

# Elektroakustik

## Laboration A, högtalare

2008-09-18 14:28:00

Svante Granqvist m.fl. 1996-2008

OBS! Förberedelseuppgifterna är rätt omfattande för denna labb och det är en förutsättning att du har gjort dem för att kunna och få labba!

Förberedelserna kräver en Windowsdator med högtalarsimuleringsprogrammet Basta!.

Namn: \_\_\_\_\_

Laborationen/förberedelseuppgifterna godkända

Datum: \_\_\_\_\_

Sign: \_\_\_\_\_



## Vad handlar labben om?

I förberedelseuppgifterna ska du dimensionera slutna lådor och basreflexlådor enligt de beräkningar och simuleringar som du gör som förberedelseuppgift. I lablokalen får sedan bygga dem och mäta hur resultatet blev. Du kommer att mäta bl.a. tonkurva och distorsion för de olika dimensioneringarna.

OBS! Det råder viss förvirring på beteckningar i detta pek beroende på att högtalarleverantören och elakkompendiet inte är överens. Under "Några beteckningar" hittar du en översättning.

## Sluten låda

Om man tar ett högtalarelement och sätter det i en låda utan andra öppningar än elementets så har man fått ett slutet högtalarsystem, fig 1. Den slutna lådans överföringsfunktion är i princip ett andra ordningens högpasfilter som karakteriseras av en gränshfrekvens  $f_c$  och ett Q-värde,  $Q_{tc}$ , fig 2. Om lådan är oändligt stor blir  $f_c$  lika med högtalarelementets egenresonans  $f_s$  och  $Q_{tc}$  blir lika med högtalarelementets Q-värde,  $Q_{ts}$ .

I det fall lådan inte är oändligt stor kommer luften i lådan att fjädra mot membranets rörelse, lådans fjädring  $C_{mv}$  seriekopplas med  $C_{ms}$ , vilket ger ett mindre C. Detta gör att resonansfrekvensen höjs och att  $Q_{tc}$  höjs i motsvarande grad, eftersom det allmänt gäller att:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{MC}} \quad \text{och} \quad Q = \frac{\omega_0 M}{R}$$

Eftersom endast fjädringen ändras gäller:

$$\frac{f_c}{f_s} = \frac{Q_{tc}}{Q_{ts}} = \sqrt{\frac{C_{ms}}{C_{tot}}}$$

Eftersom

$$C_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{C_{ms}} + \frac{1}{C_{mv}}} \quad \text{och} \quad C_{mv} = \frac{V_b}{\rho_0 c^2 S_d^2}$$

blir den önskade lådvolyten:

$$V_b = \rho_0 c^2 S_d^2 \frac{C_{ms}}{\left(\frac{Q_{tc}}{Q_{ts}}\right)^2 - 1} = \frac{V_{as}}{\left(\frac{Q_{tc}}{Q_{ts}}\right)^2 - 1} \quad \text{eller omvänt} \quad Q_{ts} = \frac{Q_{tc}}{\sqrt{1 + \frac{V_{as}}{V_b}}}$$

Ofta, men inte alltid, vill man att högtalarens högpasskaraktär ska vara av Butterworthtyp, dvs  $Q_{tc}=0,7$ . Detta får då styra valet av lådvolyten, man utgår från ett högtalarelement med ett  $Q_{ts}<0,7$  och dimensionerar lådan så att  $Q_{tc}=0,7$ .  $f_c$  blir då vad den blir, vilket ofta är tillräckligt bra.

I vissa fall, speciellt när det gäller små lådor, låter man  $Q_t$  vara  $>0,7$ , kanske uppåt 1 eller 1,5. Detta

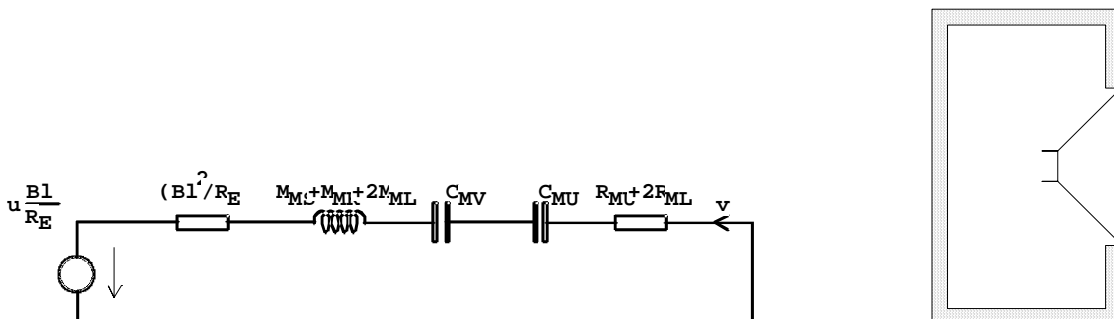


Fig 1. Den slutna lådans analogischema, beteckningar enl. elakkompendiet.

#### 4 – *Utförande* - Elektroakustik laboration A, högtalare

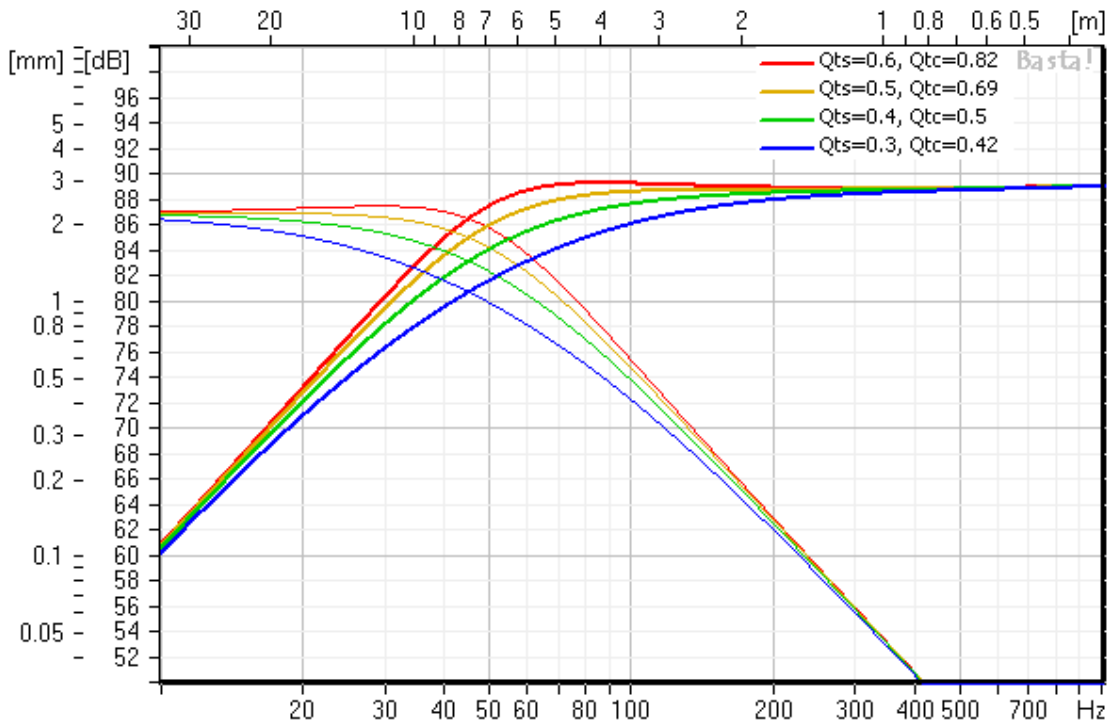


Fig 2. Teoretiska tonkurvor (tjocka linjer) och konamplitud (tunna linjer) för fyra slutna system med olika värden på elementets  $Q_{ts}$ , och därmed  $Q_{tc}$ . Systemen har systemresonansen vid  $f_c=50\text{Hz}$ . Notera att de högre  $Q$ -värdena ger en tendens till topp nära  $f_c$ .

