

# ***Forord:***

Denne boken tar for seg ulike sider ved å lage høyttalere. Den er ment som en begynnelse for folk som er interessert i høyttalerbygging, de som liker å gjøre det selv. Det er en fordel med å ha vært i nærheten av en høyttaler før, og helst ha litt matematiske kunnskaper. Den kan også passe for de litt viderekomne som vil øke forståelsen for høyttalersystemer.

Det er ikke tatt med absolutt alt innenfor høyttalerverden, men nok til å kunne lage en bra høyttaler. Det er ofte lurt å prøve seg frem selv, og å få erfaring til å kunne lage gode høyttalere. Det er ikke alltid teori stemmer med praksis, da det vil være flere elementer som vil påvirke resultatet i virkeligheten.

Boken inneholder de mest vesentlige emnene innen høyttalerkonstruksjon, og viser simulerte resultater fra dataprogram for å vise hvordan høyttalersystemet vil komme til å fungere.

Hensikten med boken er å gi en innsikt i hvordan en kan gå frem for å lage en høyttaler fra bunnen av, men tar ikke med måleresultater fra ferdige høyttalere.

Etter hovedkapitlene er det tatt med to forskjellige selvbygg prosjekter, der det trinn for trinn går frem hva som gjøres. Uten litt bakgrunn med høyttalere, kan det være vanskelig å lage en skikkelig high-end høyttaler bare ved å lese boken, men den gir et grunnlag for en god start.

Mye av det som er med i boken er basert på egne erfaringer og litt hobbyforskning.

## **2. utgave:**

2. utgaven er utvidet med flere filterremner og nye/omskrevne prosjekter med andre høyttalerelementer. Det er tatt med nye emner og oppskrifter som kan hjelpe på forståelsen, og for å gjøre det lettere å komme nærmere drømmehøyttaleren. Den inneholder også flere grafer og figurer, og er omredigert for en bedre oversikt.

## **3. utgave:**

3. utgaven inneholder litt mer teori i kapittel 1, og det er tatt med frekvensrespons for bassrefleks og trykkammer i kapittel 4. Det er også lagt til ytterligere filterremner i kapittel 5, og 3. ordens filteret er forandret. I prosjektene er det nye delefiltere som er bedre tilpasset elementene, og nye kasse mål. Teksten er omskrevet noen steder for bedre forståelse, og boken er generelt omredigert med forandringer der det var nødvendig.

*Frode Nasset*

# ***Innhold:***

**Side:**

---

Kapittel 1:	<i>Hva er en høyttaler?</i>	4
	• Lydbølger	6
	• Mekanisk system	9
	• Impedans	10
	• Virkningsgrad	11
	• Forhold mellom slaglengde, areal og effekt	13
Kapittel 2:	<i>Hvordan lage høyttaler?</i>	14
	• Trinn for trinn	15
	• Konstruksjon	17
Kapittel 3:	<i>Høyttalervalg</i>	18
	• Konfigurasjon	19
	• Tilkobling	20
	• Tilpasninger	21
	• Databladverdier	23
	• Effektfordeling	24
Kapittel 4:	<i>Høyttalerkasse</i>	25
	• Akustikk	27
	• Kassetyper	29
	• Beregningsvariabler	31
	• EBP	33
	• Trykkammer	34
	• Bassrefleks	38
	• 4. ordens båndpass	45
	• Tidsforsinkelse	48
	• Konstruksjon	49

Kapittel 5:	<i>Filter</i>	52
	<ul style="list-style-type: none"><li>• 1. ordens filtre</li><li>• 2. ordens filtre</li><li>• 3. ordens filtre</li><li>• 4. ordens filtre</li><li>• RC-shunt</li><li>• LC-shunt</li><li>• Parallell sperrefilter</li><li>• Nivådempingskretser</li><li>• Hvordan velge delefilter</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>54</li><li>59</li><li>61</li><li>64</li><li>67</li><li>71</li><li>77</li><li>79</li><li>85</li></ul>
Kapittel 6:	<i>Sub prosjekt</i>	86
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hva er en subwoofer?</li><li>• Datablad</li><li>• Kasseberegninger</li><li>• Delefilter</li><li>• Konstruksjon</li><li>• Komponentliste</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>88</li><li>89</li><li>90</li><li>93</li><li>94</li><li>96</li></ul>
Kapittel 7:	<i>Hi-fi prosjekt</i>	97
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Høytalerelementene</li><li>• Datablader</li><li>• Kasseberegninger</li><li>• Delefilterberegninger</li><li>• Konstruksjon</li><li>• Komponentlister</li><li>• Plass til egne notater</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>99</li><li>100</li><li>102</li><li>105</li><li>108</li><li>110</li><li>111</li></ul>

# ***Kapittel 1:***

## **Hva er en høyttaler?**



Peerless XLS269SWR-830452

## 1.1 Hva er en høyttaler:

En høyttaler er en elektroakustisk omformer som mottar elektrisk vekselstrøm fra en lydforsterker og omdanner den til lydbølger som stråles ut fra høyttaleren. Virkningsgraden er lav. Bare noen få prosent av den tilførte energi stråles ut som lyd. Resten omdannes til varme i høyttaleren. Membranen går i resonans i det nedre frekvensområdet som den klare å gjengi. En høyttaler består av:

- Permanent magnet
- Talespole
- Konisk membran
- Sentreringsoppheng for membranen
- Ramme rundt elementet
- Støvhette i midten av membranen.

### 1.1.1 Virkemåte:

Vekselstrøm sendes gjennom talespolen via to utvendige tilkoblingspunkter. Strømmen danner et magnetfelt i spolen. Dette feltet blir påvirket av permanentmagneten som setter en flate(membran) i bevegelse slik at den svinger i takt med vekselstrømmen. Membranen setter luften i bevegelse, og det dannes akustiske bølger som svinger i takt med membranen. Vanligvis øker evnen til å gjengi dype toner med kabinetvolumet, opptil en viss størrelse.

### 1.1.2 Høyttalerelement i kasse:

Rent fysisk skjer følgende, på et høyttalerelement i bevegelse i en kassekonstruksjon, enten det er trykkammer eller bassrefleks/transmisjonslinje:

1. Når elementet beveger seg innover i kassen skapes et overtrykk.
2. Når elementet beveger seg utover i kassen skapes et undertrykk.

Da kassen enten er helt tett, eller har åpning av en eller annen type, blir denne luftkomprimering-dekomprimering en effektiv luft bremse og en fjær.

Fig. 1

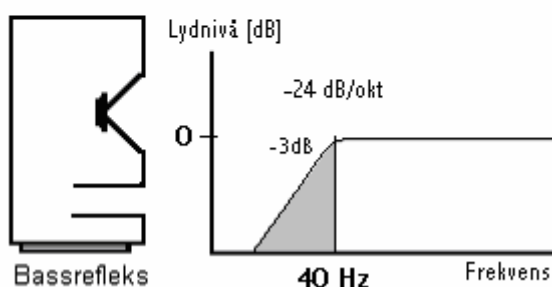
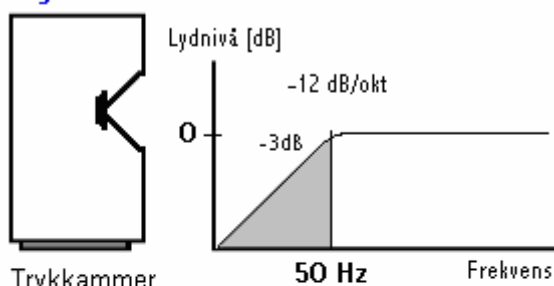


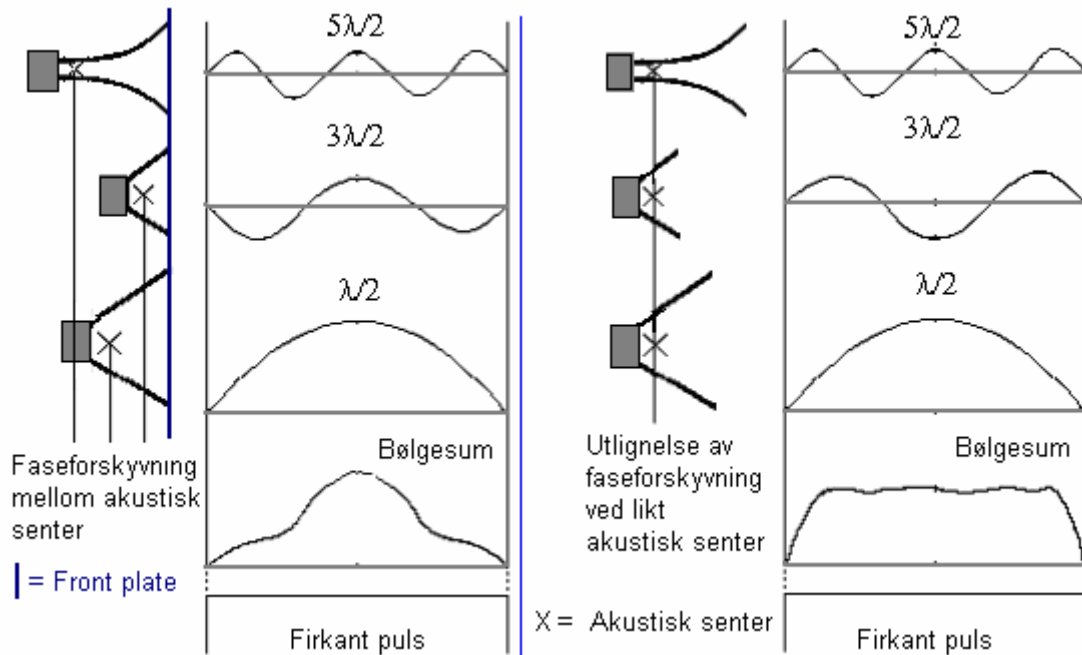
Fig. 2

Bassfallet etter knekkfrekvensen gjenspeiler fasevridningen som i Fig. 1 er 180 grader, og 270-360 grader i Fig. 2, avhengig av portens utforming og demping. I Fig. 1, som er et trykkammer, er -3 db punktet 50 Hz. P.g.a. overnevnte blir bassfallet 12 dB/okt. I Fig. 2, som er bassrefleks, trekkes basskurven amplitudemessig ned til 40 Hz, da man utnytter den bakoverstrålte energi fra elementet til å komme tidsforsinket i fase med den foranstrålte energi fra elementet via bassrefleksåpningen. Bassfallet blir på hele 24 dB/okt under knekkpunktet og tidsforsinkelsen 270-360 grader. I en bassreflekskasse kan man altså få basslyd med full effekt en del dypere enn i trykkammer, men etter tuningfrekvensen til kassen begynner effekten å avta mye raskere enn i et trykkammer. Kurven synker raskere i bassrefleks enn i trykkammer, men begynner å falle litt senere. Dette kan variere avhengig av størrelsen og lengden på bassrøret.

## 1.2 Lydbølger:

For å gjengi musikk med et så optimalt lydbilde som mulig, må både amplitude og tidsrekkefølgen på musikksignalet viderebringes med minst mulig endring. Da er det viktig at elementene er plassert på samme vertikale linje sett fra det akustiske senteret til elementene.

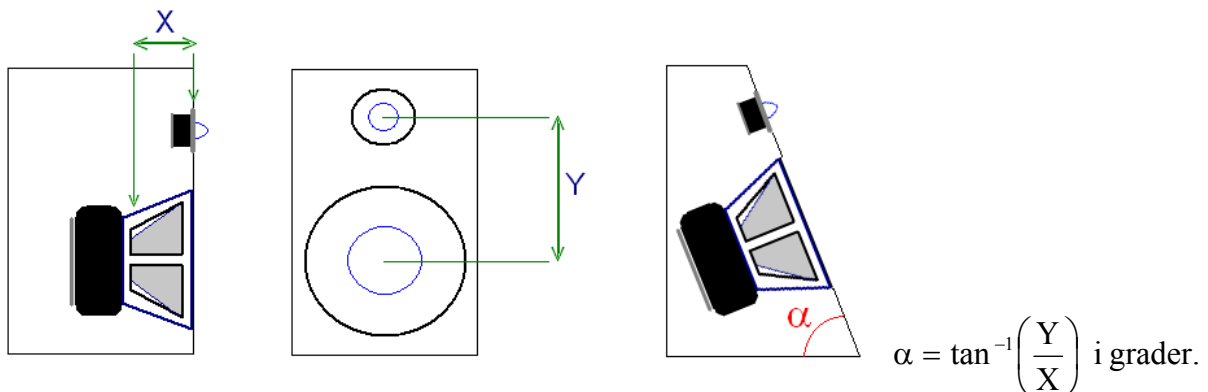
Lyd er fortetninger og fortynninger i luften, og spres ut som lydbølger på samme måte som når en stein treffer vannet og lager bølger i ring rundt midtpunktet. Dette midtpunktet blir det samme som et akustisk senter i høyttalerelementet.



