Elektroakustik

Laboration A, högtalare

Version 6.4
01-09-10 12:18

Svante Granqvist m.fl. 1996-2001

OBS! Förberedelseuppgifterna på rosa sidorna
är rätt omfattande och det är en förutsättning att
du gjort dem för att kunna och få labba!

Namn:____________________________

Laborationen/förberedelseuppgifterna godkända

Datum:____________________________

Sign:_____________________________

Test

Vad handlar labben om?

I förberedelseuppgifterna ska du dimensionera en sluten låda och en basreflexlåda enligt alla konstens regler. I lablokalen får sedan bygga dem och mäta hur resultatet blev. Du kommer att mäta bl.a. frekvensgång och verkningsgrad för de olika dimensioneringarna.
OBS! Det råder viss förvirring på beteckningar i detta pek beroende på att högtalarleverantören och elakkompendiet inte är överens. Anledningen till detta är i sin tur svensk resp (möjligen) amerikansk standard. På sista vita sidan hittar du en översättning.

Sluten låda

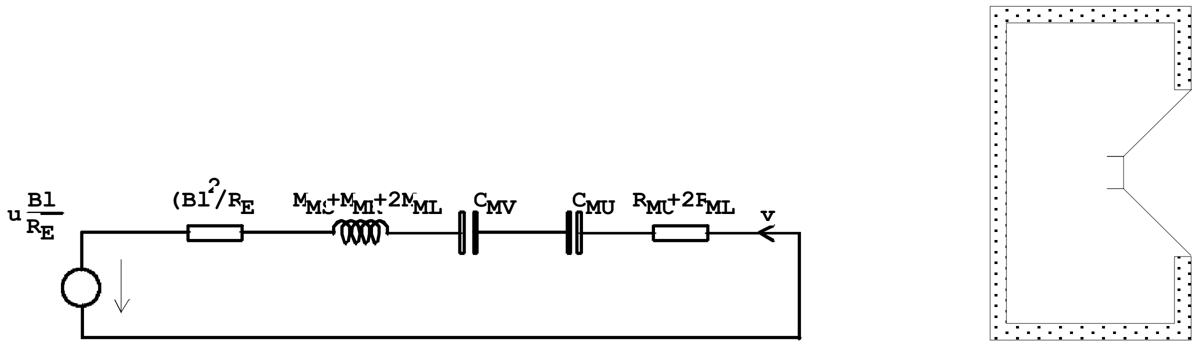


Fig 1. Den slutna lådans analogischema, beteckningar enl. elakkompendiet.

Om man tar ett högtalarelement och sätter det i en låda utan andra öppningar än elementets så har man fått ett slutet högtalarsystem. Den slutna lådans överförings funktionär i princip ett andra ordningens högpassfilter som karaktäriseras av en gräns frekvensf_0 och ett Q-värde, Q_t. Om lådan är oändligt stor blir f_0 lika med högtalar elementetsegenresonans f_s och Q_t 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_t höjs i motsvarande grad, eftersom:

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

Resonansfrekvensen för den slutna lådan blir då:

$$f_0 = f_s \frac{Q_t}{Q_{ts}}$$

och nödvändig lådvolym blir:

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

Ofta vill man att högtalarens högpasskaraktär ska vara av Butterworthtyp, dvs Q_t=0.7. Detta får då styra valet av lådvolym, man utgår från ett högtalarelement med ett Q_{ts}<0.7 och dimensionerar lådan så att Q_t=0.7. f_0 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 för att i viss mån kompensera för att f_0 inte blev tillräckligt låg. Resonanstoppen (eller snarare

kanske "resonansbullen") som blir kring undre gränsfrekvensen ger då ett intryck av kraftigare bas.
Om man inte är nöjd med vad f_0 blir får man välja ett annat högtalarelement med lägre f_0 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 högtalarens Q_{ts}, men minskar också dess verkningsgrad. Detta gör att man f_0 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 gränsfrekvens för högtalaren. För att beräkna värdet på seriemotståndet, se “Att ändra Q-värdet på ett högtalarelement med elektrisk serieresistans” längre fram i detta pek.
Ytterligare ett sätt att minska Q_t är att fylla lådan med dämpmaterial. Detta får dessutom effekten att lådan verkar större eftersom kompressionen av luften i lådan snarare blir isoterm än adiabatisk. Vidare minskar 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.