Bilderna kan även tjäna som förklaring till hur labbens metod att mäta tonkurva med mikrofonen inuti lådan fungerar. Trycket inuti lådan är ju proportionellt mot konamplituden. Skillnaden i lutning mellan de två kurvorna är hela tiden 12dB/oktav. Det innebär att se att ljudtrycket utanför och inuti lådan skiljer sig åt med 12dB/oktav, vilket motsvarar två deriveringar.

för att i viss mån kompensera för att  $f_c$  inte blev tillräckligt låg. Resonanstoppen (eller snarare kanske "resonansbullen") som blir kring undre gränshöjningen ger då ett intryck av kraftigare bas. Man kan också välja  $Q_{tc}<0.7$  för att i någon mån kompensera för den bashöjning som alla rum ger. Om man inte är nöjd med vad  $f_c$  blir får man välja ett annat högtalarelement med lägre  $f_c$  eller högre  $Q_{ts}$  (och en omdimensionerad låda). En annan möjlighet är att påverka  $Q_{ts}$  med den elektriska utimpedansen på den drivande förstärkaren. Ett motstånd i serie med högtalaren höjer  $Q_{ts}$ , men minskar också systemets verkningsgrad. Detta gör att  $f_c$  blir lägre på bekostnad av större lådvolym. Vill man minska  $Q_{ts}$  kan man med speciella arrangemang med positiv strömåterkoppling i förstärkaren åstadkomma en negativ utimpedans. Detta ger en mindre låda på bekostnad av en högre undre gränshöjning för högtalaren. För att beräkna värdet på seriemotståndet, se "Att ändra högtalarelementets  $Q$ -värde med en elektrisk serieresistans" längre fram i detta pek. Ytterligare ett sätt att minska  $Q_{tc}$  är att fylla lådan med dämpmaterial. Utöver att minska  $Q$ -värdet får detta dessutom effekten att lådan verkar större eftersom kompressionen av luften i lådan snarare blir isoterm än adiabatisk. Vidare minskar dämpmaterialet förekomsten av stående vågor i lådan. Man kan även att sätta ett strömningsmotstånd direkt bakom högtalarkonen som luften tvingas att "pysa" igenom. Båda dessa typer av mekaniska förluster är svåra att förutse verkan av, man får helt enkelt pröva sig fram och mäta för att erhålla rätt mängd. Sidorna (9-13) – (9-15) i kompendiet behandlar dimensionering av slutna lådor.

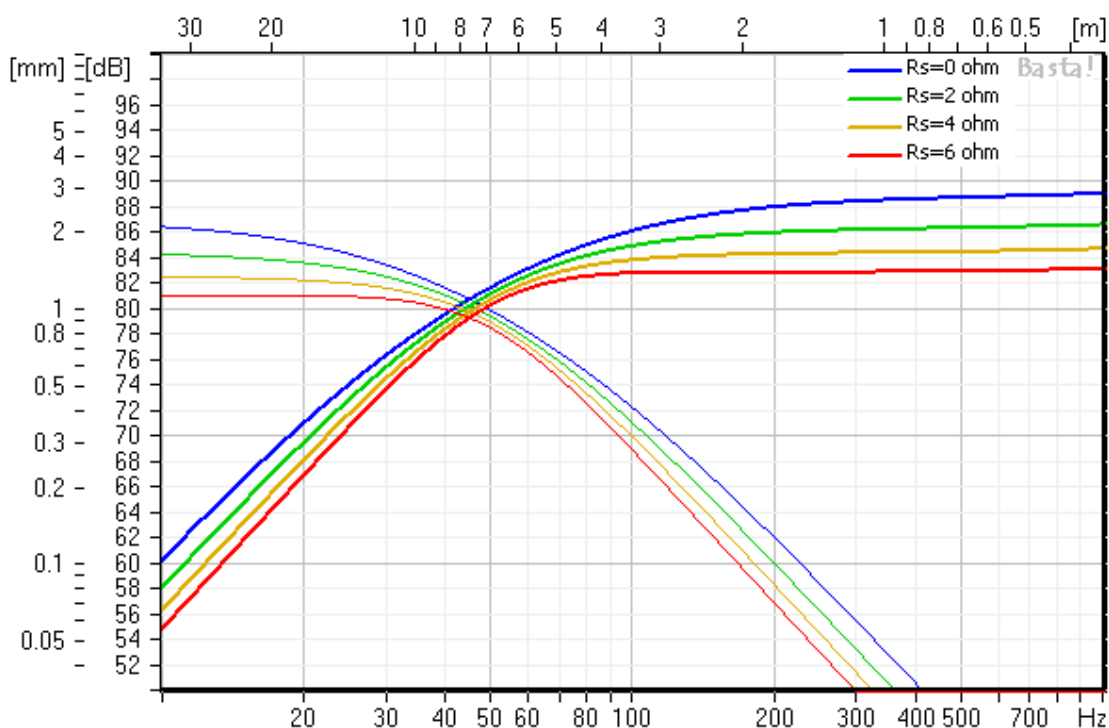


Fig 3. Teoretiska tonkurvor (tjocka linjer) och konamplitud (tunna linjer) för fyra slutna system med olika värden på ett motstånd kopplat i serie med elementet. Högre värden på seriemotståndet sänker verkningsgraden, men påverkar också tonkurvans form på samma sätt som en variation av elementets  $Q_{ts}$  (se fig 2). Seriemotståndet kan alltså användas som en metod att i labbet ändra elementets  $Q_{ts}$ . I verkliga högtalarsystem använder man ogärna metoden pga verkningsgradsminskningen.

### Exempel 1: dimensionering av en sluten låda

Antag att vi har ett högtalarelement med egenresonansen  $f_s=20\text{Hz}$ ,  $C_{ms}=2\text{ mm/N}$ ,  $Q_{ts}=0.35$ ,  $R_e=6\Omega$ ,  $Bl=4\text{N/A}$ . Vi önskar konstruera en sluten låda med butterworthrespons.

Butterworthrespons innebär att systemets  $Q$ -värde,  $Q_{tc}$ , är 0.7. När man monterar lådan på elementet stiger resonansfrekvensen i samma grad som  $Q$ -värdet. Detta innebär att om  $Q$ -värdet stiger från 0.35 till 0.7 så stiger resonansfrekvensen enligt ekv. (4) (se "Liten formelsamling") till:

$$f_c = 20 \frac{0.7}{0.35} = 40\text{Hz}$$

Lådvolyten blir då enl. ekv. (5):

$$V_b = \frac{0.03}{\left(\frac{0.7}{0.35}\right)^2 - 1} = 0.01\text{m}^3$$

För 40Hz undre gränshfrekvens ska lådan alltså vara på 10 liter.

Vi kan också fritt välja en lådvolyt och i stället ändra elementets  $Q$ -värde  $Q_{ts}$  till  $Q'_{ts}$  för att åstadkomma butterworthrespons. Om vi t.ex. väljer en lådvolyt på 2 liter blir enl. ekv (6) och (4):

$$Q'_{ts} = \frac{0.7}{\sqrt{1 + \frac{0.030}{0.002}}} = 0.175 \quad \text{och} \quad f_c = 20 \frac{0.7}{0.175} = 80\text{Hz}$$

$Q_{ts}$  kan ändras mekaniskt med ett strömmingsmotstånd på elementets baksida, eller elektriskt genom att seriekoppla elementet med en resistans. Vi väljer att göra det elektriskt (se härledning) och får värdet på resistansen, enl. ekv. (11), till:

## 6 – Utförande - Elektroakustik laboration A, högtalare

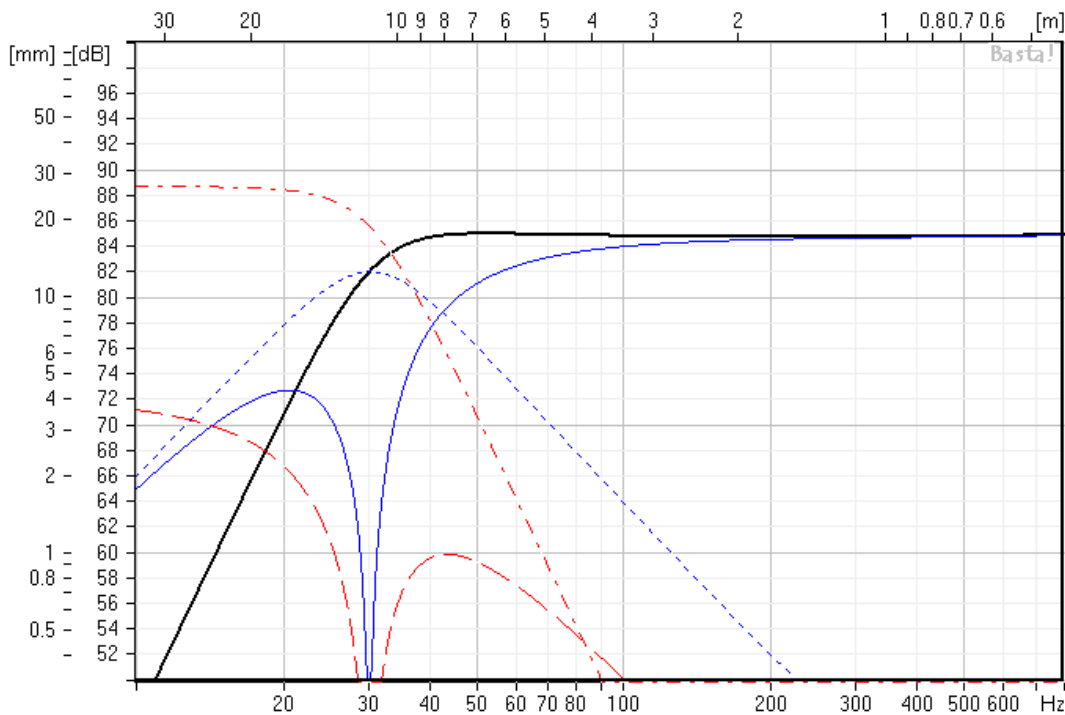


Fig 4. Ett basreflexsystem avstämt till 30Hz, butterworthrespons samt utan förluster i låda resp port. De fem kurvorna representerar bidraget från högtalarelement, port och summan av dessa, samt utslaget hos kon och port.

$$R_s = \frac{1}{\frac{1}{2\pi \cdot 20 \cdot 0,002 \cdot 4^2} \left( \frac{1}{0,175} - \frac{1}{0,35} \right) + \frac{1}{6}} - 6 = -4,9\Omega$$

Med en 2-liters låda får vi alltså 80Hz undre gränsfrekvens och måste koppla en (negativ!) elektrisk resistans på  $-4,9\Omega$  i serie med högtalaren.

### Basreflexlåda

Basreflexlådan skiljer sig från den slutna lådan med att man tagit upp ett hål i lådväggen och eventuellt satt ett rör eller möjligen en passiv (icke driven) kon, fig 6. Basreflexlådan är både svårare att dimensionera och att förstå sig på. Man kan tycka att om man öppnar lådan mot omvärlden (som man gör via basreflexröret) så skulle det man släpper ut genom öppningen motverka det som kommer från högtalarelementet. Det är också sant för låga frekvenser under resonansfrekvensen för basreflexröret,  $f_h$ . Detta gör att en basreflexhögtalare är oduglig på att återge frekvenser under denna. Det är dock i frekvensområdet ovan helmholtzresonansen som basreflexöppningen gör sin nytta:

Antag att högtalarkonens hastighet inåt är  $\sim \sin \omega t$ . Trycket i lådan blir då proportionellt mot integralen av konens hastighet, dvs  $\sim -\omega^{-1} \cos \omega t$ . Trycket i lådan verkar på massan i basreflexporten (över helmholtzresonansen är vi ju i det masskontrollerade området för porten) vilket gör att dess hastighet utåt blir proportionell mot integralen av trycket, dvs.  $\sim -\omega^{-2} \sin \omega t$ . Nu började vi med att definiera konens hastighet inåt medan basreflexöppningens blev utåt, detta gör att de två sinusarna kommer att samverka. Basreflexöppningen kommer att ge sitt största bidrag just över  $f_h$ , vid högre frekvenser minskar det (vid var och en av de två integrationerna trillade det ju ut ett  $\omega^{-1}$ ). Vi får alltså ett tillskott av från basreflexöppningen över helmholtzresonansen, men förlorar effekt under den.

En noggrannare analys av basreflexlådan visar att den uppför sig som ett fjärde ordningens högpasfilter, fig 4 och man har därmed betydligt fler frihetsgrader när det gäller att bestämma tonkurvan än för den slutna lådan.

Traditionellt har man ofta dimensionerat lådan som ett Butterworthfilter, eller i undantagsfall som ett Tjebyshevfilter. Numera anser man sig ofta mindre bunden till de matematiskt ”rena” fallen och bygger i stället in bla kompensation för ett genomsnittligt rums bashöjning. Detta brukar göras via manuell eller automatisk optimering i simuleringsprogram. Hur man dimensionerar basreflexlådor baserat på filtermodeller beskrivs på sidorna (9-16) – (9-21) i kompendiet och nedan.

### Exempel 2: dimensionering av en basreflexlåda

Antag att vi har ett högtalarelement med egenresonansen 50Hz,  $V_{as}=20$ liter,  $Q_{ts}=0.87$ ,  $S_s=0.0078m^2$ , max konamplitud  $d_{max}=\pm 5mm$ .

Börja med att slå upp sid (9-16) i kompendiet. Välj en uppsättning parametrar ur tabell (9-18) eller den utökade versionen i fig 5 i detta pek, t.ex. Tjebyshev, 3dB rippel, förlustfritt.

dB rippel	Polynomkoefficienter			Normerade parametrar				
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$\gamma$	$\kappa$	$\alpha$	$\beta$	$\delta$
0.00 (Butterworth)	2.6131	3.4142	2.6131	1.0000	1.4142	2.6131	0*	0*
				1.0000	0.9410	2.3190	0.1	0.1
0.02	2.1515	3.0199	2.4397	1.0649	0.8855	2.2910	0*	0*
				1.0792	0.5020	2.0305	0.1	0.1
0.2	1.7367	2.8333	2.2550	1.1395	0.5890	1.9790	0*	0*
				1.1566	0.4201	1.8468	0.05	0.05
1.5	1.1820	2.7672	1.8224	1.2417	0.3741	1.4677	0*	0*
				1.2871	0.2248	1.3370	0.05	0.05
3.0	0.893	2.783	1.482	1.29	0.31	1.15	0*	0*
				1.37	0.15	1.0	0.05	0.05
3.5	0.8327	2.7835	1.3962	1.2949	0.3043	1.0782	0*	0*
				1.3805	0.1352	0.9460	0.05	0.05
8.4	0.4331	2.8134	0.7733	1.3362	0.2620	0.5787	0*	0*
14.0	0.2189	2.8244	0.3979	1.3481	0.2514	0.2951	0*	0*

Fig 5. Tabell för Tjebyshevdimensionering av basreflexlådor. Detta är en utökad version av tabell 9-18 i kompendiet. \* anger teoretiska fall med minsta möjliga låda.

#### Dämpmaterial:

•Förlustfri dimensionering ger  $\beta=0$  och  $\delta=0$ , vilket innebär att vi inte har några förluster i låda resp port, vilket är något orealistiskt. Dessa förluster är svåra att beräkna och måste i regel mätas upp i varje enskilt fall.

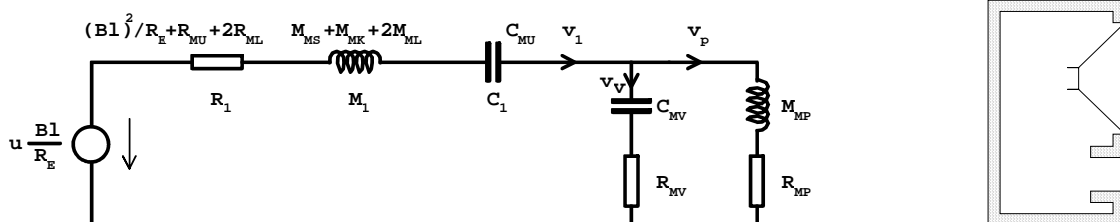


Fig 6. Basreflexlådans analogischema, beteckningar enl elakkompendiet.

**Lådans volym:**

•  $\kappa=0.31$  innebär att  $C_{ms}=0.31 C_{mv}$ . Detta innebär att lådans fjädring ska vara 0.31 gånger så styv som högtalarelementets. Eftersom  $V_{as}$  är den volym som ger samma fjädring som elementet, ska lådans volym vara  $V_{as}/\kappa=V_b=65$  liter.

**Högtalarelementets Q-värde:**

•  $\alpha=1.15$  innebär att  $Q_{ts}=1/\alpha=0.87$ . Nu hade vi en himla tur, det var ju precis det värde som högtalarelementet hade. Annars hade vi fått ändra  $Q_{ts}$  med ett strömningsmotstånd monterat på elementet eller med en elektrisk serieresistans på samma sätt som vi gjorde med den slutna lådan.