For at lydimpulsen skal bli som over, må elementene bli plassert på frontplaten slik at det akustiske senteret i hvert element ligger på den samme vertikale linjen.

Dette kan på en enkel måte realiseres ved å innfelle diskanten et stykke i platen, mens bassen blir montert utenpå platen. Eventuelt kan frontplaten tiltes litt slik at kassen får en skrå front, men dette kan også medføre mulige akustiske faseforskyvninger.

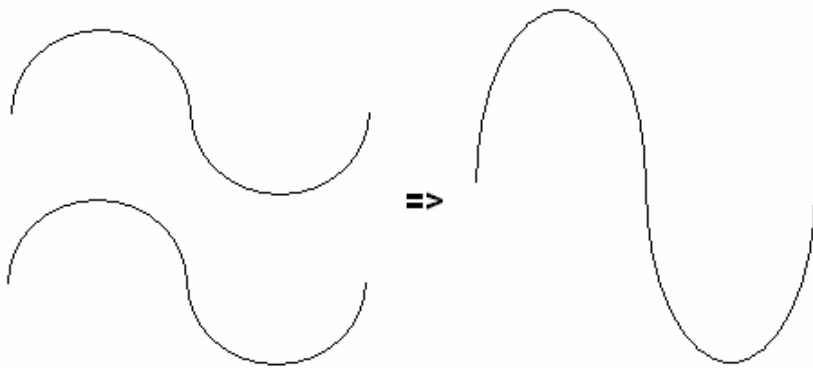
For å finne ut hvor mye frontplaten må tiltes for at elementenes akustiske sentre skal komme likt i forhold til hverandre, kan følgende figurer være til hjelp:



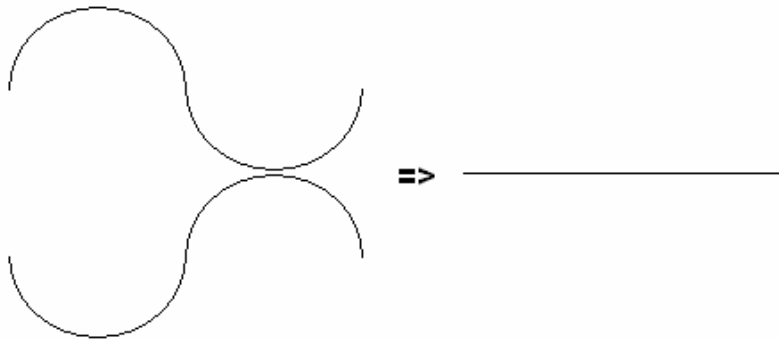
$X$  = avstand mellom elementenes akustiske sentrum på horisontal aksene.

$Y$  er avstanden mellom elementenes akustiske sentrum på vertikal aksene.

Amplituden dobles hvis to bølger har lik fase:



Amplituden utlignes hvis to bølger har motsatt fase:



### 1.2.1 Frekvensområde:

En høyttaler skal ideelt sett dekke hele frekvensområdet som det menneskelige øret oppfatter, fra 20 - 20000 Hz. Det er imidlertid de færreste høyttalerne som klarer dette, men det er ikke nødvendigvis et stort problem, fordi øret ikke er like følsomt i de dypeste og mest høyfrekvente lydene. Frekvens er svingninger pr. sekund, høy frekvens er mange svingninger pr. sekund, og lav frekvens er få svingninger pr. sekund. Farten til lyd i luft er ca. 340 m/s, men varierer ofte mellom 330 og 350 m/s. Høyfrekvent lyd har høy energi, og kort bølgelende. Lavfrekvent lyd har liten energi og lang bølgelende, men mer kraft.

$$\text{Frekvens: } f = \frac{1}{T}$$

$$\text{Bølgelengde er forholdet mellom lydfart og frekvens: } \lambda = \frac{v}{f}$$

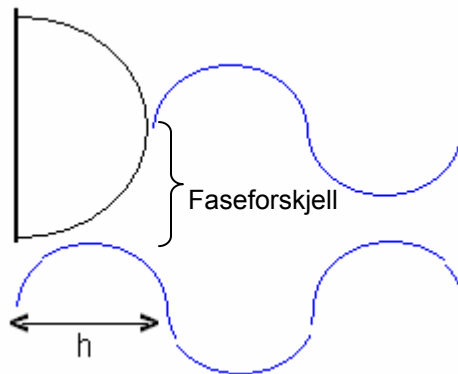
Et høyttalersystem er ofte bygd opp av flere høyttalerelementer som tar seg av hvert sitt frekvensområde. En bass tar for seg dype frekvenser, mellomtone tar for seg frekvenser i mellomregisteret, der de fleste instrumenter opptre, og en diskant tar for seg de høyeste frekvensene. For at disse skal kunne samarbeide med å gjengi musikken, trengs det diverse elektriske kretser som filtrerer bort det hver av dem ikke trenger.

### 1.2.2 Domediskanter:

Domediskanter får en amplitude utlignelse ved frekvenser der bølgelengden er lik 2 ganger høyden på domen.

Første fasetap skjer ved:  $f = \frac{v}{\lambda/2} = \frac{340}{\lambda/2}$        $v = \text{lydfart}$        $\lambda = 2h$  i meter,  $h = \lambda/2$

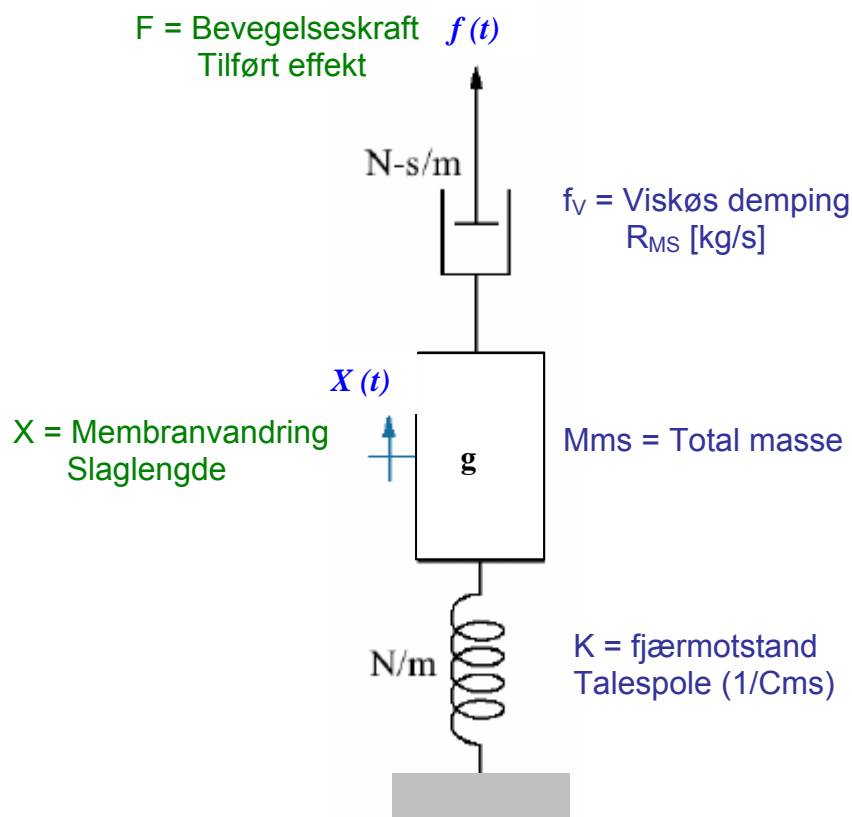
Neste fasetap skjer ved  $f_n = nf$ , der  $n$  er et helt tall 0,1,2...



Faseforskjell mellom domens midtpunkt og domens ytterpunkt gjør at amplituden blir null.



### 1.3 Mekanisk system til et dynamisk høyttalerelement:



Membranvandring ved frekvens  $f$ : 
$$X(f) = \frac{Bl \cdot I}{(4\pi^2 f^2 M_{MS}) + (2\pi f \cdot R_{MS}) + \frac{1}{C_{MS}}} 1000 \text{ [mm]}$$

Membranvandringen er for element i friluft.  $I = \text{strøm i element. } Bl = \text{kræfffaktor}$

Resonansfrekvens til element: 
$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_{ms} \cdot M_{ms}}} \text{ [Hz]}$$

$R_{ms} = \text{Viskøs demping [kg/s]}$

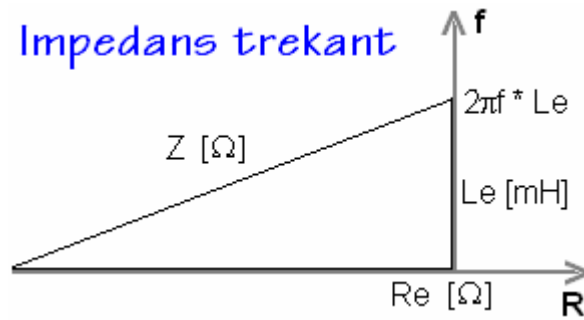
$C_{ms} = \text{Fjærings/opphengs ettergivenhet. [m/N]}$

$M_{ms} = \text{total masse til element, inkl. masse til membranen, talespolen, oppheng og luftmassen. [kg]}$

Oppførsel ved økt masse på membranen:

- Beveger seg kortere ved lik effekt i forhold ordinær masse.
- Lavere følsomhet.
- Får lavere/dypere resonansfrekvens.

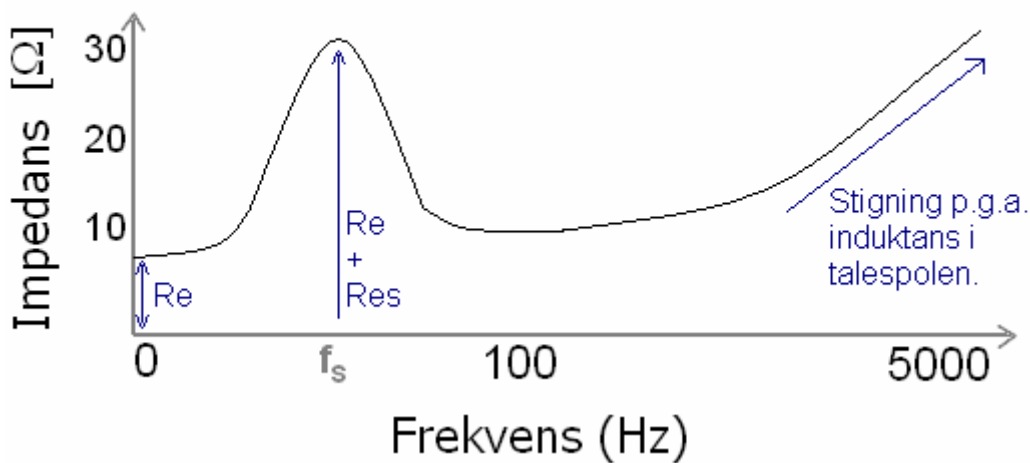
Impedansen til et høyttalerelement kan beskrives matematisk ved hjelp av en rettvinklet trekant, der Z kan finnes ved hjelp av Pytagoras regneregel:



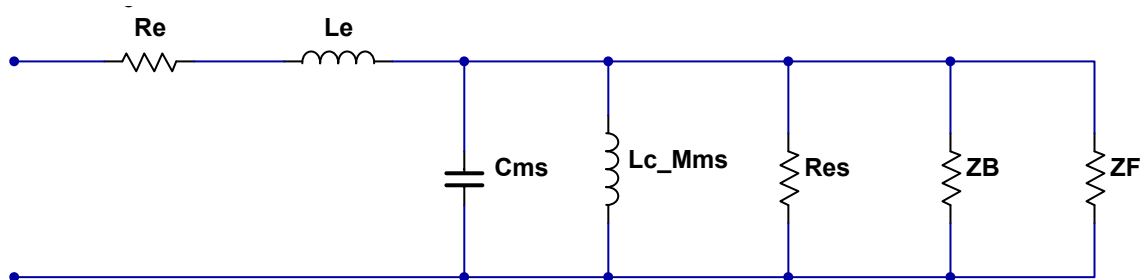
$$Z = \sqrt{Re^2 + (2\pi f \cdot Le)^2}$$

Diagram over impedansevariasjonen som funksjon av frekvens, med en topp rundt resonansfrekvensen,  $f_s$ :

### Impedanse diagram



Kretsmodell av høyttalerelement:



- Re:** DC resistans.
- Le:** Talespole induktans.
- Cms:** Mekanisk ettergivenhet.
- Mms:** Mekanisk masse motstand.
- Res:** Motstand ved resonansfrekvens.
- ZB:** Strålings resistans på elementets bakside.
- ZF:** Strålings resistans på elementets framside.

