flervejssystemer skal diskant højttaleren vende ned mod gulvet og højttaleren tiltes forover således at diskant højttaleren fokuseres af mikrofonen.

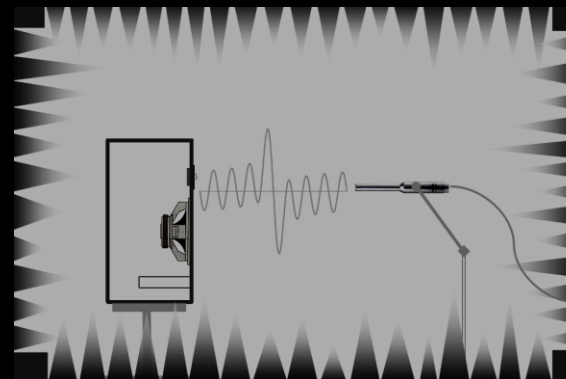
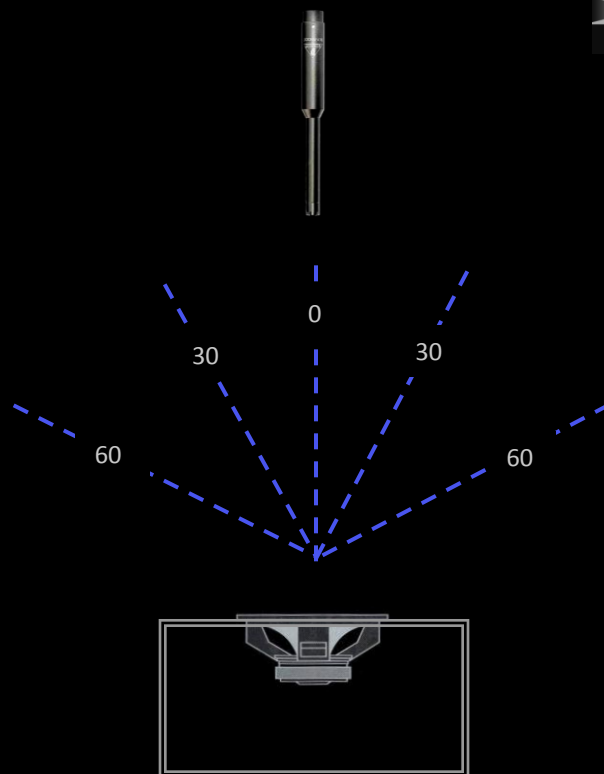


Anvendelse af Lydødt rum (anechoic chamber) Optimerer måleresultater.

Spredningsfelt måling

(Polar-plot)

Samme måleopstilling af frekvensrespons som i fjernfeltmålinger, men måling i valgte spredningsvinkler f.eks. 30 og 60 grader.



Anvendelse af Lyddødt rum (anechoic chamber) Optimerer måleresultater.