Exempel 1: dimensionering av en sluten låda

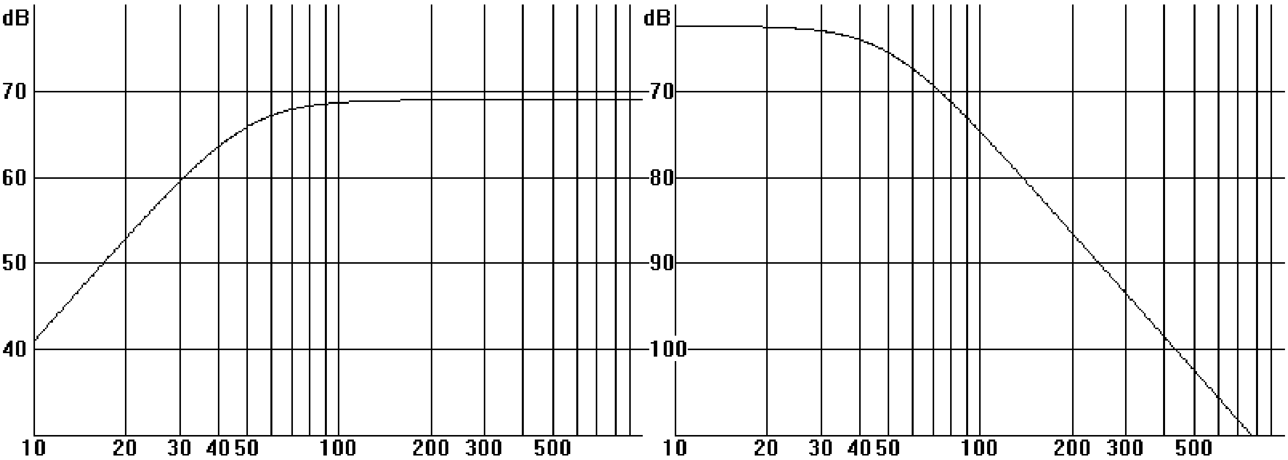


Fig 2. Teoretisk frekvensgång (vänster) och konamplitud (höger) hos ett butterworthdimensionerat slutet system med undre gränsfrekvens f_0=50Hz. De två dB-skalorna har godtyckligt valda referenser och kan givetvis inte jämföras med varandra. Bilderna kan även tjäna som förklaring till hur labbens metod att mäta frekvensgång 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.

Antag att vi har ett högtalarelement med egenresonansen f_s=20Hz, V_{as}=30liter, Q_{ts}=0.35, Re=8Ω, Bl=4N/A, Konarea S_s=0.005m^2. Vi önskar konstruera en sluten låda med butterworthrespons.
Butterworthrespons innebär att systemets Q-värde, Q_t, 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) till:

$$f_0 = 20\frac{0.7}{0.35} = 40Hz$$

Lådvolymen blir då enl. ekv. (5):

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

För 40Hz undre gränsfrekvens ska lådan alltså vara på 10 liter.
Vi kan också fritt välja en lådvolym och i stället ändra elementets Q-värde Q_{ts} till Q'_{ts} för att åstadkomma butterworthrespons. Om vi t.ex. väljer en lådvolym på 2 liter blir enl. ekv (6) och (4):

$$Q_{ts}' = \frac{0.7}{\sqrt{1 + \frac{0.030}{0.002}}} = 0.175 \qquad \text{och} \qquad f_0 = 20\frac{0.7}{0.175} = 80 Hz$$

Q_{ts} kan ändras mekaniskt med ett strömningsmotstånd 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:

$$R_s = \frac{1}{\frac{\rho_0 c^2 0.005^2}{0.03 \cdot 2\pi \cdot 20 \cdot 4^2}\left(\frac{1}{0.175} - \frac{1}{0.35}\right) + \frac{1}{8}} - 8 = -4.6\Omega$$

Med en 2-liters låda får vi alltså 80Hz undre gränsfrekvens och måste koppla en elektrisk resistans på -4.6Ω i serie med högtalaren.

Basreflexlåda

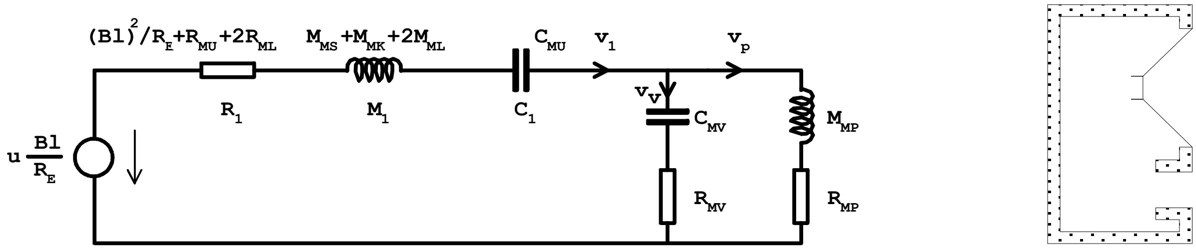


Fig 4. Basreflexlådans analogischema, beteckningar enl elakkompendiet.