## 1.4 Virkningsgrad:

Virkningsgraden til et høyttalerelement sier noe om hvor mye av den tilførte elektriske effekten fra forsterkeren som blir omgjort til lydbølger. Ut fra virkningsgraden kan SPL beregnes, som angir hvor høyt elementet spiller med 1 Watt tilført på én meters avstand.

For å beregne den effektive virkningsgraden til et element, må  $Q_{es}$ ,  $V_{AS}$  og  $F_s$  være kjent.

Disse verdiene står i databladet til elementet.

---

$$\eta_0 = 9,64 \cdot 10^{-10} \cdot (F_s^3) \cdot \left( \frac{V_{AS}}{Q_{es}} \right)$$

$\eta_0$  gir et tall på virkningsgraden.

---

$Q_{es}$  er Q-verdien til det elektriske systemet i høyttaleren.

$F_s$  er resonansfrekvensen til høyttaleren, i Hz.

$V_{AS}$  er ekvivalent volum til høyttaleren, i liter.

$\eta_0$  blir ofte oppgitt i prosent:  $\% \eta_0 = \eta_0 \cdot 100 \%$

Utgitt akustisk effekt fra høyttaler:  $P_{UT} = \% \eta_0 \cdot P_{INN}$

$P_{UT}$  er akustiske effekten som høyttaleren gjengir.

$P_{INN}$  er den tilførte effekten fra forsterkeren.

For å beregne verdien på høyttalerens SPL (1W/1M) utfra  $\eta_0$  brukes følgende formel:

---

$$SPL = 112 + [10 \log(\eta_0)]$$

---

SPL er oppgitt i desibel (dB)

### Eksempel:

Virkningsgrad til Vifa M30W0-49-08, en 12" bass.

$Q_{es} = 0,25$

$F_s = 21 \text{ Hz}$

$V_{AS} = 400 \text{ liter}$

$$\eta_0 = 9,64 \cdot 10^{-10} \cdot (21^3) \cdot \left( \frac{400}{0,25} \right) = \underline{\underline{0,0143}}$$

$$\% \eta_0 = 0,0143 \cdot 100 \% = \underline{\underline{1,43 \%}}$$

$$SPL = 112 + [10 \log(0,0143)] = \underline{\underline{93,55 \text{ dB}}}$$

Fra SPL formelen spiller en høyttaler som er 100 % effektiv 112 dB med 1 Watt tilført på én meters avstand:

$$\text{SPL} = 112 + [10 \log(1)] = 112 + (10 \cdot 0) = \underline{\underline{112 \text{ dB}}}$$

---

Tabell over virkningsgrad og SPL:

Virkningsgrad i %	SPL (dB)
0,1	82
0,2	85
0,35	87,44
0,5	89
0,75	90,75
1	92
2,5	95,98
5	99
7,5	100,75
10	102
25	106
50	109
75	110,75
100	112

} *Normalt for de fleste høyttalere.*

---

For å finne virkningsgraden når SPL er oppgitt, er det bare å snu litt på SPL formelen:

$$\eta_0 = \left( 10^{\frac{\text{SPL}-112}{10}} \right)$$

$$\% \eta_0 = \left( 10^{\frac{\text{SPL}-112}{10}} \right) \cdot 100 \%$$

**Eksempel:**

Virkningsgrad i prosent til Vifa M30W0-49-08 med SPL = 93,55 dB:

$$\% \eta_0 = \left( 10^{\frac{93,55-112}{10}} \right) \cdot 100 \% = \underline{\underline{1,43 \%}}$$

## 1.5 Forhold mellom slaglengde, areal og effekt:

Volumet med luft som et element kan flytte er proporsjonal med slaglengde og areal:

$$V_D = X_{MAX} \cdot S_D$$

$X_{MAX}$  = maksimal lineær slaglengde til basselement, oppgitt i mm.

$S_D$  = overflatearealet på membranen til et basselement, oppgitt i  $cm^2$ .

---

For å finne hva som er nødvendig i forhold til det elementet som brukes for å oppnå en viss effekt, kan følgende forhold være til hjelp:

- Med dobbelt membran areal er det bare nødvendig med halvert slaglengde:

$$2 S_D = \frac{X_{MAX}}{2}$$

- Med halvert membran areal er det nødvendig med dobbel slaglengde:

$$\frac{S_D}{2} = 2 X_{MAX}$$

- Hvis frekvensen reduseres med én oktav blir slaglengden firedobbel:

$$\frac{F}{2} = 4 X_{MAX}$$

- Hvis frekvensen økes med én oktav blir slaglengden redusert fire ganger:

$$2 F = \frac{X_{MAX}}{4}$$

- Når slaglengden halveres kan det bare oppnås halvert akustisk effekt:

$$\frac{X_{MAX}}{2} = \frac{SPL}{2}$$

- Når slaglengden dobles, dobles den mulige akustiske effekten:

$$2 X_{MAX} = 2 SPL$$

SPL = akustisk effekt i dB.

F = frekvens i Hz.

## ***Kapittel 2:***

### **Hvordan lage høyttaler?**

- Fra idé til ferdig konstruksjon

## **2.1 Hvordan lage høyttaler:**

Hvordan man går frem når en høyttaler skal lages kan være mye opptil hver enkelt. Her vises en "oppskrift" på hva man bør ha med, og hvordan man kan gå frem trinn for trinn. Når en høyttaler skal komponeres må en ikke nødvendigvis følge fremgangsmåten under, men det er en enkel og grei måte å komme gjennom de forskjellige delene som en høyttalerkonstruksjon ofte inneholder.

### **2.1.1 Trinn for trinn oppskrift:**

1. Første trinn er å komme frem til en idé om hva slags type høyttaler som skal lages. Skal høyttaleren være en stor eller liten, hvor avansert skal systemet være og hvilke deler må være med for å få ønsket resultat. Bestemme seg for om det skal være et to-veis eller tre-veis system o.s.v. Hva er hensikten med denne høyttaleren, og hva er det endelige målet? Kan godt velge kassetype også hvis man liker en bedre enn den andre.
2. Neste naturlige trinn vil ofte være å finne hvilke elementer man vil bruke, og hvor mange. En høyttaler med stort kabinett bruker som vanlig store elementer, eller det kan brukes flere små som til sammen tilsvarer den tiltenkte størrelsen i areal. Det første elementet som velges er mye etter smak og behag. Basselementet kan f. eks. velges først, da man har en formening om størrelsen til dette. Når man så bestemmer seg for diskanten eller mellomtonen, er det nødvendig å velge dette ut fra de tilpasninger som må til for å det skal fungere bra med det første elementet som ble valgt. Pris, kvalitet og type materiale elementene er laget av, velges fritt etter ønske når man har funnet en gruppe elementer som passes sammen.
3. Hvis det ikke ble valgt en spesiell kassetype i begynnelsen, kan dette velges ut fra Qts-verdiene til baselementet, eller helst finne ut verdien på EBP. Ved å beregne både bassrefleks og trykkammer, vil det vise seg hvilken type som blir størst, og da kan man velge det som passer best ut fra egne behov og ønsker. Hvis den ene kassetypen blir usannsynlig stor, er det som oftest lurt å velge et annet kabinett. Eventuelt er det også mulig å velge element ut fra kassetype, og kanskje prøve seg frem hvis man har et simuleringsprogram på PC'en.
4. Når elementene er valgt, og man har databladene foran seg, kan delefilteret bestemmes. Hvor skal elementene deles, hvilken delefrequens passer for begge elementene for å utnytte de best? Når delefrequensen er funnet, kan lavpass og høypass delen beregnes, slik at elementene blir delt inn i hver sitt arbeidsområde. Etterpå kan eventuelt diverse korreksjonskretser beregnes, alt ettersom det er behov for det og avhengig av hvor avansert og dyrt systemet skal være. Følsomheten bestemmes også her, et avansert delefilter av høy

orden kan gjøre systemet mindre følsomt og vanskeligere å drive. Hvis kassen er veldig liten, er det ikke anbefalt å bruke store delefilter. Hvis det brukes flere elementer til samme delefilter, må den totale motstanden passe til delefilteret. Dette kan realiseres med ulike former for seriekoblinger eller parallellkoblinger.

5. Når kassen, elementer og delefilter er på plass, er hoveddelen av høyttaleren ferdig. Men kassen må ofte dempes, og da må det finnes ut hvilket dempemateriale som er best egnet til kassetypen som ble valgt. Hvor mye må kassen dempes, hvor skal dempematerialet plasseres inne i kassen? Mer eller mindre demping av kassen avgjør hvilken klang det blir til slutt, og kassens Q-verdi endres også litt. Små kasser dempes ofte mer enn store kasser, og spesielt trykkamre bør ofte dempes kraftigere enn bassreflekskabinetter. Her kan også velges profilert skum sammen med dempeull for å skape en akustisk ujevn overflate. Dempematerialene limes fast til kabinettveggene.
  
6. I tillegg til dempemateriale, er det lurt å lage noen avstivere til kassen. Hvor mange avstivere er nødvendig, og hvor skal disse plasseres? Antall avstivere kan velges fritt. Mange avstivere tar opp plass, men øker også vekten og stivheten til kabinettet. Store kabinetter bør ha flere avstivere enn små kabinetter.
  
7. Når kassen skal bygges, må det finnes et passende byggemateriale og tykkelse på dette. Tykkelsen på byggemateriale kan varieres etter størrelsen på kabinettet. Hvor stort kabinett og tykke plater er nødvendig? Platene kan egentlig være så solid som mulig uansett hvor stort kabinettet er, men tykkelsen må helst økes ved store volum. Hvis kabinettet skal være smalt, kan platene være smalere og antall avstivere kan økes istedenfor.
  
8. Siste trinn i prosessen blir å velge et design på høyttaleren. Hvordan skal den se ut, hvor skal den passe inn, hvor skal den plasseres, hva skal fremheves, hvor viktig er det at den får et fint design?



## 2.1.2 Konstruksjon:

Litt om kabinettkonstruksjon og utregning av mål til kabinettplatene:

1. Det første som må regnes ut, er de innvendige målene til kabinettet. Her brukes vanlig volumberegning. Volumet kan godt velges litt større enn beregnet volum, for å kompensere for delefilter, avstivere, bassrør og elementer som opptar plass. Formen på høyttaleren må taes i betraktning. Skal kabinettet være smalt, høyt eller dypt, eller en kombinasjon?
2. Når de utvendige målene skal beregnes, må en ta utgangspunkt i de innvendige målene, og legge til platetykkelsen på hver side. Da blir det utvendige målet lik innvendig mål pluss platetykkelse.
3. Litt av poenget med å finne ut innvendige og utvendige mål, er å finne frem til størrelsen på de ulike platene som kabinettet skal bygges av. For å få en fin finish, passer det fint med å la frontplaten ha målene til utvendig bredde og utvendig høyde. Sidene kan da ha målene til innvendig dybde og utvendig høyde. Topp- og bunnplaten får da automatisk målene til innvendig bredde og innvendig dybde. Målene på platen velges fritt, men det blir uansett en kombinasjon av de utvendige og innvendige målene.
4. Målene til avstiverne avhenger av innvendige mål, og ellers den dybden, bredden eller høyden man velger for å få de så stor som ønsket. De må jo beregnes slik at de får plass, og slik at de ikke deler kabinettet opp i flere deler og dermed lager flere kamre. Hvis hele plater brukes, må disse gjennomhulles ved å f. eks. å skjære ut noen sirkelhull.
5. Kabinettet må være så tett som mulig, og da bør platene helst skrues og limes fast. Hvis platene kommer litt skjevt i forhold til hverandre, kan det ordnes med litt sparkel og høvling. Hovedmålet blir å få kassen helt tett.
6. Hvis det bygges et ekstra kammer for sandfylling, må dette beregnes som et volum i seg selv, i tillegg til kabinettvolumet. Platemålene kan da bli litt forskjellige, men det varierer litt etter hvordan kassen blir konstruert og bygd.

## ***Kapittel 3:***

### **Høytalervalg**

- Konfigurasjon
  - Tilkobling
  - Tilpasninger
- Databladverdier
- Effektfordeling

### 3.1 Høyttalerkonfigurasjoner:

Et høyttalersystem kan være oppdelt med et visst antall elementer, fordelt med hver sin oppgave. Antall delefrequenser blant elementene sier noe om hvor mange "veier" den er delt inn i.

Hensikten med å dele opp systemet i flere deler, er at hvert element bare behøver å arbeide i et mindre frekvensområde og man utnytter det beste fra hvert element.