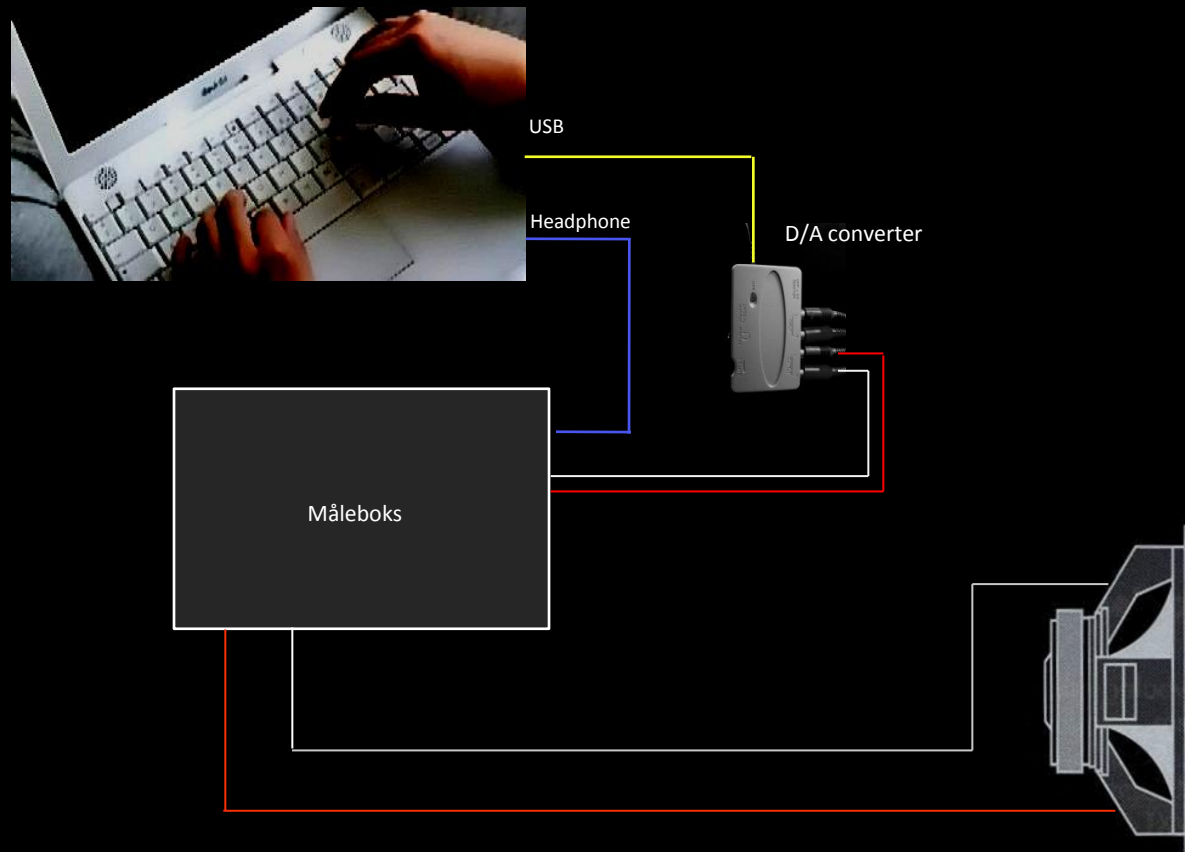
Udendørs måling

Måleopstilling fri for reflekterende flader kan anvendes både til frifelts- og nærfeltsmålinger.

Målekonditionerne svarer til et lyddødt rum (anechoic chamber)

Udendørsmålinger er dog betingede af et "støjfri" miljø.

Måling og Kalkulation af Thiele / Small parametre efter Delta Mass metoden med LAB 3

**Hardware opsætning**

Computer med USB tilslutning og programmet LAB 3 installeret.

Interface D/A converter med USB tilslutning.

Måleboks (se diagram Dias nr. 152) med kalibreringskredsløb.

Måling og Kalkulation af Thiele / Small parametre efter Delta n Mass metoden med LAB 3

Software opsætning

Åben programmet LAB 3 - klik på Measurement - klik på settings

- 1) Opsætning af Hardware
- 2) Opsætning af Generator
- 3) Opsætning af Analyser
- 4) Opsætning af T/S Parameters

Principbeskrivelse

Tilvejebringelse af Thiele / Small parametre er en relativ enkel proces, der efter opsætning af hardware og software, starter med tilvejebringelse af to impedanser efter Delta Mass metoden.

Når de to impedanser er indikeret, åbner LAB 3 programmet herefter automatisk kalkulationsvinduet til T/S parametrene.

Tilbehør

Kabel med RCA stik.

Kabel med minijack / RCA stik

To prøveledninger med krokodillenæb.

D/A converter (Behringer UCA 202)