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. 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 ~ sin ωt. Trycket i lådan blir då proportionellt mot integralen av konens hastighet, dvs ~ $-\omega^{-1}$ cos ωt. 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 propotionell mot integralen av trycket, dvs. ~ $-\omega^{-2}$ sin ωt. 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 ω^{-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 högpassfilter, man har därmed betydligt fler frihetsgrader när det gäller att bestämma frekvensgången än för den slutna lådan.
I praktiken vill man ofta dimensionera lådan så att den uppför sig som ett Butterworthfilter, även om en Tjebyshevdimensionering kan ge en lägre undre gränsfrekvens på bekostnad av ett rippel i frekvensgången ovanför undre gränsfrekvensen (vilket ju är "inbyggt" i Tjebyshevprincipen) samt större lådvolym. Sidorna (9-16) – (9-21) i kompendiet behandlar dimensionering av basreflexhögtalare.

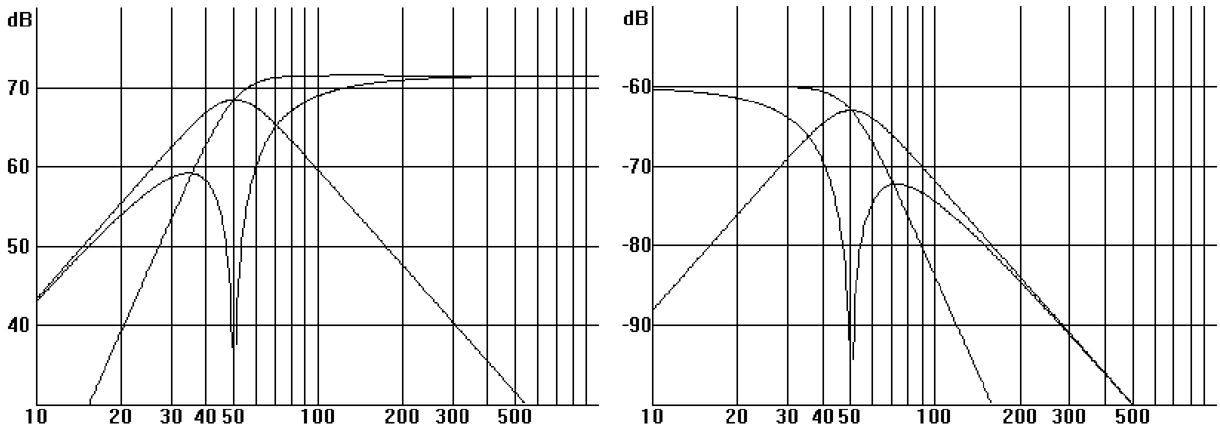


Fig 3. Teoretisk frekvensgång (vänster) och konutslag (höger) hos ett basreflexsystem avstämt till 50Hz, butterworthrespons samt utan förluster i låda resp port. De tre kurvorna i vardera diagrammet repesenterar högtalarelement, port och summan av dessa. "Konutslaget" för porten förutsätter samma area på port och högtalarelement. De två dB-skalorna har godtyckligt valda referensnivåer och kan givetvis inte jämföras med varandra.

Exempel 2: dimensionering av en basreflexlåda

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

	Polynomkoefficienter			Normerade parametrar				
dB rippel	k_1	k_2	k_3	γ	κ	α	β	δ
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:

•β=0 och δ=0 innebär att vi inte har några förluster i låda resp port, något orealistiskt kanske. Dessa förluster är svåra att beräkna och måste i regel mätas upp i varje enskilt fall.

Lådans volym:

•κ=0.31 innebär att C_{mu}=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 $V_{as}/\kappa=V_b$=65liter.

Högtalarelementets Q-värde:

•α=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:

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

Hur stort ska basreflexröret vara i sådana fall? Till och börja med ska det vara så stort att det ger f_h=30Hz. Ekv (13) eller sid 7-3 i kompendiet ger oss hur 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 massan i porten ska fortsätta att uppföra sig som en massa även vid hög amplitud. Väljer vi faktorn till 10 ska alltså rörets volym, V_v, vara $V_v=S_v L_v=10\ d_{max}\ S_s$=0.39liter.

Lite bollande med dessa ekvationer ger att att:

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

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

Vi sätter alltså elementet i en låda på 65 liter, med ett basreflexrör på ∅6cm×9cm och förstärkarens utimpedans ska vara 0Ω.

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 andragrads ekvation i rörradien, r:

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

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 ändkorrektioner.
L_1 är rörets fysiska längd utan ändkorrektion.
σ är ändkorrektionsfaktorn som typiskt är0.85 per sida, totalt1.7.
V_b är lådans volym.
ω_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 (det kan vi inte för lablådan kan inte bli 65 liter, men vi låtsas att vi kan det) så väljer vi längden L_1=20 cm och landar på en rörradie r=4.9cm vilket motsvarar en area på 75cm^2. Eftersom labbets rör är fyrkantigt och har en fast höjd på 4cm ska bredden på röret ställas in på knappt 19cm (vilket inte heller är möjligt med labutrustningen). Innesluten volym blir 0.75x2=1.5 liter vilket är mer än kravet på 0.39 liter. Vi kunde alltså ha haft ett kortare rör om vi velat.