Jo flere deler, jo mer avansert blir systemet, men kan til gjengjeld blir en totalt bedre konstruksjon.

#### 3.1.1 Oversikt over vanlige konfigurasjoner:

Antall -veis:	Består av:	Minimum antall elementer:	Antall delefrequenser:	Merknad:
1	Fulltone	1	0	Et element som dekker hele frekvensområdet.
1 1/2	Fulltone + bass	2	1	Bassen tar seg av dype frekvenser sammen med fulltone elementet.
2	Bass/mellomtone + Diskant	2	1	Bassen tar seg av bass og mellomtoneområdet.
2 1/2	Bass + Bass/mellomtone + Diskant	3	2	Et ekstra basselement som bare spiller dybbass sammen med den andre bassen.
3	Bass + Mellomtone + Diskant	3	2	Mellomtonen deles mellom bass og diskant, og får to delefiltre.
4	Subbass + bass + mellomtone + diskant	4	3	Subbassen tar seg av dybbassen, mens bassen tar seg av mellombassen.
4	Bass + mellomtone + diskant + superdiskant	4	3	Superdiskanten avlaster diskanten og spiller mer høyfrekvente lyder.

En høyttaler kan ha så mange elementer som er ønsket. En to-veis høyttaler trenger ikke bare ha to elementer, den kan f. eks. ha flere basselementer som gjengir samme frekvensområdet. En høyttaler med 4 basselementer, 3 mellomtoner og 2 diskanter er fortsatt et 3-veis system hvis det bare er to forskjellige delefrequenser.

### 3.2 Tilkoblingsmuligheter:

For at en høyttaler skal kunne kobles til forsterkeren, må det være et utvendig tilkoblingspunkt for å feste høyttalerledningene. Det er selvfølgelig mulig å koble til en lang ledning innenfra høyttaleren som "stikker ut" fra bakplaten i en ønsket lengde, men da blir det vanskeligere å bytte ledningstype og lengde senere.

Antall tilkoblinger som er nødvendig avhenger litt av hvor mange delefilter som er inne i kassen. Hvis det bare er ett delefilter, kan man bare ha en tilkoblingsterminal på utsiden.

Selv om det er flere delefilter og elementer inne i kassen, er det fortsatt mulig å samle alle ledningene i ett punkt, og bare ha en terminal på utsiden.. Men med flere innvendige tilkoblinger, kan det brukes et likt antall utvendige tilkoblinger.

Hensikten med flere tilkoblingsterminaler er at hvert element eller delefilter får ett eget tilkoblingspunkt til forsterkeren. De kobles da til uavhengig av hverandre på innsiden, men kan festes sammen på utsiden hvis ønsket.

Med flere terminaler, blir det mulighet for å koble en egen forsterker til hvert av elementene. Det kan f.eks. være en forsterker til bassen, og en annen til diskanten. Da er det mulig å få bedre lyd, og man kan velge den forsterkeren som passer best til hvert element. Det er ikke alltid det vil være noen forskjell i lyd kvaliteten, men det blir flere muligheter.

#### 3.2.1 Oversikt over de tre vanligste tilkoblingsmåtene:

Type	Minimum antall delefilter/elementer:	Antall utvendige koblingspunkter/terminaler:
Single-wiring	1	1
Bi-wiring	2	2
Tri-wiring	3	3

Single-wiring er den vanligste og letteste å bruke, og kan brukes til alle forskjellige høyttalere.

Bi-wiring kan brukes i to-veis høyttalere, men kan også f.eks. brukes i 3-veis systemer, der bassen får ett tilkoblingspunkt, og mellomtone og diskant deler på det andre.

Tri-wiring kan brukes 3-veis høyttalere, men også til 2 <sup>1</sup>/<sub>2</sub> -veis systemer osv.

*NB! Minus må aldri kobles til pluss, for da blir det kortslutning!*

### 3.3 Tilpasninger:

I en høyttaler er det flere deler som må passe sammen for å få best mulig resultat. De ulike komponentene i systemet må ofte tilpasses hverandre, slik at det ikke blir for stor forskjell i ytelse mellom f.eks. elementene.

Alle høyttalerelementer har en viss følsomhet. Når det velges ut elementer til systemet, bør disse ha lik følsomhet ved 2,83V/1m i dB. Hvis ikke må de tilpasses hverandre med enten å dempe nivået i et element, eller bruke flere av et annet for å få lik følsomhet. Dette er nødvendig for at høyttaleren skal kunne spille like høyt over hele frekvensområdet.

En høyttaler er oppgitt til å tåle et bestemt antall watt tilført fra forsterkeren, en effekt tålighet. Det er en fordel om alle elementene tåler like mye effekt, ellers blir ikke systemets effekt tålighet bedre enn til det elementet som tåler minst. Dette gjør at høyttalerne kanskje ikke kan spille så høyt som man skulle ønske.

Høyttalerelementene som skal fungere sammen og dele på frekvensområdet, må ha en frekvenskurve som ser noenlunde lik ut frem mot delefrekvensen. Den nominelle impedansen trenger ikke nødvendigvis være den samme, men det vil i noen tilfeller være en fordel. F. eks hvis bassen har en nominell impedans på  $8\Omega$  og diskanten er  $6\Omega$  kan diskanten kobles sammen med en seriemotstand på  $2\Omega$ . Nivået til diskanten blir samtidig dempet litt, og effekt tåligheten øker litt.

Delefrekvensen til et element bør være i det frekvensområdet der kurven er mest mulig lineær, et godt stykke før resonansfrekvensen. Området rundt delefrekvensen må hvert element helst klare å gjengi like lineært, slik at elementene får like gode betingelser for lydgjengivelsen sin. En bass må ha lineær kurve opp til delefrekvensen, og diskanten må ha lineær kurve ned mot delefrekvensen. Elementene kan altså velges ut fra hvor lineær frekvenskurven er ved ønsket delefrekvens, slik at de passer sammen og kan gi en fin overgang. Det er også en fordel om elementene har lik kvalitet, slik at det ikke blir ett veldig godt element, og ett dårlig. Et system er ikke bedre enn sitt svakeste ledd...

Delefilteret må tilpasses hvert enkelt element, der impedansen til elementet ofte må korrigeres for å passe sammen med delefilteret. Dette er forskjellig fra element til element. Hvis det brukes flere elementer til samme frekvensområdet, må det sørges for at den totale impedansen blir lik impedansen som delefilteret skal arbeide mot. Delefilterets bratthet er ofte lik for både bass og diskant, men i visse tilfeller trenger ikke bassen like bratt filter som diskanten på grunn av resonansfrekvens og effekt tålighet til diskanten. Kvaliteten på delefilterkomponentene er også med på å avgjøre lyd kvaliteten.

Kassetypen som velges, bør tilpasses til hvilket element som brukes. Noen elementer passer bare i trykkammer, og noen passer bare i bassrefleks. Dette må undersøkes, ellers kan lyden bli en litt annen enn den som var tenkt.

Hensikten med alle tilpassningene er å gi høyttalersystemet like arbeidsvilkår og lik kvalitet i hele frekvensområdet.

Målet er å få alle komponentene og elementene i høyttalersystemet til å fungere som én enkel enhet, og virke som om det bare var ett høyttalerelement som gjorde alt like bra. I praksis er ikke dette alltid like lett, og teorien stemmer ikke nødvendigvis med praksis i alle tilfeller da en del faktorer ikke blir tatt hensyn til. For å få et best mulig utgangspunkt blir både gode komponenter i delefilteret, god kvalitet på elementene og en solid kasse viktige faktorer. Et "dårlig" element på papiret kan noen ganger rettes på i delefilteret.

### 3.4 Databladverdier:

Hvert høyttalerelement har et datablad som kan benyttes når delefilteret og høyttalerkabinettet skal beregnes, og som må brukes for å kunne velge element ut fra de tilpasninger som må til.

Dataverdiene til et element kalles også **Thiele-Small parametere**.

#### 3.4.1 Oversikt over databladverdier:

Data:	Symbol:	Benevning:	Betydning for:	Merknad:
Nominell impedans	$Z_N$	$\Omega$	Delefilter, forsterkerlast.	
Minste impedans	$Z_{\min}$	$\Omega/\text{Hz}$	Delefilter	Høyere, jo bedre
Maks impedans	$Z_{\max}$	$\Omega$	Delefilter, resonansfrekvens.	Lavere, jo bedre.
DC motstand	Re	$\Omega$	Nominell impedans	
Talespole induktans	Le	mH	Nominell impedans	
Resonansfrekvens	Fs	Hz	Hvor dypt den går, delefilter.	Lavere, jo bedre.
Frekvensområde		Hz	Elementets frekvenskurve.	Bruker sjelden hele området.
Mekanisk Q	Qms		Qts	
Elektrisk Q	Qes		Qts	
Total Q ved Fs	Qts		Kasstype.	Mellom 0-1
Mekanisk motstand	Rms	Kg/s	Bevegelighet, følsomhet.	
Bevegelig masse	Mms	gram (g)	Bevegelighet, følsomhet, resonansfrekvens.	
Luftmasse	Rho	g	Mellomtoneboks.	
Opphengets ettergivenhet	Cms	mm/N	Hvor lett elementet beveger seg, $f_s$	Til slavebass-beregninger.
Membran diameter	D	cm	Diameter mellom øvre oppheng.	
Membran areal	Sd	cm <sup>2</sup>	Kraftfaktor.	
Ekvivalent volum	V <sub>AS</sub>	liter (l)	Kassestørrelse.	
Kraft faktor	BL	Txm	Kraftig lydtrykk. $F = BL \cdot I$	Høyere, jo kraftigere.
Følsomhet	SPL	dB	Lydstyrke ved 1W eller 2,83 V.	Høyere, jo lettere å drive.
Drivseffekt		Watt (W)	Effekt som må til for å drive elementet.	Mindre, jo bedre.
Maks effekt	Pe	W	Effekt tålighet, maks SPL	
Maks lineær slaglengde	X <sub>MAX</sub>	mm	Membran vandring, kraftfaktor, maks SPL	Lengre, jo bedre.
Talespole diameter	d	mm	Kraftareal.	
Talespole lengde	h	mm	Kraftfaktoren og slaglengden.	Lengre, jo større kraft
Høyde på luftåpning	hg	mm	Slaglengden.	
Magnet vekt/høyde/dia	/hm/dm	kg/mm	Kasstype, slaglengde, kraft.	Jo større, jo bedre

Følsomheten ved 2,83 V/1m = 1W/1m ved 8Ω elementer og 2W/1m ved 4Ω elementer. Men to elementer på henholdsvis 8Ω og 4Ω oppgitt med følsomhet på 90dB ved 2,83 V/1m vil spille like høyt. Talespole blir også kalt svingespole.

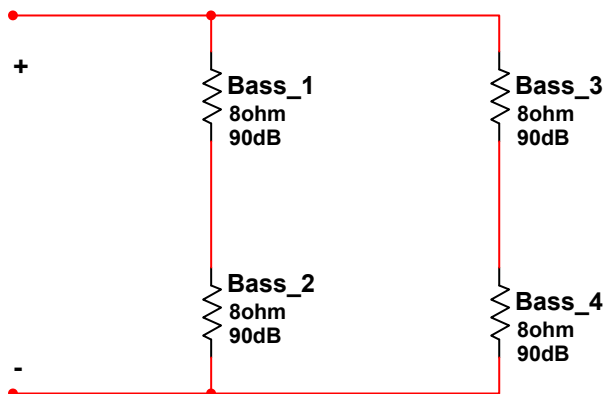
Man får sjelden bruk for alle verdiene, noen verdier brukes ved forskjellige beregninger.

### 3.5 Effektfordeling og følsomhet med 4 elementer:

Alle elementer har lik følsomhet (SPL 2,83V/1m) på 90 dB.

To elementer koblet i serie gir en demping i følsomheten på 3dB.  $10\log(1/2) = -3\text{dB}$

To elementer koblet i parallell gir en økning i følsomheten på 3dB.  $10\log(2) = +3\text{dB}$



Hvert element får  $\frac{1}{4}$  av effekten. Hvis effekten inn er 1 W, får hvert element 0,25 W

Total følsomhet for kretsen blir da:  $\text{SPL}_{\text{total}} = 90 - 10\lg(0,25 \cdot 4) = 90\text{dB}$

#### Følgende gjelder for denne kretsen:

- Kretsen tåler totalt 4 ganger mer effekt i forhold til ett element.
- Kretsen kan da spille 6 dB høyere totalt.
- Membranvandringen pr. element ved 2,83 V blir halvparten i forhold til ett element.
- Følsomhet ved 2,83 V blir lik følsomheten til ett element, dvs. uforandret følsomhet.
- Total resistans i kretsen blir lik resistansen til ett element, dvs. uforandret resistans.
- For å få lik frekvensrespons som ved ett element må volumet økes med en faktor på 4.
- Ved lik følsomhet på alle elementer, 2,83 V tilført spenning og samlet resistans på 8Ω blir total følsomhet den samme som følsomheten til ett element på 8Ω.