**Basreflexröret:**

•  $\gamma=1.29$  innebär att  $f_s = 1.29^2 f_h$  vilket ger  $f_h=30$  Hz.

Hur stort ska basreflexröret vara i sådana fall? Till och börja med ska det vara så stort att det ger  $f_h=30$  Hz. Ekv (13) eller sid 7-3 i kompendiet ger oss stor kvoten  $S_v/L_v$  ska vara.

$$\omega_h^2 = c^2 \frac{S_v}{L_v V_b}$$

I allmänna fallet, men inte i labben (se nedan!), är man fri att välja rörets längd och tvärsnittsarea. För det allmänna fallet finns en tumregel som säger att röret bör innesluta 5-20 ggr så mycket luft som högtalarelementet kan pumpa. Detta för att större delen av luften ska stanna i porten vid full utstyrning och därmed fortsätta att uppföra sig som en massa även vid hög amplitud. Väljer vi faktorn till 10 ska alltså rörets volym,  $V_v$ , vara  $V_v=S_v L_v=10 d_{max} S_s=0.39$  liter.

Lite bollande med dessa ekvationer ger att att:

$$S_v = \frac{\omega_h}{c} \sqrt{V_v V_b} = 0.0027 m^2$$

vilket svarar mot en rördiameter på 6cm. Rörets längd blir  $l_v=V_v/S_v=0.14$  m. Från detta ska två (möjligen bara en?) ändkorrekationer på  $0.85r=2.5$  cm dras. Röret blir alltså 9cm långt.

Vi sätter alltså elementet i en låda på 65 liter, med ett basreflexrör på  $\varnothing 6$  cm  $\times$  9 cm och förstärkarens utimpedans ska vara  $0\Omega$ .

I labben har vi dock rör med fix längd och justerbar area. Vi får då välja just den längden, justera arean och kontrollera i efterhand att den inneslutna volymen blir tillräcklig. Det gör också att beräkningarna på basreflexröret aningen krångligare eftersom ändkorrektionen är beroende av rörets area. Man hamnar i en andragradsekvation i rörradien,  $r$ :

$$\omega_h^2 = c^2 S_v / (L V_b) = c^2 (r^2 \pi) / ((L_1 + \sigma r) V_b)$$

vilket ger:

$$r^2 - r (\sigma V_b \omega_h^2) / (c^2 \pi) - (L_1 V_b \omega_h^2) / (c^2 \pi) = 0$$

eller:

$$r^2 - r \sigma A - L_1 A = 0$$

där

$$A = (V_b \omega_h^2) / (c^2 \pi)$$

$S_v$  är rörets tvärsnittsarea

$L$  är rörets längd inklusive två ändkorrekationer.

$L_1$  är rörets fysiska längd utan ändkorrektin.

$\sigma$  är ändkorrektionsfaktorn som typiskt är 0.85 per sida, totalt 1.7.

$V_b$  är lådans volym.

$\omega_h$  är helmholtzresonansvinkelfrekvensen.



Detta ger:

$$r = \frac{\sigma A}{2} \pm \sqrt{\left(\left(\frac{\sigma A}{2}\right)^2 + L_1 A\right)}$$

Om vi har ett rör med fyrkantigt tvärsnitt med höjden h ska dess bredd w då justeras till

$$w = \frac{r^2 \pi}{h}$$

Skulle vi bygga detta system i labbet så väljer vi längden  $L_1=20$  cm och landar på en rörradie  $r=4.9$ cm vilket motsvarar en area på  $75\text{cm}^2$ . Eftersom labbets rör är fyrkantigt och har en fast höjd på 4cm ska bredden på röret ställas in på knappt 19cm. Innesluten volym blir  $0.75 \times 2 = 1.5$  liter vilket är mer än kravet på 0.39 liter. Vi kunde alltså ha haft ett kortare rör om vi velat. (Just denna låda kan vi inte bygga med labbutrustningen eftersom volymen inte kan bli 65 liter och bredden på porten inte kan bli 19cm.)

### Att ändra högtalarelementets Q-värde med en elektrisk serieresistans

Det kan förefalla märkligt att man kan ändra högtalarelementets Q-värde,  $Q_{ts}$ , med en elektrisk serieresistans som i fig 7. Här följer en förklaring av de bakomliggande mekanismerna och en beräkning av hur stort ett seriemotstånd ska vara för att uppnå en viss förändring i Q-värde.

Om vi kortsluter ett högtalarelements elektriska anslutningar och försöker röra konen fram och tillbaka med handen så kommer det att genereras en ström i talspolen och därmed en förlusteffekt i densamma. Av detta kan man förstå att talspolens resistans, tillsammans med magneten ger upphov till något som verkar som en mekanisk resistans sett från den mekaniska sidan i högtalarelementet. Denna mekaniska resistans påverkar i hög grad högtalarelementets Q-värde,  $Q_{ts}$ . Som ingenjör ser man då genast en möjlighet att påverka elementets Q-värde genom att seriekoppla det med ett elektriskt motstånd. Här följer en härledning av hur stort detta seriemotstånd ska vara. "Primade" variabler motsvarar önskade värden när serieresistansen är inkopplad.

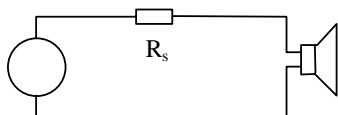


Fig 7. Ett motstånd i serie med högtalaren ändrar dess Q-värde.

Ekvationerna

$$Q_{ts} = \frac{1}{\omega_s C_{ms} R_{mt}}$$

ger att totala mekaniska förlustresistansen är:

$$R_{mt} = \frac{1}{\omega_s C_{ms} Q_{ts}}$$

och vi vill att den ska vara:

$$R'_{mt} = \frac{1}{\omega_s C_{ms} Q'_{ts}}$$

Den elektriska bromskraften genererar en mekanisk förlustresistans:

$$R_{me} = \frac{(Bl)^2}{R_e}$$

som vi önskar att den vore:

$$R'_{me} = \frac{(Bl)^2}{R'_e}$$

De rent mekaniska förlustresistanserna är då:

$$R_{ms} = R_{mt} - R_{me} = R'_{mt} - R'_{me}$$

Allt detta gör att vi vill att den elektriskt genererade mekaniska förlustresistansen ska vara:

$$R'_{me} = R'_{mt} - R_{ms} = R_{mt} \frac{Q_{ts}}{Q'_{ts}} - R_{mt} + R_{me} = R_{mt} \left( \frac{Q_{ts}}{Q'_{ts}} - 1 \right) + R_{me}$$

Detta ger att vi vill ha en talspolerresistans på:

$$R'_e = \frac{(Bl)^2}{R'_{me}} = \frac{(Bl)^2}{\frac{1}{\omega_s C_{ms} Q_{ts}} \left( \frac{Q_{ts}}{Q'_{ts}} - 1 \right) + \frac{(Bl)^2}{R_e}} = \frac{1}{\frac{1}{\omega_s C_{ms} (Bl)^2} \left( \frac{1}{Q'_{ts}} - \frac{1}{Q_{ts}} \right) + \frac{1}{R_e}}$$

Vi måste alltså seriekoppla högtalaren med ett motstånd på:

$$R_s = R'_e - R_e = \frac{1}{\frac{1}{\omega_s C_{ms} (Bl)^2} \left( \frac{1}{Q'_{ts}} - \frac{1}{Q_{ts}} \right) + \frac{1}{R_e}} - R_e$$

Motståndet blir negativt om man önskar en sänkning av  $Q_{ts}$ . Detta kan ordnas med positiv strömåterkoppling i det drivande förstärkaren. En vanlig positiv serieresistans kan ordnas med ett vanligt motstånd på bekostnad av att verkningsgraden sjunker (vi eldar ju i sådana fall upp effekt i detta motstånd), eller genom att införa negativ strömåterkoppling i förstärkaren.

## Att mäta tonkurva med mikrofonen inuti högtalarlådan

Det vanliga sättet att mäta upp en högtalares tonkurva är att placera den utomhus eller i ett ekofritt rum, mata den med ett frekvenssvcp och mäta upp ljudtrycket med en mikrofon på lämpligt avstånd. Vill man vara inomhus och inte har ett ekofritt rum får man tillgripa andra metoder. I labben mäts därför tonkurvan på ett aningen ovanligt sätt. Vi sätter mikrofonen inuti högtalarlådan och kan via ljudtrycket inuti lådan dra slutsatser om avgivet ljudtryck utanför lådan. Här följer en förklaring på hur och när mätningen fungerar:

Eftersom vi primärt är intresserade av högtalarens lågfrekvensområde kan vi se högtalaren som en punktkälla. Ljudtrycket från en sådan ges av tidsderivatan av dess volymflöde (s 5-0 i kompendiet) och är lika i alla riktningar. Utanför lådan är alltså ljudtrycket beroende av volymflödets *derivata* vilket ger en spektrumlutning på +6dB/oktav.