Att ändra Q-värdet på ett högtalarelement med elektrisk serieresistans

Det kan förefalla märkligt att man kan ändra högtalarelementets Q-värde, Q_{ts}, med en elektrisk serieresistans. 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 en mekanisk resistans 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.

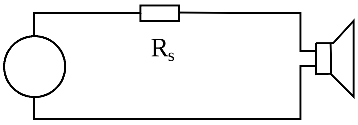


Fig 6. Ett motstånd i serie med högtalaren ändrar dess Q-värde.

Ekvationerna

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

och

$$C_{ms} = \frac{V_{as}}{\rho_0 c^2 S_s^2}$$

ger att totala mekaniska förlustresistansen är:

$$R_{mt} = \frac{\rho_0 c^2 S_s^2}{V_{as}\omega_s Q_{ts}}$$

och vi vill att den ska vara:

$$R'_{mt} = \frac{\rho_0 c^2 S_s^2}{V_{as}\omega_s Q'_{ts}}$$

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 förlusterna 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 talspoleresistans på:

$$R'_e = \frac{(Bl)^2}{R'_{me}} = \frac{(Bl)^2}{\frac{\rho_0 c^2 S_s^2}{V_{as}\omega_s Q_{ts}}\left(\frac{Q_{ts}}{Q'_{ts}} - 1\right) + \frac{(Bl)^2}{R_e}} = \frac{1}{\frac{\rho_0 c^2 S_s^2}{V_{as}\omega_s (Bl)^2}\left(\frac{1}{Q'_{ts}} - \frac{1}{Q_{ts}}\right) + \frac{1}{R_e}}$$

Vi måste alltså seriekoppla högtalaren med ett motstånd på:

$$R_s = \frac{1}{\frac{\rho_0 c^2 S_s^2}{V_{as}\omega_s (Bl)^2}\left(\frac{1}{Q'_{ts}} - \frac{1}{Q_{ts}}\right) + \frac{1}{R_e}} - R_e$$

Skulle motståndet bli negativt får vi ordna detta med positiv strömåterkoppling i det drivande förstärkaren. Blir det positivt kan vi använda oss av 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 frekvensgång med mikrofonen inuti högtalarlådan

I vanliga fall mäter man en högtalares frekvensgång i ett ekofritt rum genom att till mata högtalaren med ett frekvenssvep och mäta upp ljudtrycket med en mikrofon på lämpligt avstånd. Har man inte tillgång till ett ekofritt rum får man tillgripa andra metoder. I labben mäts frekvensgången 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 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 eller -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 figur 2 och möjligen en aning mer svårgenomskådat även i figur 3. 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 lådvolymen.

Exempel:

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

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

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

Genom att mäta ljudtrycket inuti lådan och derivera detta två gånger fås alltså en signal proportionell mot det avgivna ljudtrycket på lådans utsida. I labbet finns en “derivataderiverare” som gör det åt oss.
Metoden fungerar bra så länge $\lambda/2 >>$ 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 de flesta ekofria rum som ofta har en undre gränsfrekvens runt 50-100Hz. Den fungerar dock inte för öppna lådor eller horn.

Labutrustningen

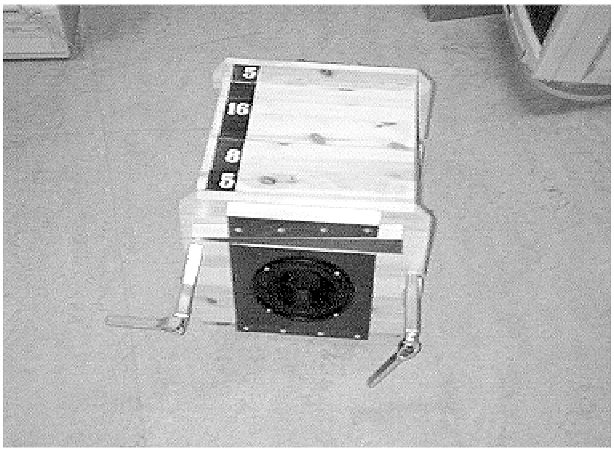
I labbet finns följande delar att bygga ett högtalarsystem av:

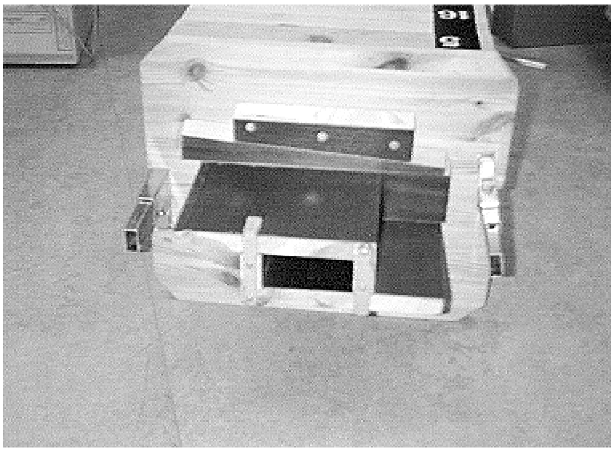
Lådan:

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 dm^2, vilket gör att man får 1 liter lådvolym per cm lådlängd. Genom att sätta ihop valda ramar kan en lådvolym på mellan 10 och 46 liter i steg om 1 liter åstadkommas. Ett fåtal volymer kan dock inte uppnås på detta sätt, då får man välja närmast möjliga volym. På fronten sitter högtalarelementet och på bakstycket en eventuell basreflexöppning.

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^2 åstadkommas L-profilerna finns i två längder, 2 cm resp 20 cm





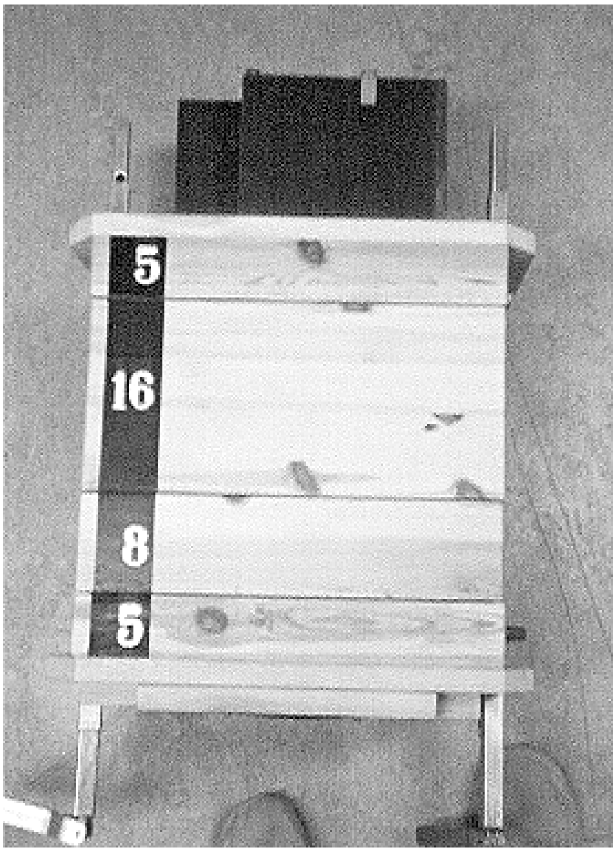


Fig. 7. Uppe till vänster ses lådan från baffelsidan med Peerlesselementet monterat. Plattan med elementet kläms fast med en kil.
Uppe till höger ses lådans baksida med 20cm-porten monterad. Porten består av två L-formade bitar som kan skjutas relativt varandra och på så sätt uppnås en variabel tvärsnittsarea. Porten är utbytbar 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.

	Baffel	**Bakst.**	**Ram 3**	**ram 4**	**ram 5**	**ram 8**	**ram 16**
Volym[l]	**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 8. 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.

“Derivataderiverare”

För att klara mätning av frekvensgång med mikrofonen inne i lådan måste mikrofonsignalen tidsderiveras två gånger. Detta motsvarar en lutning i frekvensgången på 12dB/oktav. I labbet finns en burk som klarar detta upp till c:a 1 kHz, däröver är frekvensgången rak. Över denna frekvens är det knappast meningsfullt att ha fortsatt lutning på överföringsfunktionen eftersom stående vågor i lådan redan satt mätmetoden ur spel. Överföringsfunktionen för derivataderiveraren är:

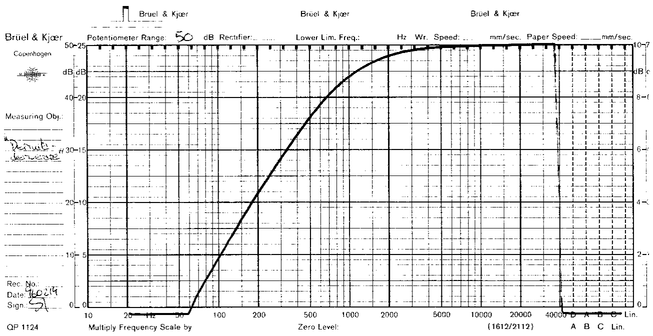


Fig 9. Frekvensgång för derivataderiveraren.

$H(s)=\alpha\omega_0/(s-\omega_0)^2$

där $\omega_0=2\pi\cdot1061$ rad/s, α är varierbar mellan 0 och 100.