Seas H0372 CA25RE4X/DC

## ***Kapittel 4:***

### **Høytalerkasse:**

- Kassetyper
- Beregninger
- Akustikk
- Konstruksjon



Vifa C20WG-19-08

## **4.1 Meningen med en høyttalerkasse:**

De fleste dynamiske høyttalerelementer har behov for en kasse rundt seg for å yte optimalt. For det første har kassen en ganske praktisk hensikt utenom det rent teoretiske, den gir et sted å feste elementene, slik at de ikke henger og slenger uten noen plass i tilværelsen, de får en vegg å henge fast i. Det at elementene henger skikkelig fast er nødvendig for at de skal få et best mulig utgangspunkt til å skyve fra seg lydbølgene.

En høyttaler trenger en kasse mest på grunn av basselementet. Diskanten er ikke så kresen på å ha et volum bak seg som bassen. Basslyder er i lavfrekvensområdet, og har lange bølgelengder. Disse bølgelengdene har forholdsvis lav energi, og trenger hjelp av en kasse med et visst volum for å lage trykk nok til at lyden bæres ut i rommet med et høyt nok nivå.

Uten et lukket volum bak basselementet vil lydbølgene bra baksiden på elementet utfase lydbølgene fra fremsiden av elementet.

Diskanten klarer seg for det meste selv, på grunn av den høye energien det er på høyfrekvent lyd.

Mellomtonen er en slags mellomting av diskanten og bassen, den har ikke like mye energi som diskanten, men mer energi enn bassen. Dette elementet blir ofte plassert i en liten boks for seg selv, avisolert fra resten av det innvendige volumet av høyttalerkassen. Denne boksen skal være helt tett, og godt dempet med et dempemateriale innvendig.

Grunnen til at denne boksen må være lukket fra resten av systemet, er for at mellomtonen ikke skal bli påvirket av basstrykket som dannes inne i kassen, og ikke begynne å bevege seg unaturlig av den grunn. Mellomtonen må få fritt spillerom, uten andre negative innvirkninger fra resten av systemet, for å gi en klar og tydelig gjengivelse av sitt frekvensområde.

Basselementet må altså få hjelp av de lydbølgene det sprer bak seg, i tillegg til de som spres ut i rommet foran elementet. Volumet på kassen bestemmer hvor stort trykk disse lydene skal ha, og hvor dype frekvenser som kan bli gjengitt. Evnen til å gjengi dype toner øker som vanlig med størrelsen på volumet i kassen, men bare opptil et visst punkt.

Når kassene blir for stor i forhold til elementet, skyver ikke elementet nok luft bak seg til å lage stort nok trykk, og amplituden på lydbølgene blir mindre. Hvis kassen er liten, blir det høyest amplitude på basslyder litt oppover i frekvens. Det gjelder å finne den rette balansen mellom evne til å gjengi dype toner, og evne til å skape et høyt nok lydtrykk over hele bassområdet.

Dette er jo litt smak og behag, og ofte er det lettest å fokusere på en av delene.

Kassevolum medfører økt masse til høyttaleren, som igjen fører til begrenset bevegelighet for membranen. Effekttåligheten til elementet minker med kassevolumet på grunn av at membranen beveger seg lengre og lettere med store volum.

Dempeull i trykkammerkasser "ser ut" som økt kassevolum for høyttaleren, og kan igjen føre til dypere bass og redusert Q-verdi. Ved lave frekvenser og høye lydstyrker kan dempeullet derimot begynne å bevege seg og fører til at massen øker og frekvensresponsen forandres.

## **4.2 Akustikk:**

Hvordan en ferdig høyttaler kommer til å lyde, er også basert på hva slags akustisk karakteristikk som dannes inne i kassen. Hvordan kassen blir værende utvendig har også betydning for det endelige resultatet.

Alle kassetyper får ulik akustikk innvendig. Akustikken til et lukket kammer baserer seg blant annet på hvilken Q-verdi systemet får. Blir det en høy Q, får kassen en brattere avrulling ved dype frekvenser, med en topp like før som bidrar til en forsterket "dunke" bass. Blir det en lav Q, får kassen en mykere overgang når den kurven begynner å falle, og lyden kan oppfattes som litt dypere.

For bassreflekskasser har bassrøret mye å si på det endelige resultatet. Både størrelsen på diameteren og lengden på røret henger nøye sammen, slik at det skal passe med kassens størrelse. Jo større diameter til et bassrør, jo lengre må røret være for å klare en viss akustisk masse. Det er en fordel at røret blir avrundet i åpningen, slik at luften spres jevnere utover. Hastigheten til luften som farer gjennom røret er med på å avgjøre hvor mye blåselyder som dannes, og bør helst være så lav som mulig, ca 1/10 av lydfarten.

En høyttalerkasse bør være godt dempet innvendig, slik at det ikke dannes uønskete lyder som har noe med den lyden som elementene gjengir. Slik "bokslyd" er ikke heldig for det endelige resultatet, og må forhindres med ulike metoder. Det vanligste er å fylle kassen med dempemateriale. Dette kan bestå av forskjellige typer dempeull, ulike skumtyper eller fibermateriale. Lukkede kasser må ofte dempes kraftig, og kan i visse tilfeller fylles helt opp. I bassreflekskasser passer det best med et eller to lag på veggene. Her bør det være rom nok til at luften får flyte fritt, og i området rundt bassporten må det helst være åpent rom for å hindre luftkompresjon. Under dempeullen kan det festes asfaltplater eller høyttalerteppes for ytterligere demping.

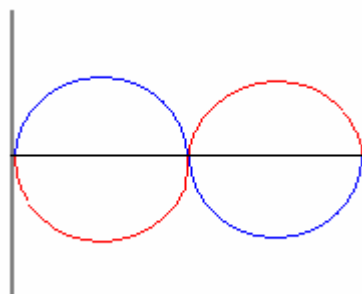
Kabinettet skal helst ikke være helt firkantet. Egentlig må ingen sider være like store, hvis det ikke lages noen vinkler i hjørnene. Lange, store flater er ikke bra, da det kan oppstå egenresonans i kassen, og stående lydbølger. Kassen forsterker da en gitt frekvens, og gir et ulinært lydbilde. Kabinettet må da avstives med avstivere. Alle sider bør avstives, slik at kassekonstruksjonen blir mer solid, og så dødt som mulig. Kabinettet skal ikke lage gjenklang, og skal ikke høres. Det er også en fordel at det er så tungt som mulig. Elementene må få et godt utgangspunkt til å skubbe luft, og da må de stå helt fast. Kassen må være solid nok til at man bare hører lyden fra elementet alene. Det kan ofte være lurt å lage ulike hindre for lydbølgene inne i kassen.

Kassen og dempeullen kan av og til fremstå som en viss akustisk motstand for elementet, og dette gjør systemet vanskeligere å drive. En liten kasse med et stort og avansert delefilter, gjør at høyttaleren blir ganske mer tungdreven enn forventet. Delefilteret stjeler effekt, og kassen øker motstanden til luftfjæringen. Et bassrør gir også motstand i frekvensområdet det er avstemt til.

Hvis diskanten blir for mye innfelt, eller det er kanter rundt spredningsområdet, blir spredningen begrenset. Lyden kan lett bli forsterket, men ofte på bekostning av oppløsning og detaljer. Den kan virke for hard, og ikke like lys som den kunne vært. Kabinettets front bør også være så smal som mulig, for å få best mulig horisontal spredning.

Akustiske forhold i rommet kan være med på å flytte bassen opp eller ned i frekvens, men lydnivået blir sjelden forandret likt, så da er det viktig å finne en balanse der det blir best lyd. Visse posisjoner kan da være med å gjøre lyden mørkere, ettersom diskanten ikke får optimale arbeidsforhold i forhold til rommet. Fasen på frekvensene kan føre til at amplituden forsterkes til det doble eller kanselleres. Dette gjelder når to høyttalere sender ut lik lydbølger med lik frekvens i en viss avstand fra lyttepunktet. Avhengig av plasseringen til høyttalerne kan amplituden enten dobles eller kanselleres.

#### 4.2.1 Stående bølger:



Stående bølger er lydbølger med et helt antall bølgelengder som blir reflektert frem og tilbake og dobler amplituden der begge bølgene har maks utsving. Dette skaper resonans i kassen, og inntreffer ved frekvenser der bølgelengden er lik avstanden mellom veggene i kabinettet, og ved  $n$ -ganger denne frekvensen,  $n = 1,2,3\dots$

Kan dempes ved å lage skrå flater inni kassen, eller ved bruk av dempeull og profilert skum. Forskjellig antall lag med dempeull på hver side gir ulike forhold for lydbølgen, og er med å øke dempingen. Avstivere er også med på å hindre kabinettet å komme i bevegelse. Tung masse hindrer resonans, og da kan sandfylling av kabinettet være en god idé.

### **4.3 Kassetyper:**

Det finnes forskjellige typer av kasser som kan brukes til å få frem ønsket klangfarge fra basselementet. Kassetypene har forskjellig påvirkning og fremheving av lyden, og de blir sjelden lik lyd fra en kassetype til en annen. Alle de forskjellige modellene har ulik virkemåte og bruksområde.

#### **4.3.1 Trykkammer:**

Den enkleste kassen å bygge og få til å virke, kalles trykkammer. Denne kassen er et lukket system, og er helt luft tett. Disse kassene trenger ikke alltid å være store får å oppnå ønsket effekt, og er da lette å ha med å gjøre. Denne typen brukes for å få en stram og hurtig bass, der det ikke er prioritert de aller dypeste tonene. Kassens nedre knekkfrekvens blir kanskje ikke så dyp, men fallkurven etter knekkpunktet er ikke så veldig bratt. Dette betyr at kassen fortsatt kan gi litt effekt etter den frekvensen som kassen er tunet til å gjengi. Her er det lett å få en lineær gjengivelse av hele frekvensområdet. Membranvandringen øker ved fallende frekvens, men kan flates ut etter resonansfrekvensen.. Membranvandringen kan begrenses ved å lage så små kassevolum som mulig.

#### **4.3.2 Bassrefleks:**

Hvis kassen lages litt større, og man setter inn et bassrefleks rør, er det mulig å oppnå en noe dypere bassgjengivelse. Denne modellen kalles for bassrefleks, og gir mer kraft lengre ned i frekvensområdet enn trykkammeret. Disse kassene er ofte bedre egnet til subwoofere, også kalt dybbass høyttalere, enn trykkammerkonstruksjoner.

Dette gjelder riktig nok ikke alltid, da det fortsatt er mulig å få en nokså dyp bassgjengivelse i trykkammere også. Men hvis det er maksimalt trykk en er ute etter, vil det ofte lønne seg å lage en bassrefleks kasse. Her blir elementets bakre utstråling bedre utnyttet, da lydbølgene kommer ut fra en åpning eller et rør i kassen. Her blir luften inne fra kassen altså blåst ut i omgivelsene, i tillegg til luften fra elementets framside. Selv om kassens nedre knekkfrekvens kan bli dypere enn i et trykkammer, blir fallkurven etter knekkpunktet dobbelt så bratt. Det vil si at man mister effekten fortere nedover i frekvensområdet. Små elementer trenger ofte hjelp fra et bassrør for å utnytte sine dybbass egenskaper maksimalt. Hvis en kasse tunes for lavt i frekvens, begynner frekvenskurven å falle av tidligere. Det kan da bli mindre effekt ved dype toner enn i en kasse som tunes litt høyere.

Membranvandringen øker frem til et stykke før

-3dB frekvensen, for så å synke igjen. Den er kortest ved -3dB frekvens, men øker deretter.

#### **4.3.3 Båndpasskasse:**

Noen typer kasser egner seg utelukkende til dybbass gjengivelse, og de kalles båndpasskasser. De har fått dette navnet fordi de bare gjengir en liten del av frekvensområdet, og er begrenset både oppover og nedover i frekvens. De bør selvfølgelig klare å gå så dypt som mulig, men begrenses ytterligere i frekvensområdet som er urelevant for bassgjengivelse.