Det volymflöde som kommer ur lådan till omgivningen måste med nödvändighet komma från lådans insida. Volymflödet ur lådan integreras av lådans kapacitans till ett ljudtryck inuti den. Ljudtrycket inuti lådan beror alltså av *integralen* av volymflödet vilket ger en spektrumlutning på -6dB/oktav. I slutändan kommer alltså ljudtrycket inuti lådan kommer att ha en spektrumlutning på -12dB/oktav relativt ljudtrycket utanför. Detta samband syns tydligt i fig 2 (trycket inuti lådan är ju proportionellt mot konamplituden) och möjligen en aning mer svårgenomskådat även i fig 4.

Man kan visa att sambandet mellan inre och yttre ljudtryck i fri rymd är:

$$P_i = P_y \frac{4r\pi c^2}{\omega^2 V_b}$$

där

$P_i$  är beloppet av ljudtrycket inuti lådan.  
 $P_y$  är beloppet av ljudtrycket utanför lådan på avståndet  $r$ .  
 $V_b$  är lådvolumen.

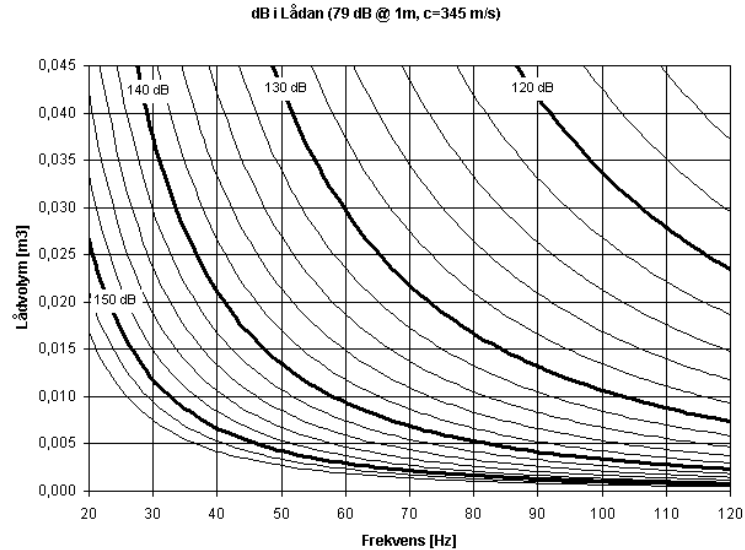


Fig 8. Ljudtrycket inuti lådan för olika kombinationer av lådvolymer och frekvens

Genom att mäta ljudtrycket inuti lådan och tidsderivera detta två gånger fås alltså en signal proportionell mot det avgivna ljudtrycket på lådans utsida. I labbet ordnas den dubbla deriveringen av datorprogrammet som mäter frekvensgång, genom att en extra lutning av frekvenskurvorna på 12dB/oktav införs.

Metoden fungerar bra så länge  $\lambda/2 \gg$  lådans dimensioner. Vid och över dessa frekvenser bildas stående vågor inuti lådan och ljudtrycket blir ojämnt fördelat i den. Mikrofonens placering i lådan kommer då att påverka den uppmätta frekvensgången, vilket inte är önskvärt. Metoden är alltså utmärkt för låga frekvenser, kanske tom bättre än att mäta i ekofritt rum eftersom sådana ofta har en undre gränshänsfrekvens på runt 50-100Hz. Den fungerar dock inte för öppna lådor, bandpasslådor eller horn.

**Exempel:**

Om vi har ljudtrycksnivån 90dB på 1m avstånd ifrån en 100 liters låda vid frekvensen 50Hz ökar ljudtrycket inuti lådan med

$$\frac{4r\pi c^2}{\omega^2 V_b} = \frac{4 \cdot 1 \cdot \pi \cdot 343^2}{(2\pi \cdot 50)^2 \cdot 0,1} \approx 149,7$$

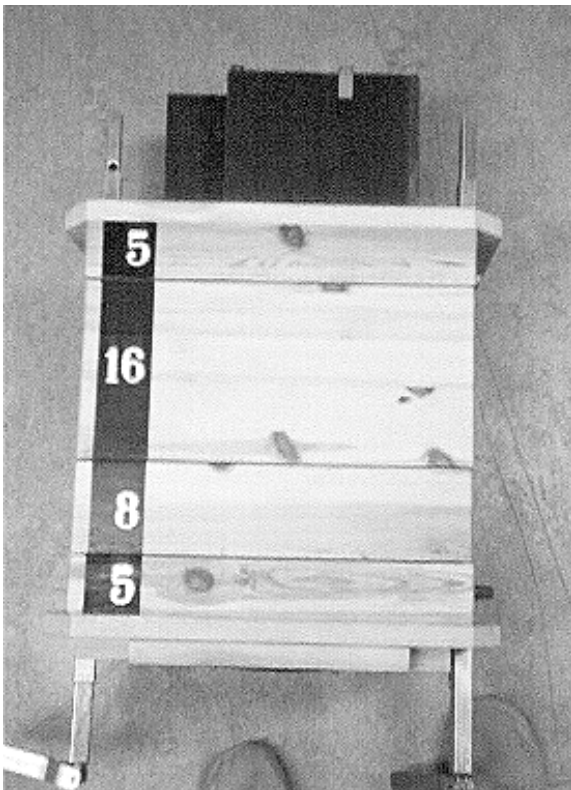
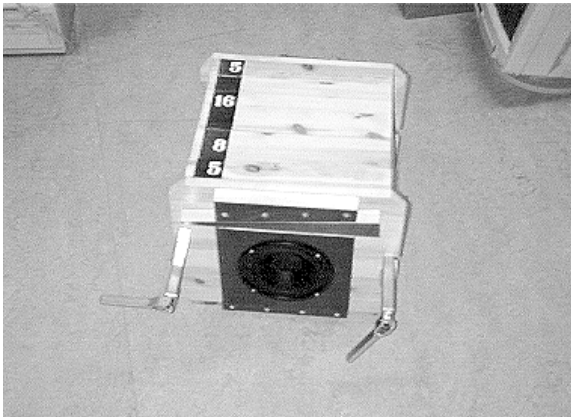
gång jämfört med ljudtrycket utanför (på 1 meters avstånd). Detta motsvarar 43,5 dB förstärkning, alltså blir ljudtrycket 90+43,5=133,5 dB inuti lådan.

## Labutrustningen

I labbet finns följande delar att bygga ett högtalarsystem av:

### Lådan:

Lådan består av en serie ramar som ger 3, 4, 5, 8 resp. 16 liters volym vardera. Bakstycke och baffel har en fast ram som ger 5 liter vardera. Ramarna är kvadratiska och har en innerarea på  $10 \text{ dm}^2$ , vilket gör att man får 1 liter lådvolum per cm lådlängd. Genom att sätta ihop valda ramar kan en lådvolum på mellan 10 och 46 liter i steg om 1 liter åstadkommas, fig 9. Ett fåtal volymer kan dock inte uppnås på detta sätt, då får man välja närmast möjliga volym enligt tabellen i fig 10. På fronten sitter högtalarelementet och på bakstycket en eventuell basreflexöppning.