Måleboks

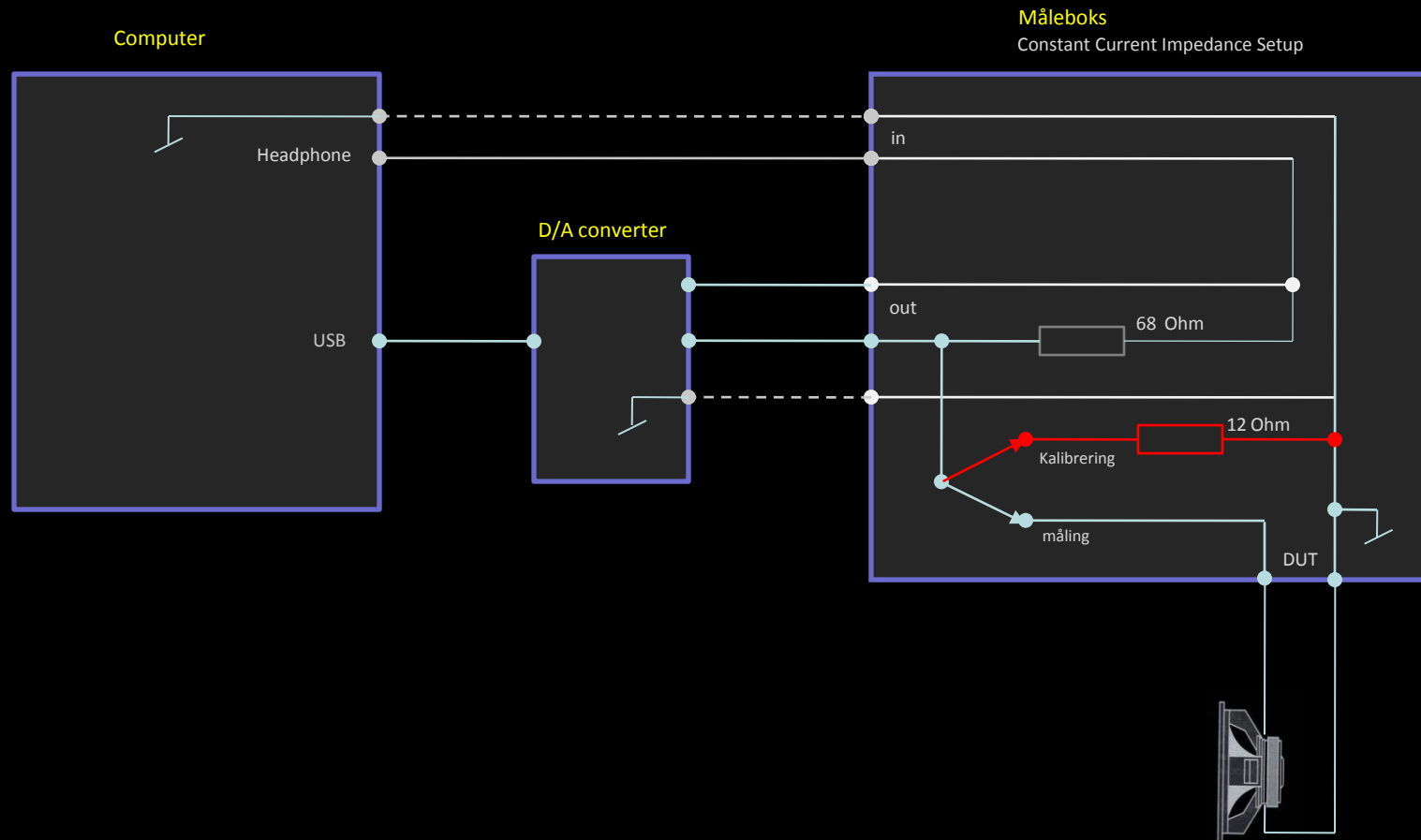


Behringer D/A converter UCA 202

Deltavægte 5 - 60 gram

10 g

Måling og Kalkulation af Thiele / Small parametre med Delta Mass metoden med LAB 3



1

Settings Hardware

Soundcard

In Device: USB Audio
 Out Device : Lydkort (headphone out)
 Sample rate: 96.000 Hz - Bits: 32 - Ch: 2:2
 Input: Non