I denne type kasse sitter elementet inne i kassen, og kan ikke sees utenfra kassen. På den ene siden av bassen er det et trykkammer, og på den andre siden er det et bassrefleksammer. Dette gjør at lyder med høy frekvens ikke slipper ut og bare de dype frekvensene kan høres. Grunnen til dette er at de høye frekvensene blir akustisk dempet inne i kassen, mens de dype tonene kommer ut på grunn av sine lange lydbølger har en mye større utstrekning, og er mindre retningsbestemt. Disse kamrene pleier ikke å være like store. De er en fordel om elementets bakside med magneten vender ut mot bassrefleksammeret for å unngå fasevridning på grunn av at trykkforskjell i luften som kommer ut fra bassrørene blir omvendt av lyden fra hovedhøytalerne. Membranvandringen er lik som ved bassrefleks, men membranen står nesten helt stille ved resonansfrekvens til kassen. Elementet trenger nesten ikke bidra med lydtrykk fordi bassporten står for bortimot all den akustiske forsterkningen.

## 4.4 Beregningsvariabler:

For å utføre beregninger av hvor store kassene må være i de forskjellige typene, må man bruke en del verdier som står i databladene til elementene. De mest vanlige er  $f_s$ ,  $Q_{ts}$  og  $V_{AS}$ .

Elementer med  $Q_{ts}$ -verdi mellom 0,2 og 0,5 passer best i bassreflekskasse, og  $Q_{ts}$ -verdier mellom 0,5 og 1 passer best i trykkammer. Den ideelle  $Q_{ts}$ -verdien for trykkammer er 0,707.

$Q$  står for kvalitetsverdi. Kassens  $Q$  sier noe om kassens frekvenskurve og hvor bratt den kommer til å bli etter -3dB punktet til kassen. Jo høyere  $Q$ , jo brattere kurve. Høy  $Q$  gir en kraftig bass på rundt 100 Hz, men lavere  $Q$  gir en litt dypere bass, med en mer lineær kurve. Dempeullen i kassen er med på å påvirke  $Q$ -verdien. Jo større kasse, jo mindre  $Q$ -verdi.

Når kassens volum skal beregnes, er det lurt å tenke litt over hvor stort elementet er. Et lite element passer ikke så godt i en svær kasse. Det er jo grenser for hvor mye luft en overflate klarer å flytte, så volumet begrenser seg automatisk med størrelsen på elementet. Elementer med lang slaglende kan imidlertid trives i litt større kasser, ettersom de kan skape et større trykk når de beveger seg langt. Når en kasse skal beregnes er det ikke alltid så lurt å stole 100 % på en formel, da denne bare gir optimalt volum for et element uten noe informasjon om hvordan det fungerer med flere ting inni kassen.

Kanskje det er ønsket en dypere eller mer dunkende gjengivelse, eller det er valgt feil formel. Det beste er å prøve seg fram, og bruke ørene. Det er veldig interessant, og man lærer mye. Etter man har laget en konstruksjon, er det lettere å finne ut hva som er galt, og da forstår man det også bedre.

### 4.4.1 Litt om hver verdi:

#### $F_s$ :

$F_s$  står for resonansfrekvens til høyttalerelementet, den frekvensen der elementet begynner å svinge for mye av seg selv. Også kalt egenfrekvens. Her svinger elementet mye selv ved lite effekt tilført, og dette må tas i betraktning når kassens volum skal beregnes og finne kassens nedre grensefrekvens. Membranen beveger seg mye lengre ved  $F_s$  enn ved andre frekvenser.

#### $Q_{ts}$ :

$Q$ -verdi sier noen om hvor lett elementet selv begynner å svinge, jo høyere verdi, jo lettere begynner det å svinge ved resonansfrekvensen. Normale verdier er under 1, som ikke er så veldig mye. Men det er jo bra, for det er ikke ønsket at elementet svinger for mye ved resonans. Et trykkammer øker  $Q$ -verdien.  $Q_{ts}$  er en kombinasjon av  $Q_{ms}$  og  $Q_{es}$ .  $Q_{ms}$  er mekanisk  $Q$ -verdi, og  $Q_{es}$  er elektrisk  $Q$ -verdi.

$$Q_{ts} = \frac{Q_{es} \cdot Q_{ms}}{Q_{es} + Q_{ms}} \quad Q_{es} = \frac{2\pi f_c \cdot M_{MS} \cdot R_E}{(Bl)^2} \quad M_{MS} \text{ i kg.} \quad Q_{MS} = \frac{Z_f \cdot Q_{TS}}{R_E}$$

Slavebasser har bare mekanisk  $Q$ -verdi: 
$$Q_{MS} \approx \sqrt{M_{MS} \cdot C_{MS}} - \frac{R_{MS}}{10}$$

**$V_{AS}$ :**

$V_{AS}$  kalles også ekvivalentvolum. Dette er en verdi som angir hvor stort kassevolum høyttaleren kan sammenlignes med.  $V_{AS}$  er bestemt av opphengets hardhet i forhold til elementets størrelse. Opphengets treghet tilsvarer et visst volum med luft, som sier noe om hvor stor kraft som er nødvendig for å flytte membranen frem og tilbake.



## 4.5 Efficiency Bandwith Product

For å finne ut om et basselement passer i trykkammer eller bassreflekskasse, må Efficiency Bandwith Product (EBP) regnes ut. Dette sier noe om det effektive båndbredde produktet til et element.

$$EBP = \frac{F_s}{Q_{es}}$$

$Q_{es}$  er den elektriske Q-faktoren til et høyttalerelement.

Trykkammer eller 4. ordens båndpass passer best når  $0 \leq EBP \leq 55$

Bassrefleks eller 6. ordens båndpass passer best når  $56 \leq EBP \rightarrow$

Når EBP ligger rundt 55 kan elementet fungere noenlunde greit i alle kassetyper, og man kan velge den typen som gir best resultat i forhold til den lyden man er ute etter.

### Eksempel 1:

Hvilken kassetype passer Vifa C20WG-19-08 til?

$$F_s = 39 \text{ Hz}$$

$$Q_{es} = 1,02$$

$$EBP = \frac{39}{1,02} = 38,24$$

Verdien er mindre enn 55, elementet passer altså best i et trykkammerkabinett.

### Eksempel 2:

Hvilken kassetype passer Peerless CSX 145 H til?

$$F_s = 48 \text{ Hz}$$

$$Q_{es} = 0,42$$

$$EBP = \frac{48}{0,42} = 114,29$$

Verdien er større enn 56, elementet passer altså best i et bassreflekskabinett.

## 4.6 Trykkammer:



Virkningsgrad ved resonansfrekvens:  $\eta_0 = \frac{K \cdot f_B^3 \cdot V_{AS} \cdot V_B}{Q_{ES} (V_{AS} + V_B)}$        $K = 9,64 \cdot 10^{-10}$

$$\text{SPL} = 112 + 10 \log \eta_0$$

Et lukket kammer kalles i enkelte tilfeller for en uendelig baffel.

For at dette skal oppfylles må:  $V_{\text{BOKS}} = \frac{1}{3} \cdot V_{AS}$

Q-verdien blir påvirket av lukket kasse, og blir høyere. Velger vi en passe størrelse på kassen, får vi en Q-verdi som avgjør høyttalerens frekvensgang ved lave frekvenser.

Jo større kasse, jo mindre samlet Q-verdi. Elementets resonansfrekvens avgjør hvor kurven begynner å falle.

Det må også velges en passende verdi for  $Q_{tc}$ , som står for den totale Q for systemet ved resonansfrekvens. Passende verdier for  $Q_{tc}$  ligger mellom 0,6 og 1, der 0,707 ofte vil gi best resultater, men  $Q_{tc}$  må alltid velges større enn  $Q_{ts}$  til et element.

Q <sub>tc</sub>	Virkning
0,5	Kritisk dempet, perfekt transient respons, flat tidsforsinkelse.
$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577$	Bessel respons, maksimal flat tidsforsinkelse.
$\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$	Butterworth respons, max flat amplituderrespons, nesten flat tidsforsinkelse.
$> \frac{1}{\sqrt{2}}$	Chebychev respons, maksimal effekttålighet og effektivitet, men litt dårligere transientrespons. Tidsforsinkelsen øker.

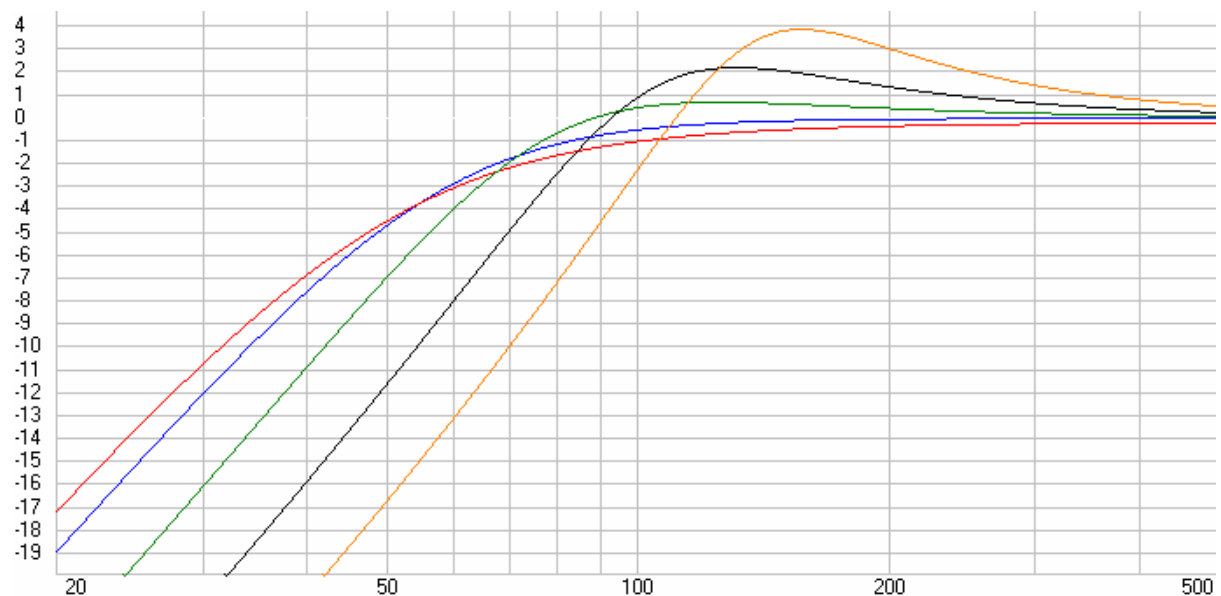
Maksimalt nivåavvik fra lineær kurve:  $\text{Peak dB} = 20 \log \sqrt{\frac{Q_{tc}^4}{Q_{tc}^2 - 0,25}}$

Frekvens ved Peak dB:  $f_{\text{PEAK}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{2 \cdot Q_{tc}^2}}} \cdot f_B$

Frekvens ved max membranvandring:  $f_{X_{\text{max}}} = \sqrt{1 - \frac{1}{2 \cdot Q_{tc}^2}} \cdot f_B$

Frekvensrespons til trykkammer ved ulike Q-verdier:

Q: **0,63** **0,707** **0,90** **1,16** **1,46**



Her vist for Vifa C17WG-29-08.