*Fig. 9. Uppe till vänster ses lådan från baffelsidan med Peerlesselementet monterat. Plattan med elementet kläms fast med en kil. Uppe till höger ses lådans baksida med 20cm-porten monterad. Porten består av två L-formade bitar som kan skjutas relativt varandra och på så sätt uppnås en variabel tvärsnittsarea. Porten är utbyttbar och kläms fast med en kil. Nere till vänster är en låda på  $5+16+8+5 = 34$  liter. Lådan skruvas ihop med två limknektar längs sidorna. Överst i bild ses basreflexporten.*

	<i>Baffel</i>	<i>Bakst.</i>	<i>Ram 3</i>	<i>ram 4</i>	<i>ram 5</i>	<i>ram 8</i>	<i>ram 16</i>
<i>Volym[l]</i>	5	5	3	4	5	8	16
10	1	1					
13	1	1	1				
14	1	1		1			
15	1	1			1		
17	1	1	1	1			
18	1	1				1	
19	1	1		1	1		
21	1	1	1			1	
22	1	1		1		1	
23	1	1			1	1	
25	1	1	1	1		1	
26	1	1					1
27	1	1		1	1	1	
29	1	1	1				1
30	1	1		1			1
31	1	1			1		1
33	1	1	1	1			1
34	1	1				1	1
35	1	1		1	1		1
37	1	1	1			1	1
38	1	1		1		1	1
39	1	1			1	1	1
41	1	1	1	1		1	1
42	1	1	1		1	1	1
43	1	1		1	1	1	1
46	1	1	1	1	1	1	1

Fig 10. Tabell för dimensionering av lådvolym. Exempel: för en 29 liters låda ska man använda baffel, bakstycke samt ram 3 och 16.  $5+5+3+16=29$ .

### **Basreflexöppningen:**

Basreflexöppningen är utformad som två L-formade profiler som kan skjutas i förhållande till varandra. På detta sätt kan en variabel tvärsnittsarea på 2-64 cm<sup>2</sup> åstadkommas. L-profilerna finns i två längder, 2 cm resp 20 cm.

### **Dator**

I labbet finns en dator utrustad med ett hyfsat ljudkort som kan spela ljud på utgången samtidigt som det tar in ljud på ingången. För upptagning av frekvenssvar finns programmet "TombStone" som kan generera frekvenssvop och samtidigt mäta amplituden på den mottagna signalen, samt applicera valfri extra lutning de på detta vis upptagna frekvenskurvorna. Dessutom finns separata program för generering av stationära sinustoner ("Tone") och spektralanalys ("RTSect") som används för distorsions- och verkningsgradsmätningar. Alla programmen finns att ladda ner från elektroakustikens hemsida, för den som vill vara väl förberedd.

### **Motstånd:**

I labbet finns ett skjuteffektmotstånd på 0-12Ω, max 2.5A. Det kan användas till att ändra elementets Q-värde. Det fungerar bra i labbet, men i verkliga livet gör man det inte gärna med passiva motstånd eftersom det sätter ner verkningsgraden.

**Högtalarelement:**

I labbet finns ett högtalarelement Peerless 18 WR33/12 PPB AL-8

Följande är saxat ur databladet för Peerlesselementet:

<b>Thiele Small parameters</b>			<b>Free air</b>	<b>Common</b>	<b>Baffled</b>
Nominal Impedance	$Z_{nom}$	( $\Omega$ ):		8.0	
Minimum impedance/at freq	$Z_{min}$	( $\Omega/Hz$ ):		6.8/323	
DC resistance	$Z_o$	( $\Omega$ ):		6.1	
Voice coil inductance	$L_e$	(mH):		0.9	
Capacitor in series with $8\Omega$ (For impedance compensation)	$C_e$	( $\mu F$ ):		8	
Resonance frequency	$f_s$	(Hz):	35.2		34.1
Mechanical Q factor	$Q_{ms}$	:	1.63		1.69
Electrical Q factor	$Q_{es}$	:	0.35		0.30
Total Q factor	$Q_{ts}$	:	0.29		0.30
F (ratio $f_s/Q_{ts}$ )	F	(Hz):			114
Mechanical resistance	$R_{ms}$	(kg/s):		2.01	
Moving mass	$M_{ms}$	(g):	14.8		15.8
Suspension compliance	$C_{ms}$	(mm/N):		1.38	
Effective cone diameter	D	(cm):		12.9	
Effective piston area	$S_d$	( $cm^2$ ):		130.0	
Equivalent volume	$V_{as}$	(l):		32.9	
Force factor	BL	(N/A):		7.5	
Reference Voltage Sensitivity Re 2.83V 1m at 323Hz (Calculated)		(dB):			87.9

**Magnet and voice coil parameters:**

Voice coil diameter	d	(mm):	33
Voice coil length	h	(mm):	17.0
Voice coil layers	n	:	2
Flux density in gap	B	(T):	1.13
Total useful flux	$\Phi$	(mWb):	1.03
Height of the gap	hg	(mm):	6
Diameter of magnet	dm	(mm):	102
Height of magnet	hm	(mm):	16
Weight of magnet		(kg):	0.54

**Power handling:**

Longterm Max System Power (IEC)	(W):	150
Max linear (rms)/by power	(dB/W):	106/90
Frequency range for test signal		20-5000Hz
Normal programme material signal with a crest factor of 6dB (IEC 268-5) is used in both tests		

Fotnot:  $d_{max}$  kan beräknas ur parametrarna hg och h till  $\pm 5.5mm$

**Liten formelsamling**

Resonansvinkelfrekvens, allmänt	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{MC}} \quad (1)$
Q-värde, allmänt	$Q = \frac{\omega_0 M}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} = \frac{\sqrt{M/C}}{R} \quad (2)$
Mekanisk kapacitans, allmänt	$C = \frac{V}{\rho_0 c^2 S^2} \quad (3)$
Resonansfrekvens för högtalare i slutna låda	$f_c = f_s \frac{Q_{tc}}{Q_{ts}} \quad (4)$
Lådvolum, slutna låda	$V_b = \rho_0 c^2 S_s^2 \frac{C_{ms}}{\left(\frac{Q_t}{Q_{ts}}\right)^2 - 1} = \frac{V_{as}}{\left(\frac{Q_t}{Q_{ts}}\right)^2 - 1} \quad (5)$
Önskat Q-värde för högtalarelement, slutna låda	$Q_{ts} = \frac{Q_{tc}}{\sqrt{1 + \frac{V_{as}}{V_b}}} \quad (6)$
Rörradie, basreflexrör	$r = \frac{\sigma A}{2} \pm \sqrt{\left(\left(\frac{\sigma A}{2}\right)^2 + L_1 A\right)} \quad (7)$ där $A = (V_b \omega_h^2) / (c^2 \pi)$ och $L_1$ är rörets fysiska längd utan ändkorrektions. 
Lådvolum som ger samma fjädring som $C_{ms}$	$V_{as} = C_{ms} \rho_0 c^2 S_s^2 \quad (8)$
Total mekanisk resistans i högtalarelementet	$R_{mt} = \frac{\rho_0 c^2 S_s^2}{V_{as} \omega_s Q_{ts}} \quad (9)$
Mekanisk resistans från den elektriska resistansen i talspolen	$R_{me} = \frac{(Bl)^2}{R_e} \quad (10)$
Önskad elektrisk serieresistans för att uppnå visst Q-värde $Q'_{ts}$ hos element	$R_s = \frac{1}{\frac{1}{\omega_s C_{ms} (Bl)^2} \left(\frac{1}{Q'_{ts}} - \frac{1}{Q_{ts}}\right) + \frac{1}{R_e}} - R_e \quad (11)$
Ljudtryck (linjärt) inuti högtalarlådan	$P_i = P_y \frac{4r\pi c^2}{\omega^2 V_b} \quad (12)$
Resonansvinkelfrekvens för helmholtz-resonator	$\omega_h^2 = c^2 \frac{S_v}{L_v V_b} \quad (13)$
Verkningsgrad (halvrymd)	$\eta = \frac{\rho_0 (Bl)^2 S_s^2}{2\pi c R_e m_{ms}^2} \quad (14)$