Motstånd:

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

Högtalarelement:

I labbet finns ett högtalarelement Peerless 18 WR33/12 PPB AL-8
Följande är saxat ur databladet för Peerlesselementet:

Thiele Small parameters			**Free air**	**Common**	**Baffled**
Nominal Impedance	Z_{nom}	(Ω):		8.0	
Minimum impedance/at freq	Z_{min}	(Ω/Hz):		6.8/323	
DC resistance	Z_o	(Ω):		6.1	
Voice coil inductance	L_e	(mH):		0.9	
Capacitor in series with 8Ω (For impedance compensation)	C_e	(µF):		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 fs/Qts)	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	Φ	(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 ±5.5mm

Liten formelsamling

Resonansvinkelfrekvens, allmänt	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{MC}}$	(1)
Q-värde, allmänt	$Q = \frac{\omega_0 M}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} = \frac{\sqrt{M/C}}{R}$	(2)
Mekanisk kapacitans, allmänt	$C = \frac{V}{\rho_0 c^2 S^2}$	(3)
Resonansfrekvens för högtalare i sluten låda	$f_0 = f_s \frac{Q_t}{Q_{ts}}$	(4)
Lådvolym, sluten låda	$V_b = \rho_0 c^2 S_s^{\;2} \frac{C_{ms}}{\left(\frac{Q_t}{Q_{ts}}\right)^2 - 1} = \frac{V_{as}}{\left(\frac{Q_t}{Q_{ts}}\right)^2 - 1}$	(5)
Önskat Q-värde för högtalarelement, sluten låda	$Q_{ts} = \frac{Q_t}{\sqrt{1 + \frac{V_{as}}{V_b}}}$	(6)
Rörradie, basreflexrör	$r = \frac{\sigma A}{2} \pm \sqrt{\left(\left(\frac{\sigma A}{2}\right)^2 + L_1 A\right)}$ där A = $(V_b \omega_h^2)/(c^2 \pi)$ och L_1 är rörets fysiska längd utan ändkorrektion.	(7)
Lådvolym som ger samma fjädring som C_{ms}	$V_{as} = C_{ms} \rho_0 c^2 S_s^{\;2}$	(8)
Total mekanisk resistans i högtalarelementet	$R_{mt} = \frac{\rho_0 c^2 S_s^2}{V_{as} \omega_s Q_{ts}}$	(9)
Mekanisk resistans från den elektriska resistansen i talspolen	$R_{me} = \frac{(Bl)^2}{R_e}$	(10)
Önskad elektrisk serieresistans för att uppnå visst Q-värde Q'_{ts} hos element	$R_s = \frac{1}{\frac{\rho c^2 S_s^{\;2}}{V_{as} \omega_s (Bl)^2} \left(\frac{1}{Q'_{ts}} - \frac{1}{Q_{ts}}\right) + \frac{1}{R_e}} - R_e$	(11)
Ljudtryck (linjärt) inuti högtalarlådan	$P_i = P_y \frac{4 r \pi c^2}{\omega^2 V_b}$	(12)
Resonansvinkelfrekvens för helmholtz-resonator	$\omega_h^{\;2} = c^2 \frac{S_v}{L_v V_b}$	(13)
Verkningsgrad	$\eta = \frac{\rho_0}{2\pi c} \frac{(Bl)^2}{R_e} \frac{S_s^{\;2}}{m_0^{\;2}}$	(14)

Test

Några beteckningar

f_s Högtalarelementets resonansfrekvens

f_h Helmholtz-resonansfrekvens

f_0 Gränsfrekvens (allmänt)

B 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} Högtalarelementets mekaniska fjädring

C_{mv} C_{MV} Fjädring från luften innesluten i lådan.

C_{tot} Total fjädring

M Massa (allmänt)

M_{MS} Talspolens mekaniska massa

M_{MK} Konens mekaniska massa

M_{ML} Medsvängande luftens mekaniska massa

M_{MP} Mekanisk massa i reflexöppningen

R_e R_E Elektrisk resistans hos talspolen (DC resistance, Z_0, i databladet)

R_{me} Mekanisk resistans härstammande från den elektriska resistansen i talspolen

R_{mt} Total mekanisk resistans i högtalarelementet

R_{ms} Total mekanisk resistans i högtalarelementet, exklusive R_{me}

R_{MP} Mekanisk resistans i reflexöppningen

R_{MV} Mekanisk resistans i lådan

R_{MU} Mekanisk resistans i konupphängningen

R_{ML} Mekanisk resistans motsvarande strålningsresistansen

γ Förhållande mellan elementets och resonatorns resonansfrekvens i kvadrat

κ Förhållande mellan elementets och lådans fjädring

α Högtalarelementets dämpfaktor

β Lådans dämpfaktor

δ Reflexöppningens dämpfaktor

Bl Kraftfaktor, “hur många newton får jag för en ampére i talspolen?”

L_v Basreflexrörets längd

r Basreflexrörets radie, eller avstånd till högtalare

S_v Reflexöppningens tvärsnittsarea

S_s Konarea

σ Ändkorrektionsfaktor

d_{max} Maximal konamplitud

V_{as} Den lådvolym som ger samma fjädring på konen som högtalarelementets upphängning.