### 4.6.1 Fremgangsmåte:

1. Finn  $f_s$ ,  $Q_{ts}$  og  $V_{AS}$  fra datablad.

2. Velg en verdi for  $Q_{tc}$  større enn  $Q_{ts}$ .

3. Regn ut alfa: 
$$\alpha = \left( \frac{Q_{tc}}{Q_{ts}} \right)^2 - 1$$

4. Regn så ut boks volum: 
$$V_B = \frac{V_{AS}}{\alpha}$$

5. Boks resonansfrekvens: 
$$f_B = \frac{Q_{tc} \cdot f_s}{Q_{ts}}$$

6. -3dB frekvens: 
$$f_{-3dB} = \sqrt{\frac{\left( \frac{1}{Q_{tc}^2} - 2 \right) + \sqrt{\left( \frac{1}{Q_{tc}^2} - 2 \right)^2 + 4}}{2}} \cdot f_B$$

• For et valgt boks volum blir: 
$$Q_{tc} = Q_{ts} \cdot \sqrt{1 + \frac{V_{AS}}{V_B}}$$

• SPL til en valgt frekvens f: 
$$dB = 10 \log \frac{f_R^2}{(f_R - 1)^2 + f_R / Q_{tc}^2}, \text{ der } f_R = \left( \frac{f}{f_B} \right)^2$$

#### 4.6.2 Eksempel på trykkammer:

Bassen er en 8" fra Vifa, modell C20WG-19-08, som tåler en maks effekt på  $P = 100 \text{ W}$ .

$$1. \quad f_s = 39 \text{ Hz} \quad Q_{ts} = 0,82 \quad V_{AS} = 84 \text{ liter} \quad Q_{es} = 1,02$$

$$2. \quad \text{Velger } Q_{tc} = 1,342 \text{ som gir Peak dB} = 20 \log \sqrt{\frac{1,342^4}{1,342^2 - 0,25}} = 3,2 \text{ dB}$$

$$3. \quad \alpha = \left(\frac{1,342}{0,82}\right)^2 - 1 = 1,678$$

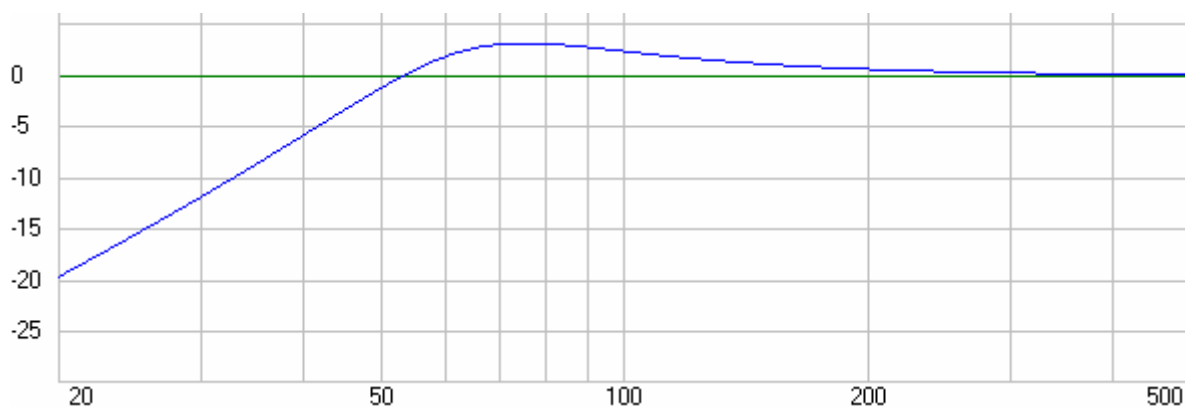
$$4. \quad V_B = \frac{84}{1,678} = \underline{\underline{50 \text{ liter}}}$$

$$5. \quad f_B = \frac{1,342 \cdot 39}{0,82} = 63,83 \text{ Hz, og } f_{\text{PEAK}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{2 \cdot 1,342^2}}} \cdot 63,83 = 75 \text{ Hz}$$

$$6. \quad f_{-3\text{dB}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{1,342^2} - 2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{1,342^2} - 2\right)^2 + 4}}{2}} \cdot 63,83 = \underline{\underline{45,6 \text{ Hz}}}$$

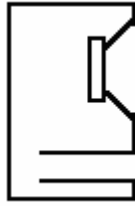
Her fikk vi en passende størrelse på kassen, og en godkjent nedre frekvensgrense som ligger over elementets resonansfrekvens. Hvis vi hadde valgt en  $Q_{tc}$  som var mindre enn 1, ville volumet blitt fryktelig stort, og nedre frekvens ville kommet under  $f_s$ .  $Q$ -verdien kan dempes ved riktig mengde dempeull.

Kurve med volum på 50 liter:



$$\text{Maks SPL: } (112 + 10 \log \eta_0) + \left(\frac{\log P}{\log 2}\right) \cdot 3 = (112 + 10 \log 0,007708) + \left(\frac{\log 100}{\log 2}\right) \cdot 3 = 111 \text{ dB}$$

## 4.7 Bassrefleks:



$$\text{Virkningsgrad: } \eta_0 = \frac{K \cdot f_s^3 \cdot V_{AS}}{Q_{ES}} \quad K = 9,64 \cdot 10^{-10} \quad \text{SPL} = 112 + 10 \log \eta_0$$

Det finnes flere formler for å beregne kassevolum, som hver gir forskjellig frekvenskurve:

1. For en 24 dB/okt avrulling etter kassens resonansfrekvens blir kabinetets volum:

$$V_B = 15 \cdot V_{AS} \cdot Q_{ts}^{2,87}$$

Med dette volumet blir kassens avrullingspunkt:

$$F_B = f_s \cdot \sqrt{\left(\frac{V_{AS}}{V_B}\right)}$$

Bassrefleksportens avstemningsfrekvens bør ligge like over elementets resonansfrekvens ved -3dB:

$$F_{\text{PORT,-3dB}} = f_s \cdot \left(\frac{V_{AS}}{V_B}\right)^{0,32}$$

2. For en maksimal lineær gjengivelse innenfor passbandet blir kabinetets volum:

$$V_B = 20 \cdot V_{AS} \cdot Q_{ts}^{3,3}$$

Med dette volumet blir kassens avrullingspunkt:

$$F_B = f_s \cdot \left(\frac{V_{AS}}{V_B}\right)^{0,44}$$

Bassrefleksportens avstemningsfrekvens bør ligge like over elementets resonansfrekvens ved -3dB:

$$F_{\text{PORT,-3dB}} = f_s \cdot \left(\frac{V_{AS}}{V_B}\right)^{0,31}$$

Maks/min dB for system i forhold til ideelt volum:

$$\text{Peak dB} = 20 \log \frac{Q_{ts} \cdot \left(\frac{V_{AS}}{V_B}\right)^{0,3}}{0,4}$$

### 4.7.1 Frekvensrespons for bassrefleks:

Formlene er basert på:

$V_B$  = boks volum (liter)

$f_S$  = resonans frekvens (Hz)

$Q_{ts}$  = driver Q ved system resonans

$F_B$  = boks resonans frekvens (Hz)

$Ql$  = boks tap ( $Ql=7$  i de fleste tilfeller)

$f$  = utvalgt frekvens for SPL avlesing på frekvenskurve.

$$f_1 = \left( \frac{f}{f_S} \right)^2$$

$$A = \left( \frac{F_B}{f_S} \right)^2$$

$$B = \frac{A}{Q_{ts}} + \frac{F_B}{f_S \cdot Ql}$$

$$C = f_1 \left[ 1 + A + \frac{V_{AS}}{V_B} + \frac{F_B}{f_S \cdot Q_{ts} \cdot Ql} \right]$$

$$D = f_1 \left[ \frac{1}{Q_{ts}} + \frac{F_B}{f_S \cdot Ql} \right]$$

Etter utregning av ovenstående formler kan frekvensresponsen beregnes ved valgt frekvens  $f$ :

$$SPL = 10 \log \left( \frac{f_1^4}{[f_1^2 - C + A]^2 + f_1 [D - B]^2} \right)$$

## 4.7.2 Bassport beregninger:

For å finne en lengde på et bassrør som kan tune til et volum med luft til en viss frekvens, kan følgende formel brukes:

$$L_v = \frac{23562,5 \cdot D_v^2 \cdot N}{F_{\text{port}}^2 \cdot V_B} - (k \cdot D_v)$$

$D_v$  = port diameter (cm)

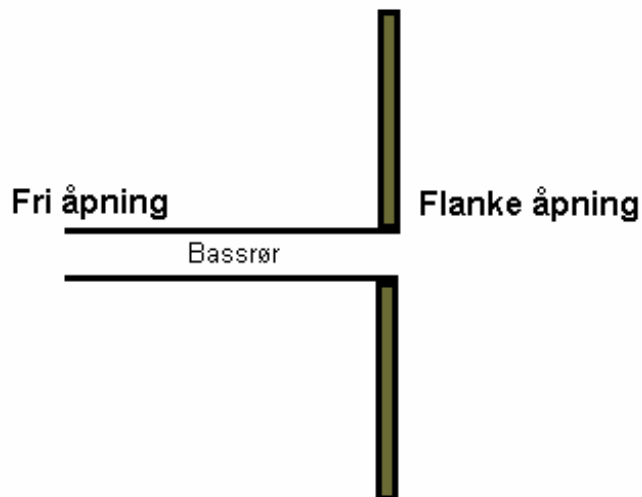
$F_{\text{port}}$  = tuning frekvens (Hz)

$V_B$  = Kasse volum (liter)

$L_v$  = Lengde til bassrør (cm)

$N$  = Antall bassrør

$k$  = åpnings korreksjon til bassporten. (normalt 0,732)



Verdien til  $k$  kan fin justeres ved å bruke følgende verdier til å finne den passende åpnings korreksjon for hver ende av porten, og addere disse to.

Ende med en flate rundt åpning:      Flanke åpning: 0.425

Ende med fritt luftrom rundt åpning:      Fri åpning:      0.307

Hvis begge ender er Flanket:       $k = 0.425 + 0.425 = 0.850$

Hvis en ende er Flanket og en er Fri:       **$k = 0.425 + 0.307 = 0.732$**

Hvis begge ender er Fri:       $k = 0.307 + 0.307 = 0.614$

I praksis er det best å bruke rør som er litt lenger enn utregnet, og så justere lengden til ønsket tuning er oppnådd. Det lettere å forkorte et rør, enn å gjøre det lengre...



### 4.7.3 Minste port diameter: ( $D_{MIN}$ )

For å regne ut den minste diameteren som portens åpning kan ha for å forebygge luftstøy i porten ved den maksimale effekten elementet tåler, er det nødvendig å vite følgende verdier:

$$X_{max} = \text{maksimal lineær slaglende (mm)} = \frac{d - hg}{2}$$

$$S_D = \text{Effektiv areal til element (cm}^2\text{)}$$

$$N = \text{Antall porter}$$

$$P = \text{Maks effekttålighet til element}$$

$$V_B = \text{Ideal volum til kabinett}$$

$$F_B = \text{Boksfrekvens for lineær kurve i idealvolum.}$$

$X_{max}$  og  $S_D$  står ofte i datablad, men  $X_{max}$  kan også regnes ut ved å bruke formelen overfor.

Verdiene til formelen står i databladet.  $d$  = voice coil heigt.  $hg$  = heigt of gap.

$X_{max}$  er den elektriske grensen for hvor langt elementet kan bevege seg en vei, hvor langt elektrisiteten kan bevege elementet basert på høyden av spolen og høyden av rom i magneten.

Beregn minste port diameter basert på følgende ligninger:

$$V_D = \frac{S_D \cdot X_{MAX}}{1000} \quad D_{MIN} = \sqrt{\frac{a(P \cdot V_B)^{0,3} \cdot \left(\frac{V_D^2}{F_B}\right)^{0,25}}{N}} \quad [\text{cm}]$$

$a = 15$  på elementer opp til og med 6".

$a = 8$  på elementer fra og med 8".

Denne diameteren gir en lufthastighet i porten på mellom 25-35 m/s.

Lufthastigheten i porten må ikke være større enn ca. 10 % av lydhastigheten.

Jo mer luft og høyere hastighet som kommer gjennom porten, jo høyere port støy.

Det er mulig å bruke porter med mindre diameter enn det som beregnes over, spesielt hvis begge portene er avrundet utover ved begge ender. I tillegg tåler elementet ofte lavere effekt enn maksimal effekttålighet ved lave frekvenser. Et element tåler bare maks effekt så lenge det ikke beveger seg lenger enn  $X_{max}$ .

Sørg for at portens diameter er betraktelig mindre enn bølgelenden som porten er tunet til å støtte.

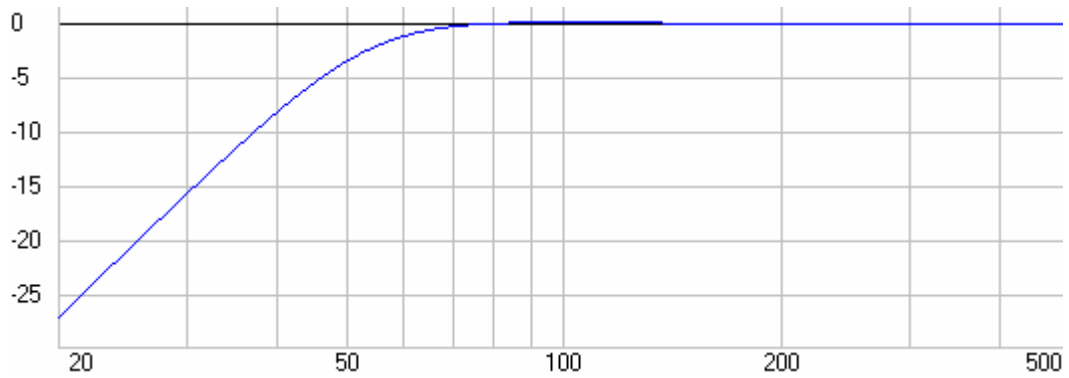
Porten må heller ikke være større enn at den ser ut som en port i kabinettet, og ikke en forlengelse av volumet.

Lengre rør kan gjengi dypere bass, men det kan gå på bekostning av nivået ved høyere bassfrekvenser.