External hardware

Meas. Box: Version 1
 Z method: Constant Current

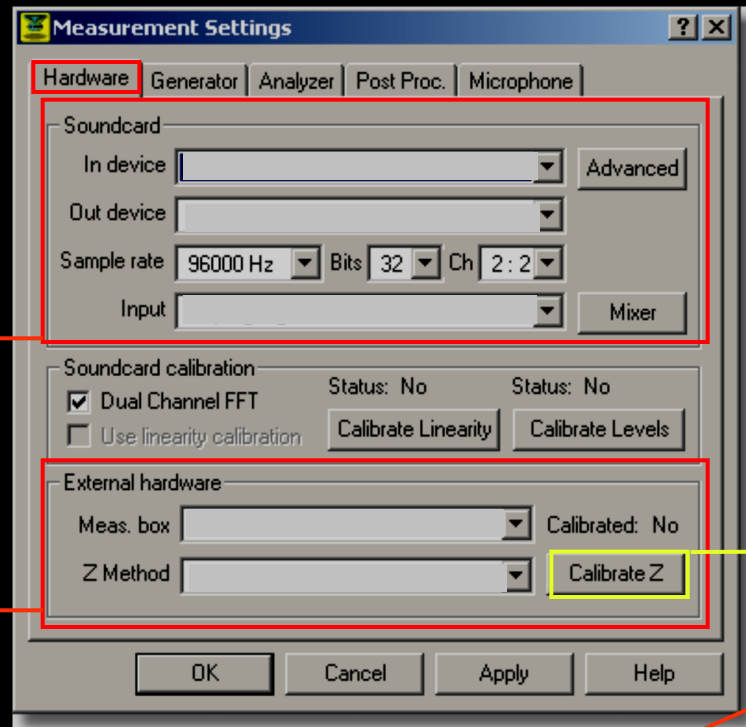
Klik Calibrate Z

Levels

Obs ! Forsøg med niveauer på
 Master Out og Wave kan vise sig nødvendige.

Presets: Prik i Z

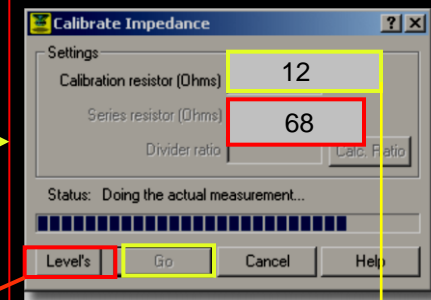
Obs! PC- lyddel skal være "on"



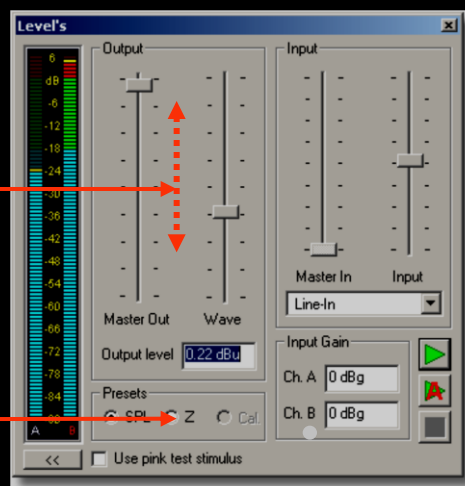
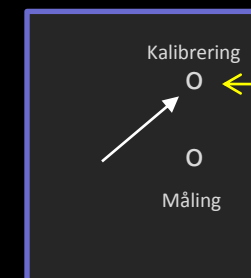
Calibrate Impedance

Calibrate Resistor (Ohms): 12
 Serie Resistor (Ohms): 68
 Begge modstandsværdier skal
 modsvarer måleboksen.