V_v Reflexöppningens volym

V_b Lådvolym

Test

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 två "obligatoriska". En beskrivning av hur varje typ av mätning utförs finns under "mätningar".

Mätningar

Utför mätningarna i den ordning som anges i labprotokollet!

Frekvensgång:

Frekvensgången tas upp med hjälp av ett frekvenssvep från 2 till 2000 Hz. Använd mikrofonen inuti lådan och låt signalen passera genom derivataderiveraren innan den går till skrivaren. Ställ mikrofonförstärkarens känslighet på 120dB och justera nivån så att ljudnivåmätaren som mest visar strax under 130dB (prova genom att svepa frekvensen manuellt). Då blir inte mikrofonförstärkaren överstyrd.

Verkningsgrad:

Verkningsgraden mäter vi genom att mäta ljudtrycket inuti lådan samt inmatad effekt. Ljudtrycket inuti lådan räknas om till totalt avgiven effekt utanför lådan. Om högtalaren strålar i fri rymd gäller

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

där

P_i är beloppet av ljudtrycket inuti lådan.

P_y är beloppet av ljudtrycket utanför lådan på avståndet r.

V_b är lådvolymen.

Verkningsgraden är:

$\eta = W_{ut} / W_{in}$

Distorsion:

Ställ först in rätt ljudtryck inuti lådan. Ljudtrycket ska motsvara 79dB utanför lådan på 1m avstånd i helrymd. Koppla sedan in mikrofonen utanför lådan (c:a 1m avstånd), koppla ur derivataderiveraren och kontrollera att du fick ungefär 79dB ljudnivå. Mät sedan upp 2:a och 3:e delton med spektrumanalysator, dels vid 100Hz grundton, dels vid helmholtzresonansen för basreflexlådan.

Elektrisk impedans:

Se till att derivataderiveraren är urkopplad.
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
Svep frekvensen manuellt och justera skrivarens känslighet efter maxutslaget.
Ta upp frekvenssvep för impedansen på skrivaren.
Notera impedans och frekvens vid resonanser, samt impedans vid "platån" runt 500-1000Hz.

Test

Labprotokoll

Följ labprotokollet uppifrån och ner så att du gör de viktigaste sakerna först. Symbolen ✍ betyder att värdet beräknas i förberedelseuppgifterna.

System I: Basreflexlåda

Serieresistans ___________Ω ✍

Lådvolym ___________liter ✍

- Verkningsgrad 100Hz, 79dB, 1m
  - Ljudtryck inuti lådan ___________dB ✍
  - Akustisk effekt från högtalaren ___________W ✍
  - Signal till högtalaren _________V, _________A, fasvinkel=________
  - Inmatad aktiv effekt till högtalaren ___________W
  - Verkningsgrad ___________%
- Distorsion 100Hz, 79dB, 1m
  - Ljudtryck inuti lådan ___________dB ✍
  - Grundton 100Hz
  - 2:a delton (200Hz) ___________dB rel grundton ____________% av grundton
  - 3:e delton (300Hz) ___________dB rel grundton ____________% av grundton
- Distorsion vid helmholtzresonans, f_h, 79dB, 1m
  - Ljudtryck inuti lådan ___________dB ✍
  - Grundton, f_h ___________Hz ✍
  - 2:a delton ($2f_h$) ___________dB rel grundton ____________% av grundton
  - 3:e delton ($3f_h$) ___________dB rel grundton ____________% av grundton
- Impedanskurva
- Frekvensgång

System II: Sluten låda

Serieresistans ___________Ω ✍

Lådvolym ___________liter ✍

- Verkningsgrad 100Hz, 79dB, 1m
  - Ljudtryck inuti lådan ___________dB ✍
  - Akustisk effekt från högtalaren ___________W ✍
  - Signal till högtalaren _________V, _________A, fasvinkel=________
  - Inmatad aktiv effekt till högtalaren ___________W
  - Verkningsgrad ___________%
- Distorsion 100Hz, 79dB, 1m
  - Ljudtryck inuti lådan ___________dB ✍
  - Grundton 100Hz
  - 2:a delton (200Hz) ___________dB rel grundton ____________% av grundton
  - 3:e delton (300Hz) ___________dB rel grundton ____________% av grundton
- Distorsion vid helmholtzresonansen f_h i system I, 79dB, 1m
  - Ljudtryck inuti lådan ___________dB ✍
  - Grundton (f_h för system I) ___________Hz ✍
  - 2:a delton ($2f_h$) ___________dB rel grundton ____________% av grundton
  - 3:e delton ($3f_h$) ___________dB rel grundton ____________% av grundton
- Impedanskurva
- Frekvensgång

Uppmätning av högtalarelementets mekaniska parametrar:

Membranytan beräknas som cirkelytan med diameter d uppmätt mitt i det rörliga området av kantupphängningen.

d = _____________m, $S = \pi d^2/4$__________m^2

Det omonterade elementet ansluts till en voltmeter och via ett förkopplingsmotstånd, åtminstone några gånger större än märkimpedansen, till en tongenerator. Eftersom tongeneratorn har en utimpedans på 50Ω, duger detta som förkopplingsmotstånd. Elementet ställs med membranet uppåt. Finn egenresonansens frekvens fs, där spänningen blir maximal. Alternativt ställ in maximalt konutslag med hjälp av mikroskopet.

f_s = _____________Hz

Uppskatta Q-värdet av bandbredden på den mekaniska resonansen genom att mäta -3dB-bandbredden på spänningstoppen vid resonans.

f_+ = _________Hz, f_- = ___________Hz, $B = f_+ - f_-$ = __________Hz, $Q_{ms} = f_s/B$= __________

Belasta membranet med en känd massa m_1 i form av c:a åtta enkronor á 7.0 gram och mät upp den nya lägre resonansfrekvensen f_1. Minska nivån så mycket att kronan inte hoppar. (Rolig uppgift: hur stor är konaccelerationen när kronan just börjar hoppa?). Beräkna elementets svängande massa, inklusive medsvängande luft som

f_1 = ____________Hz $m_0 = m_1 \cdot f_1^2/(f_s^2 - f_1^2)$=______________kg

Den fria kolvens hela medsvängande luft är densamma som ena sidans hos bafflad kolv. Kan uppskattas ur ändkorrektionsformeln som

$m_L = d^3 \rho_0/3$ = ___________kg

Beräkna mekaniska fjädringen som

$C_m = 1/(m_0 \omega_s^2)$ = _____________m/N ($\omega_s = 2\pi f_s$)

Lägg högtalarelementet under mikroskopet och koppla in likströmsmatningen. Ta märke på membranets höjdläge i strömlöst tillstånd. Belasta membranet med massa m_2 (t.ex. åtta enkronor) och återför det till utgångsläget genom att mata med strömmen I_1.

m_2 =________________kg, I_1 = ________________A

Överföringsfaktorn kan beräknas som

$A_1 = -A_2 = BL = F/I_1 = 9.81 m_2/I_1$ =___________________N/A

Mät resistansen i högtalarspolen med en ohmmeter

R_E = _________________Ω

Den märkimpedans som anges på högtalarelementet är ett medelvärde för hela frekvensområdet och ungefär 20% högre än likströmsresistansen.

Högtalarelementets verkningsgrad kan beräknas ur

$\eta=(\rho_0/(2\pi c)) \cdot ((BL)^2/R_E) \cdot (S^2/m_0{}^2)=$ ________________%

Vill du jämföra denna teoretiska verkningsgrad med de uppmätta i de akustiska mätningarna måste du inkludera de olika förkopplingsmotstånden i R_E.

Test

Förberedelseuppgifter

Du ska dimensionera en sluten låda och en basreflexlåda enligt alla konstens regler. Du ska bygga och mäta på båda lådtyperna under labben.
Om du vill göra någon annan dimensionering än butterworth för system I så är det helt OK. Egna idéer uppmuntras! Du måste dock göra en ordentlig beräkning av dina konstruktioner

I Basrelexlåda

Titta på databladet till högtalarelementet. 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.

Lådvolym (10-46 liter): ____________________

Serieresistans (0-10Ω): ____________________ (kolla detta värde *noga*, det blir lätt fel!)

Basreflexportens längd (2 eller 20cm): ____________________

Basreflexportens tvärsnittsarea (2-64cm^2): ____________________

Beräknad helmholtzfrekvens, f_h: ____________________

II Sluten låda

Titta på databladet till högtalarelementet och läs igenom resten av labpeket. Utifrån detta ska du dimensionera en sluten 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 lådvolymen mindre än 10 liter.

Lådvolym (10-46 liter): ____________________

Ev serieresistans (0-10Ω):____________________(kolla detta värde *noga*, det blir lätt fel!)

Beräknad undre gränsfrekvens: ____________________

Övriga förberedelseuppgifter

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

- Om högtalaren ger ljudintensitetsnivån 79dB på 1m avstånd i helrymd och ekofritt rum, hur mycket akustisk effekt strålar den då ut?

- Vad blir ljudnivån inuti samma låda om den har en volym på 20 liter och frekvensen är 40 Hz (79dB, 1m)?

- Fyll i de värden i labprotokollet på gula sidorna som är markerade med symbolen ✍. Observera att ljudnivåerna inuti lådan är beroende av både lådvolym, frekvens och nivån utanför lådan.

• Vad är det som begränsar metoden att mäta frekvensgång som används i labben uppåt respektive nedåt i frekvens?

• Finns det några problem med metoden, utöver frekvensgången?

• 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 i fig. 3?