## Några beteckningar

$f_s$	Hz	Högtalarelementets resonansfrekvens
$f_h$	Hz	Helmholtz-resonansfrekvens
$f_c$	Hz	Resonansfrekvens för högtalare i sluten låda
$f_0$	Hz	Gränsfrekvens (allmänt)
B	Hz	Bandbredd (allmänt)
Q		Q-värde (allmänt). $f_0/B$ , $\omega_0 M/R$ , $1/(\omega_0 CR)$ eller $\sqrt{M/C}/R$ . Gäller andra ordningens system.
$Q_{ts}$		Högtalarelementets Q-värde
$Q_{ms}$		Högtalarelementets Q-värde, exklusive elektrisk dämpning.
$Q_t$		Slutna lådans Q-värde
$C_{ms}$	$C_{MU}$	m/N Högtalarelementets mekaniska fjädring
$C_{mv}$	$C_{MV}$	m/N Fjädring från luften innesluten i lådan.
$C_{tot}$		m/N Total fjädring
M		kg Massa (allmänt)
	$M_{MS}$	kg Talspolens mekaniska massa
	$M_{MK}$	kg Konens mekaniska massa
	$M_{ML}$	kg Medsvängande luftens mekaniska massa
	$M_{MP}$	kg Mekanisk massa i reflexöppningen
$R_e$	$R_E$	$\Omega$ Elektrisk resistans hos talspolen (DC resistance, $Z_0$ , i databladet)
$R_{me}$		Ns/m Mekanisk resistans härstammande från den elektriska resistansen i talspolen
$R_{mt}$		Ns/m Total mekanisk resistans i högtalarelementet
$R_{ms}$		Ns/m Total mekanisk resistans i högtalarelementet, exklusive $R_{me}$
	$R_{MP}$	Ns/m Mekanisk resistans i reflexöppningen
	$R_{MV}$	Ns/m Mekanisk resistans i lådan
	$R_{MU}$	Ns/m Mekanisk resistans i konupphängningen
	$R_{ML}$	Ns/m Mekanisk resistans motsvarande strålningsresistansen
$\gamma$		Roten ur förhållandet mellan elementets och resonatorns resonansfrekvens
$\kappa$		Förhållande mellan elementets och lådans fjädring
$\alpha$		Högtalarelementets dämpfaktor
$\beta$		Lådans dämpfaktor
$\delta$		Reflexöppningens dämpfaktor
BL	Bl	N/A Kraftfaktor, "hur många newton får jag för en ampére i talspolen?"
$L_v$		m Basreflexrörets längd
r		m Basreflexrörets radie, eller avstånd till högtalare
$S_v$		$m^2$ Reflexöppningens tvärsnittsarea
$S_s$	$S_d$	$m^2$ Konarea (egentligen ekvivalent kolvarea)
$\sigma$		Ändkorrektionsfaktor
$d_{max}$		m Maximal konamplitud
$V_{as}$		$m^3$ Den ljudvolym som ger samma fjädring på konen som högtalarelementets upphängning.
$V_v$		$m^3$ Reflexöppningens volym
Vb		$m^3$ Lådvolum



## Utförande av labben

Jämför resultaten på era förberedelseuppgifter och se om de verkar stämma överens. Har ni gjort olika så får ni enas om vilka system ni ska bygga upp. Finns det tid får ni gärna prova fler lösningar än de fyra "obligatoriska". Utför mätningarna i den ordning som anges i labprotokollet!

Gör en mapp på datorn där du sparar dina mätningar och ditt labprotokoll.

### **Tonkurva utanför lådan:**

Tonkurvan utanför lådan tas upp med hjälp av ett frekvenssvep från 10 till 1000 Hz. Använd mikrofonen på stativ c:a 1 m framför högtalarkonen. Datorprogrammet TombStone ställs in så att det inte lutar frekvenskurvan (dvs 0dB/oktav). Ställ mikrofonförstärkarens känslighet på 70dB och justera nivån så att ljudnivåmätaren som mest visar strax under 80dB (prova genom att svepa frekvensen manuellt med programmet Tone). Då blir inte mikrofonförstärkaren överstyrd.

Spara mätningen på fil.

### **Tonkurva mätt via tryck i lådan:**

Tonkurvan tas upp med hjälp av ett frekvenssvep från 10 till 1000 Hz. Använd mikrofonen inuti lådan. Datorprogrammet TombStone ställs in så att det lutar frekvenskurvan med +12dB/oktav. Ställ mikrofonförstärkarens känslighet på 120dB och justera nivån så att ljudnivåmätaren som mest visar strax under 130dB (prova genom att svepa frekvensen manuellt med programmet Tone). Då blir inte mikrofonförstärkaren överstyrd.

Spara mätningen på fil.

### **Distorsion:**

Ställ först in rätt ljudtryck inuti lådan. Använd programmet Tone för att mata ut en sinuston med rätt frekvens och styrka. Ljudtrycket *inuti* lådan ska motsvara 79dB *utanför* lådan på 1m avstånd i helrymd. Koppla sedan in mikrofonen utanför lådan (c:a 1m avstånd) och kontrollera att du fick ungefär 79dB ljudnivå (varför inte exakt?). Mät sedan upp styrkan på 2:a och 3:e deltonerna relativt grundtonen med programmet RTSect, dels vid 110Hz grundton, dels vid 35 Hz som är nära helmholtzresonansen för basreflexlådan (även slutna lådan mäts alltså vid *denna* frekvens, för att jämföra de två monteringsarna under samma betingelser).

Skriv ner distorsionen på protokollets första sida.

### **Elektrisk impedans:**

Funktionsväljare: Impedance

Impedansmätområde: Set

Oscillatorfrekvens: c:a 300 Hz

Reglera strömstyrkan till 0.6 mA med hjälp av signalnivåkontrollen

Justera "Set"-kontrollen till fullt skalutslag på impedansskalan

Ställ in mätområdet  $Z=100$  ohm

Ta upp frekvenssvep för impedansen med programmet TombStone. OBS! Ingen extra lutning av denna kurva!

Spara mätningen på fil.

**Labprotokoll**

Detta labprotokoll finns som fil i labbet och kan fyllas i på datorn, inklusive de impedans- och tonkurvor du mäter upp. Rutorna som innehåller tecknet ✍ ska du dock först fylla i som förberedelseuppgift i labpaket.

	Basreflexlåda enl. formler		Basreflexlåda enl. simulering		Sluten låda enl. formler		Sluten låda enl. simulering	
Lådvolymin	liter ✍		liter ✍		liter ✍		liter ✍	
Serieresistans	$\Omega$ ✍		$\Omega$ ✍		$\Omega$ ✍		$\Omega$ ✍	
Portens avstämning	Hz ✍		Hz ✍					
Distorsion 110 Hz 79 dB 1m								
2:a delton relativt grundton	dB	%	dB	%	dB	%	dB	%
3:e delton relativt grundton	dB	%	dB	%	dB	%	dB	%
Distorsion 35 Hz 79 dB 1m								
2:a delton relativt grundton	dB	%	dB	%	dB	%	dB	%
3:e delton relativt grundton	dB	%	dB	%	dB	%	dB	%
Impedanskurva	Klistra in dessa separat på de följande sidorna!							
Tonkurva mätt inuti lådan								
Tonkurva mätt 1 m framför lådan								

Basreflex enl. formler	
<p><b>Simulering impedans- och tonkurva</b></p> <p>Kurvorna kopieras från Basta! med ctrl-c</p> <p>Tips: genom att trycka ctrl-r så ställer både Basta! och Tombstone in ett x:y-förhållande på grafen på 25 dB/dekad</p>	<p>Klistra in din simulering här! ✍ (förberedelsen är att ordna en basta-fil)</p>
<p><b>Impedanskurva</b></p> <p>Gör en skärmdump med AltGr-Printscr</p>	<p>Klistra in en skärmdump här!</p>
<p><b>Tonkurva mätt inuti lådan</b></p> <p>Gör en skärmdump med AltGr-Printscr</p>	<p>Klistra in en skärmdump här!</p>
<p><b>Tonkurva mätt 1 m framför lådan</b></p> <p>Gör en skärmdump med AltGr-Printscr</p>	

Basreflex enl. Simulering	
<p><b>Simulering impedans- och tonkurva</b></p> <p>Kurvorna kopieras från Basta! med ctrl-c</p> <p>Tips: genom att trycka ctrl-r så ställer både Basta! och Tombstone in ett x:y-förhållande på grafen på 25 dB/dekad</p>	<p>Klistra in din simulering här! ✂ (förberedelsen är att ordna en basta-fil)</p>
<p><b>Impedanskurva</b></p> <p>Gör en skärmdump med AltGr-Printscr</p>	<p>Klistra in en skärmdump här!</p>
<p><b>Tonkurva mätt inuti lådan</b></p> <p>Gör en skärmdump med AltGr-Printscr</p>	<p>Klistra in en skärmdump här!</p>
<p><b>Tonkurva mätt 1 m framför lådan</b></p> <p>Gör en skärmdump med AltGr-Printscr</p>	