Klik Go



Indstil måleboks



2

Settings Generator

Stimulus Settings

Stimulus: Log Sine Sweep

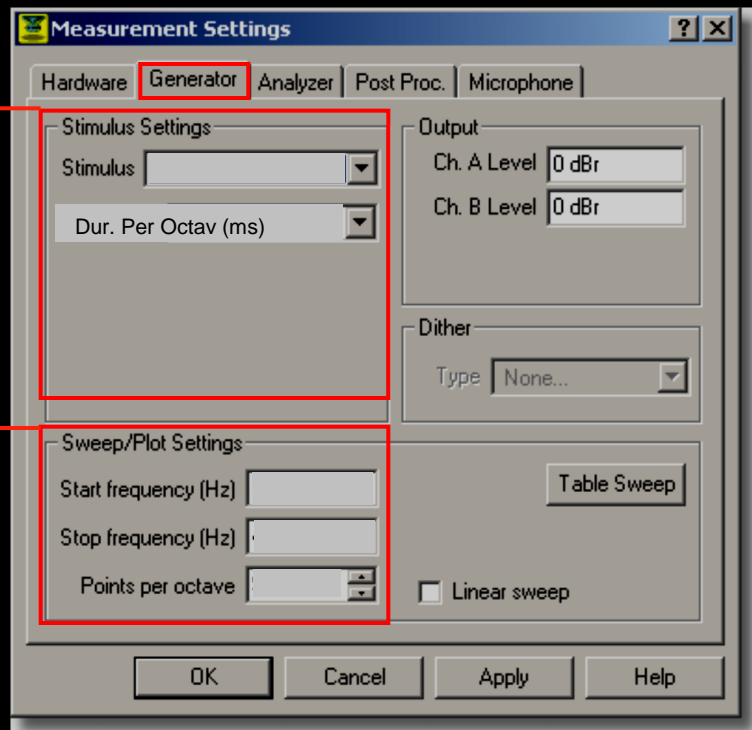
Dur. per Octav (ms): 100

Sweep / Plot Settings

Start frequency (Hz): 10

Stop frequency (HZ): 20.000

Points per Octav: 96



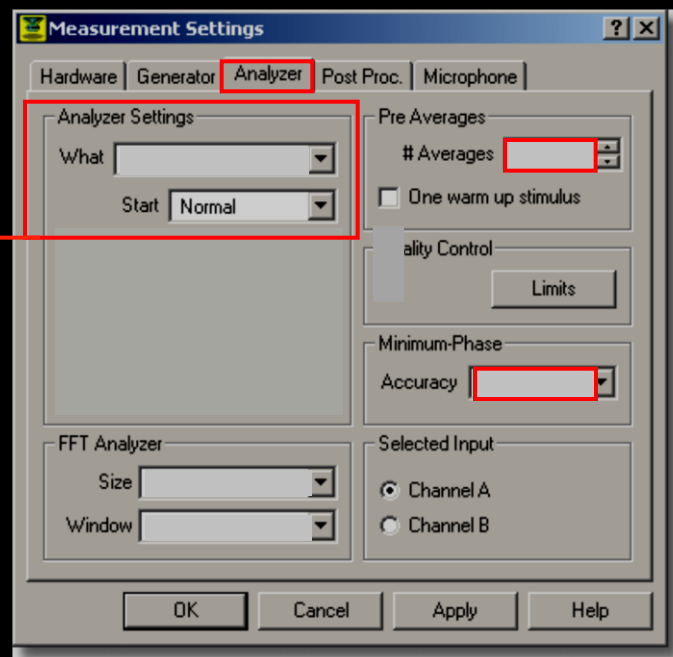
3

Settings Analyzer

What: T / S Delta mass

Averages: 1

Accuracy: Medium



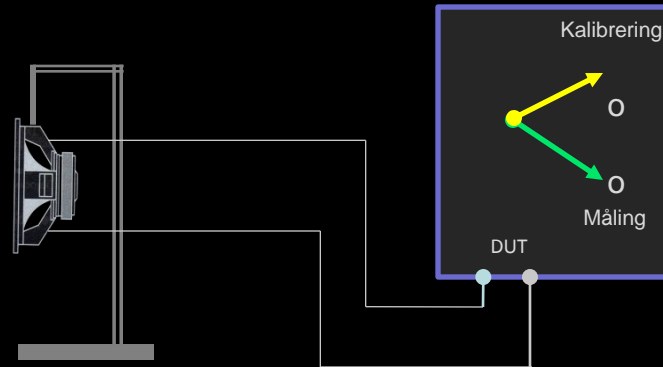
Måleprocedure

Højtaleren anbringes i refleksionsfrie omgivelser, lodret i et stativ så påvirkning af membranen fra tyngdekraften afbalanceres ligeligt mellem forside og bagside.

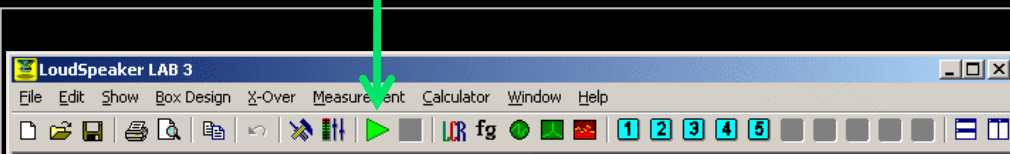
Højtaleren tilsluttes til måleboksen (DUT).

Måleboksens funktionsomskifter sættes på måling.

Målingen har til opgave at frembringe to impedanser, der anvendes til beregningen af T/S. (Se næste side)



Klik start måling

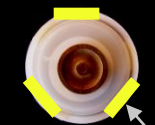


Målingen af impedans 1 foretages.

Herefter fremkommer et vindue og tiden er inde til at montere deltavægten på højtalerens membran med dobbeltklæbende tape.

Tryk på mellemrumstasten og målingen af impedans 2 foretages.

Klik OK og Thiele / Small kalkulations-vinduet åbnes.

Delta-vægte

Klæbende tape

Deltavægten vejes præcist og bør omtrentlig svare til måleobjektets "Moving Mass".