Sluten låda enl. formler	
<p><b>Simulering impedans- och tonkurva</b></p> <p>Kurvorna kopieras från Basta! med ctrl-c</p> <p>Tips: genom att trycka ctrl-r så ställer både Basta! och Tombstone in ett x:y-förhållande på grafen på 25 dB/dekad</p>	<p>Klistra in din simulering här! ✍ (förberedelsen är att ordna en basta-fil)</p>
<p><b>Impedanskurva</b></p> <p>Gör en skärmdump med AltGr-Printscr</p>	<p>Klistra in en skärmdump här!</p>
<p><b>Tonkurva mätt inuti lådan</b></p> <p>Gör en skärmdump med AltGr-Printscr</p>	<p>Klistra in en skärmdump här!</p>
<p><b>Tonkurva mätt 1 m framför lådan</b></p> <p>Gör en skärmdump med AltGr-Printscr</p>	

Sluten låda enl. simulering	
<p><b>Simulering impedans- och tonkurva</b></p> <p>Kurvorna kopieras från Basta! med ctrl-c</p> <p>Tips: genom att trycka ctrl-r så ställer både Basta! och Tombstone in ett x:y-förhållande på grafen på 25 dB/dekad</p>	<p><b>Klistra in din simulering här!</b> ✂ (förberedelsen är att ordna en basta-fil)</p>
<p><b>Impedanskurva</b></p> <p>Gör en skärmdump med AltGr-Printscr</p>	<p><b>Klistra in en skärmdump här!</b></p>
<p><b>Tonkurva mätt inuti lådan</b></p> <p>Gör en skärmdump med AltGr-Printscr</p>	<p><b>Klistra in en skärmdump här!</b></p>
<p><b>Tonkurva mätt 1 m framför lådan</b></p> <p>Gör en skärmdump med AltGr-Printscr</p>	

### **Roliga demonstrationer**

#### **Slutna lådan:**

- Se hur konutslaget ökar med minskande frekvens!

#### **Basreflexlådan:**

- Ställ in frekvens motsvarande helmholtzresonans. Se hur lite konen rör sig! Håll för öppningen och se hur membranutslaget ökar! Ändra frekvensen +/-5Hz och se hur utslaget ökar!
- Håll en cigarettändare framför en liten basreflexöppning nära  $f_h$ . Vid kraftig utstyrning blir öppningen överstyrd varvid ett DC-flöde uppstår. Se hur lågan böjer av åt ena hållet. Med större/längre port blir problemet mindre.

### **Förberedelseuppgifter**

Du ska dimensionera två slutna lådor och två basreflexlådor. Du ska bygga och mäta på båda lådtyperna under labben.

Du ska först beräkna systemen ”på pappret”, dvs med de formler och metoder som beskrivs i labpeket. Därefter ska du simulera systemen i Basta! och se vilken inverkan talspoleinduktans, baffelsteg och ett genomsnittligt rum ger, och justera dimensioneringen efter det.

Programmet kan du ladda hem från <http://www.tolvan.com/basta> och du ska ha fått ett serienummer via e-post som deltagare i kursen. Behöver du hjälp med att få igång Basta! Så kan du kontakta Svante via mail eller telefon, kontaktuppgifter finns på kurshemsidan.

### **I Basreflexlåda enligt formler**

Titta på databladet till högtalarelementet och läs igenom resten av labpeket. Utifrån detta ska du dimensionera en basreflexlåda med butterworthrespons. Du kommer alldeles säkert att behöva lägga till en serieresistans för att höja elementets Q-värde.

Lådvoly (10-46 liter): \_\_\_\_\_

Serieresistans (0-10 $\Omega$ ): \_\_\_\_\_ (kolla detta värde *noga*, det blir lätt fel!)

Basreflexportens längd (2 eller 20cm): \_\_\_\_\_

Basreflexportens tvärsnittsarea (2-64cm<sup>2</sup>): \_\_\_\_\_

Beräknad helmholtzfrekvens,  $f_h$ : \_\_\_\_\_

### **II Simulerad basreflexlåda**

Skapa ett nytt system i Basta! och modifiera parametrarna så att de stämmer med elementet och basreflexlådan du dimensionerade ovan.

Gör en kopia på systemet (knappen ”copy”). Gå till fliken ”Box” och klicka på Baffle designer. Slå på baffelsteget. Lablådans front är ungefär 35x40 cm och elementet sitter mitt på fronten. Justera baffelns utseende i ”baffle designer” så det passar med detta. Basreflexröret kan bara placeras på lådans framsida vilket egentligen är fel, men det spelar inte så stor roll.

Gå till fliken ”room gain” och slå på ”room gain”. Ändra inte värdena för pol och nollställe. Nu läggs en bashöjning till tonkurvan som motsvarar ett genomsnittligt rum. Höjningen är fri från de resonanser som ett vanligt rum har; de är ju rumsspecifika, men representerar ändå en höjning som det är vettigt att kompensera emot.

Nu har du en kurva som du kan ”leka med” genom att justera serieresistans, lådvoly och helmholtzfrekvens. Ofta är det lämpligt att sänka helmholtsfrekvensen något jämfört med butterworthdimensioneringen (som ju är härledd för frirymd). Serieresistansen vill man helst inte ha, pga verkningsgradsförlusten, så om den kan vara 0 ohm är det bra. Lådvolyten bör rent ekonomiskt och kanske även estetiskt vara liten, men stora lådor ger rent tekniskt bättre förutsättningar för god basåtergivning.



Du ska hitta en kompromiss som ger en någorlunda rak tonkurva under ~100 Hz med rumsförstärkning och baffelsteg påslagna. **Ta med en utskrift av tonkurvorna och .basta-filen till labbet, tex på USB-minne, diskett, CD eller via Internet.**

Filnamn: \_\_\_\_\_ (den här raden finns mest med för att du inte ska hoppa över den här uppgiften av misstag)

### III Slutna låda enligt formler

Titta på databladet till högtalarelementet. Utifrån detta ska du dimensionera en slutna låda med butterworthrespons dvs ett totalt Q-värde på 0,7. Du kommer att behöva göra detta med ett seriemotstånd för att höja elementets Q-värde, annars blir lådvolymin mindre än 10 liter.

Lådvolymin (10-46 liter): \_\_\_\_\_

Serieresistans (0-10 $\Omega$ ): \_\_\_\_\_ (kolla detta värde *noga*, det blir lätt fel!)

Beräknad undre gränsfrekvens  $f_c$ : \_\_\_\_\_

### IV Simulerad slutna låda

Gör på ungefär samma sätt som för basreflexlådan. Skapa ett nytt system i Basta! och modifiera parametrarna så att de stämmer med elementet och den slutna lådan du dimensionerade ovan. Du kan utgå från basreflexlådan och ändra serieresistansen, lådtypen och lådvolymin.

Gör en kopia på systemet. Slå på baffelsteget och room gain.

Nu har du ytterligare en kurva som du kan "leka med", och för den slutna lådan kan man bara justera serieresistans och lådvolymin.

Du ska hitta en kompromiss som ger en någorlunda rak tonkurva under ~100 Hz med rumsförstärkning och baffelsteg påslagna. Det kommer att bli svårt att få med djupbasen med den slutna lådan och det här elementet. **Ta med en utskrift av tonkurvorna och .basta-filen till labbet, tex på USB-minne, diskett, CD eller via Internet.**

Filnamn: \_\_\_\_\_ (den här raden finns mest med för att man inte ska hoppa över den här uppgiften av misstag)

### Övriga förberedelseuppgifter

• Fyll i de värden i labprotokollet som är markerade med symbolen  $\approx$ . Simuleringarna ska du göra, men eftersom du knappast kan rita av dem för hand i labhäftet tar du med dem elektroniskt till labbet. Har du fyllt i dem nu?

---

• Vad blir ljudnivån inuti en högtalarlåda om den har en volym på 20 liter, frekvensen är 40 Hz och ljudnivån är 79 dB på 1 m avstånd?

---

26 – **Förberedelser** - Elektroakustik laboration A, högtalare

- Vid vilka frekvenser uppstår det en stående våg mellan två parallella väggar om avståndet mellan dem är 32cm?

---

---

- Vad är det som begränsar metoden att mäta tonkurva med mikrofon inuti lådan uppåt respektive nedåt i frekvens?

---

---

- Finns det några problem med metoden, utöver frekvensbegränsningarna?

---

---

- Vad finns det för skäl att göra ett basreflexrör långt och med stor yta i stället för kort och med liten yta?

---

---

- Omvänt?

---

---

- Vilken kurva motsvarar högtalarelement, port resp summa i graferna (båda två) i fig. 4?

---

---