5" enhed = ca. 5 - 10 gram

6½ enhed = ca. 10 - 15 gram

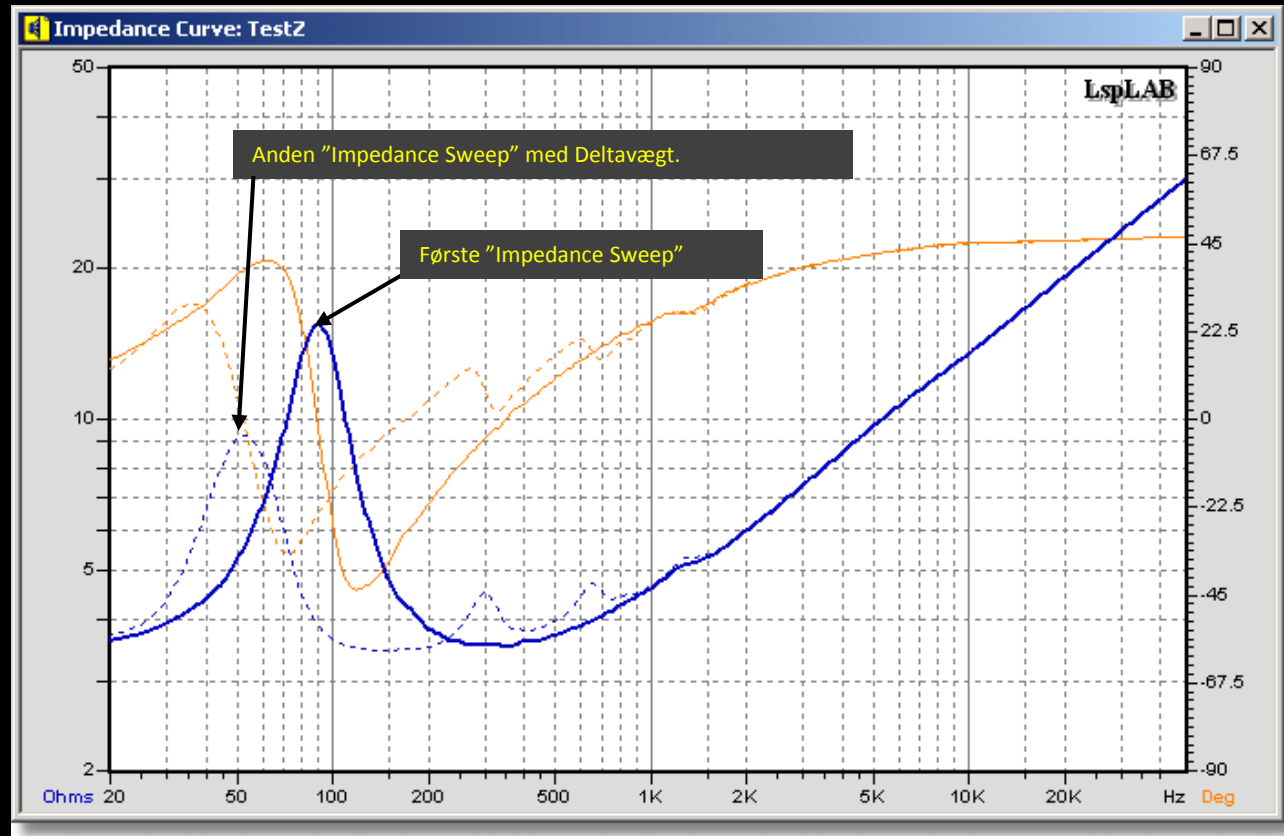
8" enhed = ca. 20 - 30 gram

10" enhed = ca. 40 - 50 gram

12" enhed = ca. 50 - 60 gram

Måling og Kalkulation af Thiele / Small parametre med Delta Mass metoden med LAB 3

Impedanskurver



4

Calculated Thiele-Small Parameters					
fs (Hz)	89.8	Revc (Ohms)	2.81	RMS (kg/s)	0.39
VAS (l)	5.25	Zmax (Ohms)	15.4	CMS (N/mm)	1.4789
QMS	3.0948	Znom (Ohms)	5	MMD (g)	1.72
QES	0.6909	Bl (t·m)	2.21	MMS (g)	2.12
QTS	0.5648	Levc @ 1kHz (mH)	0.3102	no (%)	0.5336
SD (cm²)	50	Levc @ 10kHz (mH)	0.1518	SPL @ 1W (dB)	89.29
Xmax (±mm)	1	Levc average (mH)	0.1973	SPL @ 2.83V (dB)	93.83

Input Parameters		Identification	
Revc (Ohms)	2.81	Manufacturer	TestBrand
SD-Area (cm²)	50	Model	No 1
Xmax (±mm)	1	Comments	
Ma (g)	5		

Calculated Thiele / Small Parameters

Recalc T/S: Klik på feltet når de fire røde felter er udfyldte.

Fs (Hz) – VAS (liter) – Qts : De tre parametre er klar til kabinetberegninger.

Input Parameters for måleobjekt (alle parametre indsættes inden Recalc T/S)

Revc (Ohms): Svingspolens jævnstrømsmæssige modstand bør måles nøjagtig, dog kan "Scan Revc" anvendes, men med mindre præcision.

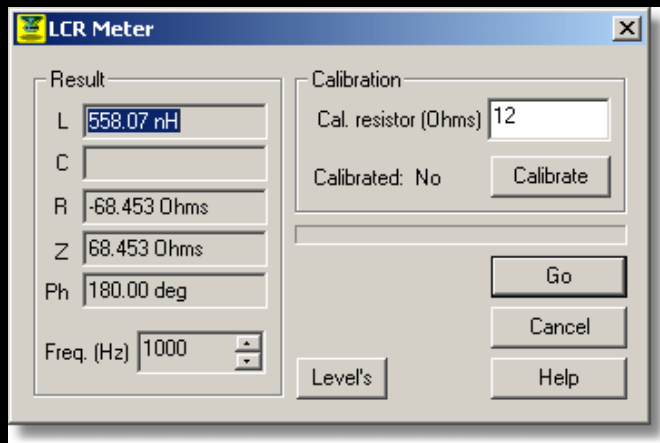
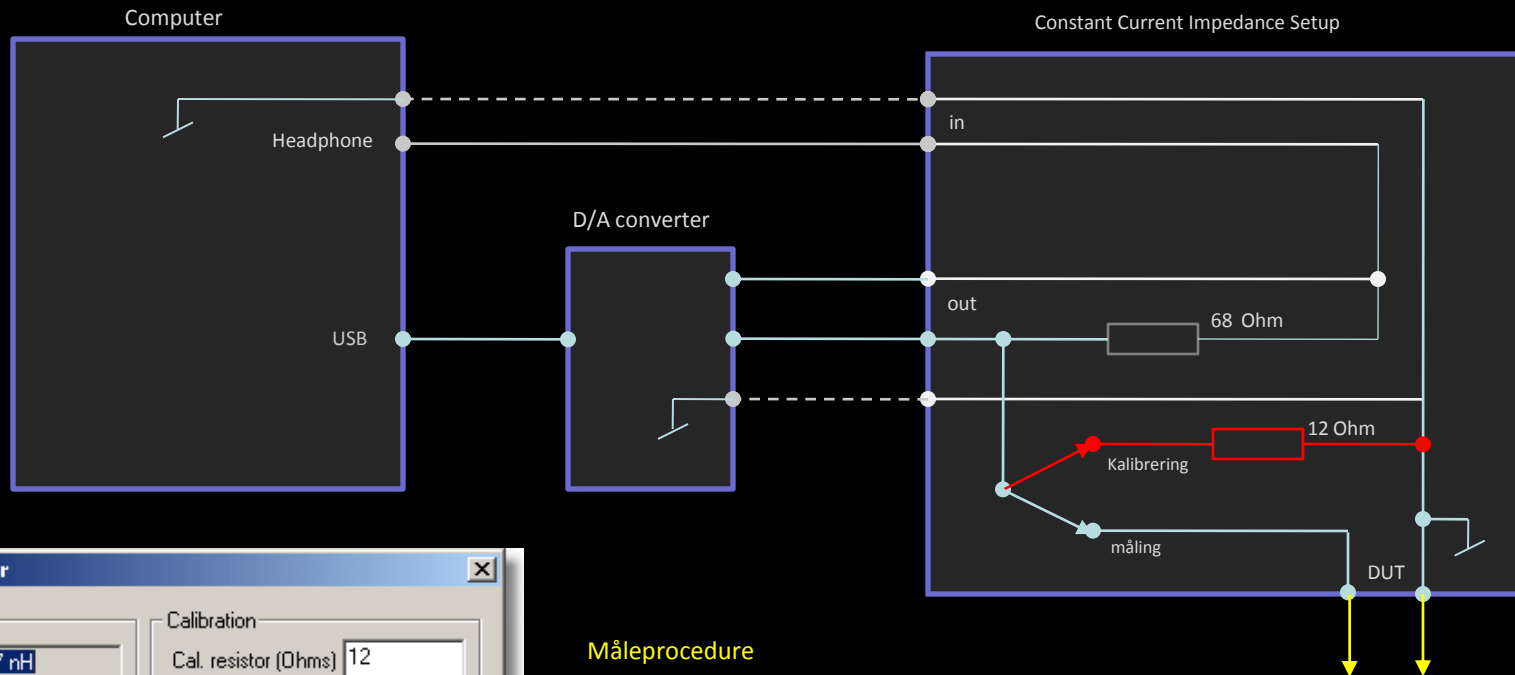
SD-Area (cm2): Membranarealet. Ved at fjerne fluebenet i "Area" kan membrandiameteren indsættes som alternativ.
NB ! Membrandiameteren måles præcist til kantophængets midte.

Xmax (+/- mm): Maksimal lineært membranudsving. Kendes værdien ikke - indsættes 1

Ma (g): Præcis vægtangivelse på Deltavægten.

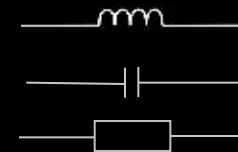
LAB 3 - LCR Meter

Måling af induktion (L), kapacitet (C), modstand (R) og impedans (Z)



Måleprocedure

- Kalibrering af måleboks
- Indtast kalibreringsmodstand (12 Ohm)
- Klik på Calibrate
- Sæt måleboksen i måleposition
- Tilslut måleobjekt til DUT
- Klik på Go



Downloads

LAB 3 : <http://www.lsp-lab.com>

Holm Impuls : <http://www.holmacoustics.com/holmimpulse.php>

Arta / Steps / Limp : <http://www.fesb.hr/~mateljan/arta/>

Links

Troldtekt : <http://www.troldtekt.dk/>

Notch filter : <http://www.mh-audio.nl/parallelnotchfilter.asp>

Resonans filter : http://www.mh-audio.nl/RLC_Series_Resonant_Calculator.asp

Zobel filter : <http://www.mh-audio.nl/iec.asp>

<http://www.klippel.de/>