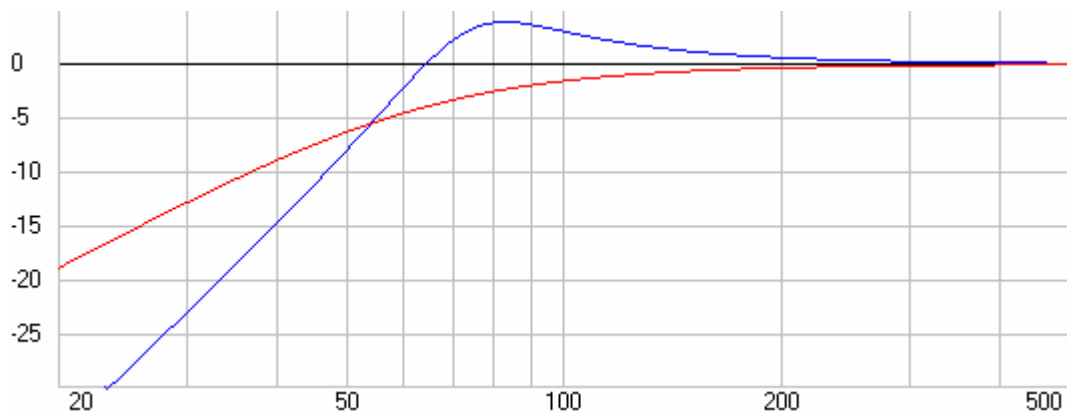
#### 4.7.4 Tendenser ved frekvensresponsen til bassreflekssystemer:

Her vist ved Scan Speak 15W\_8530K00

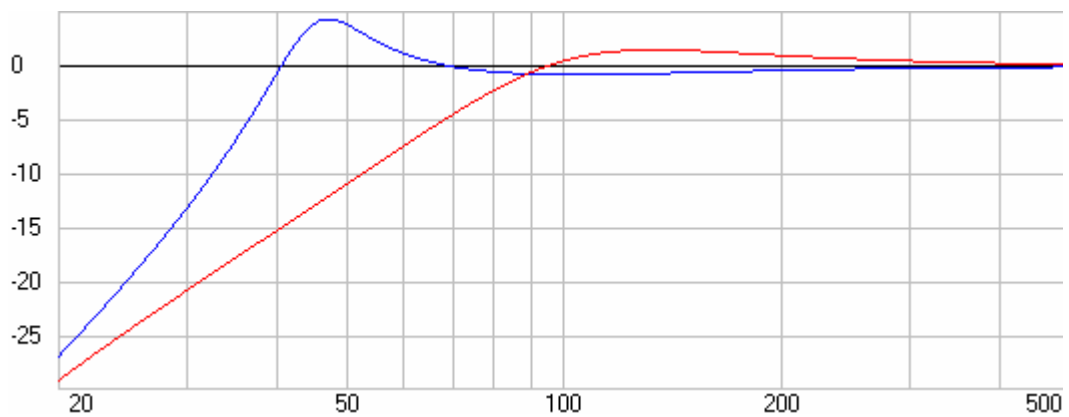
- Lineær respons:



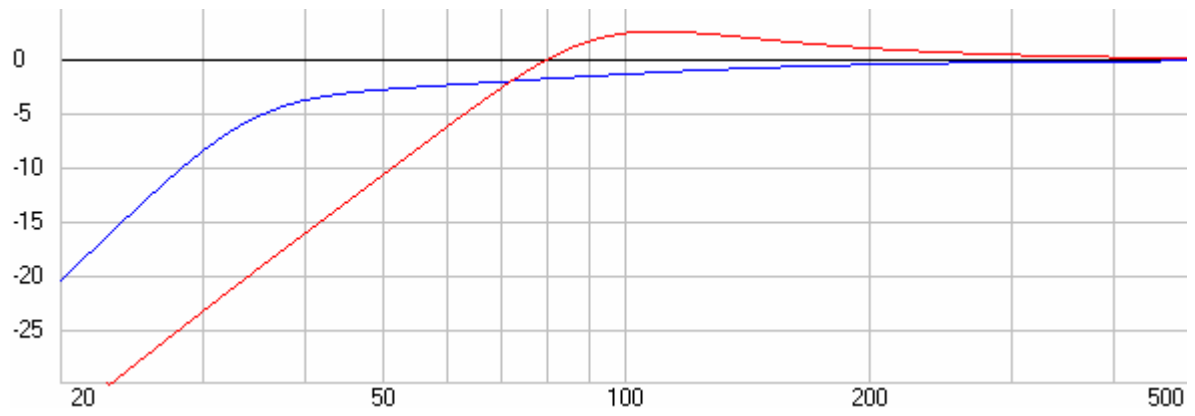
- Ved gitt volum: **Høyere  $F_{port}$**  **Lavere  $F_{port}$**



- Ved gitt  $F_{port}$ : **Større volum** **Mindre volum**



- Ved gitt bassport lengde og diameter: **Større volum** **Mindre volum**



#### 4.7.5 Eksempel på bassrefleks:

Bassen er en 5" fra Peerless, modell CSX 145 H. Bassportens diameter,  $D_V$ , velges til **4,3 cm**, passende størrelse for en liten kasse og lite element.

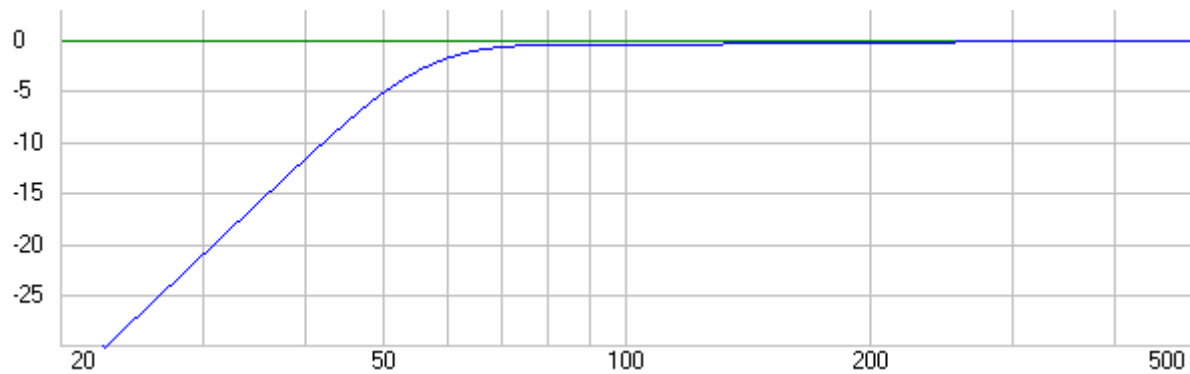
Verdiene til elementet:  $Q_{ts} = 0,34$        $V_{AS} = 12,5$        $f_S = 48$  Hz

Formelsett nr. 1:

$$V_B = 15 \cdot 12,5 \cdot 0,34^{2,87} = \underline{\underline{8,5 \text{ liter}}} \quad F_{\text{PORT}, -3\text{dB}} = 48 \cdot \left( \frac{12,5}{8,5} \right)^{0,32} = \underline{\underline{54,3 \text{ Hz}}}$$

$$L_V = \frac{23562,5 \cdot 4,3^2 \cdot 1}{54,3^2 \cdot 8,5} - (0,732 \cdot 4,3) = \underline{\underline{14,2 \text{ cm}}}$$

Frekvenskurve for kasse:

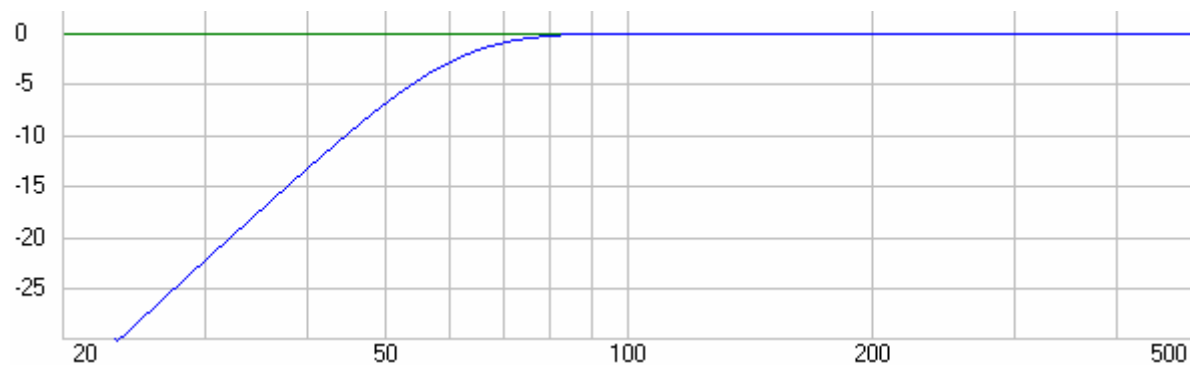


Formelsett nr. 2:

$$V_B = 20 \cdot 12,5 \cdot 0,34^{3,3} = \underline{\underline{7,11 \text{ liter}}} \quad F_{\text{PORT}, -3\text{dB}} = 48 \cdot \left( \frac{12,5}{7,11} \right)^{0,31} = \underline{\underline{57,17 \text{ Hz}}}$$

$$L_V = \frac{23562,5 \cdot 4,3^2 \cdot 1}{57,17^2 \cdot 7,11} - (0,732 \cdot 4,3) = \underline{\underline{15,6 \text{ cm}}}$$

Frekvenskurve for kasse:



#### 4.8 4. ordens båndpass:



Det totale volumet som kassen må ha, blir et produkt av netto volumet, elementvolum og port volumet.

Bassportene bør bli plassert minst en portdiameter fra alle vegger, ellers kan avstemningsfrekvensen bli lavere enn antatt, og dette kan virke inn på resultatet. De bør være så stor som mulig, for å redusere kompresjon i porten, og blåselyder. Avrundet åpning gir også bedre resultat.

Det lukkede kammeret bør fylles godt opp med dempende materiale, og bassrefleks kammeret bør dempes med et tynt lag på veggene. Unngå at dempematerialet kommer i veien for bassport åpningen. Dempematerialet reduserer også uønsket støy fra kassen.

I tillegg til at denne kassen blir akustisk delt, er det en fordel med et lavpassfilter slik at den ikke trenger å bry seg om de frekvensene den allikevel ikke skal gjengi. Det er også lurt med en liten plate med dempeull plassert foran elementet.

##### 4.8.1 Fremgangsmåte:

Det må først velges en verdi for "S". "S" mindre enn 0,7 vil gi en lavere transient respons, men en bredere båndbredde og mindre kasse krav:

S = 0,7	=>	b = 0,7206	
S = 0,6	=>	b = 0,9560	lineær kurve avvik: 0,35 dB
S = 0,5	=>	b = 1,2712	lineær kurve avvik: 1,25 dB

1. Velg en nedre grensefrekvens ved - 3dB,  $F_L$ . (Se også punkt 7.)

2. Regn ut øvre grensefrekvens: 
$$F_H = F_L + \frac{b \cdot F_S}{Q_{ts}}$$

3.  $Q_{tc}$  for lukket kammer blir: 
$$Q_{tc} = \sqrt{\left(\frac{F_L \cdot Q_{ts}}{F_S}\right)^2 + \left(\frac{b \cdot F_L \cdot Q_{ts}}{F_S}\right)}$$

4. Resonansfrekvens for refleks kammer: 
$$F_B = \frac{Q_{tc} \cdot F_S}{Q_{ts}} = F_{PORT}$$

5. Boks volum for refleks kammer: 
$$V_F = (2 \cdot S \cdot Q_{ts})^2 \cdot V_{AS}$$

6. Boks volum for lukket kammer:

$$V_R = \frac{V_{AS}}{\left(\frac{Q_{tc}}{Q_{ts}}\right)^2 - 1}$$

7. Avvik fra 0 dB:  $\text{dB} = -40 \log \frac{1}{Q_{tc} \cdot 2 \cdot S}$

Ingen avvik:  $F_L = 0,4397 \cdot \frac{f_s}{Q_{ts}}$  ( $S = 0,7$ )

#### 4.8.2 Frekvensrespons for båndpass:

$V_F$  = Front volum (liter)

$F_B$  = Front volum tuning frekvens.

$V_R$  = Bakre volum (liter)

$f_s$  = Driver resonans frekvens (Hz)

$Q_{ts}$  = Driver Q ved system resonans.

$Ql$  = Bokstap (10000)

$$A = \left(\frac{1}{F_B}\right)^2 \cdot f^4$$

$$B = \frac{\left(\frac{1}{Ql} + \frac{f_s}{F_B \cdot Q_{ts}}\right)}{F_B} \cdot f^3$$

$$C = \left[ \left[ \left( \left( 1 + \frac{V_{AS}}{V_R} + \frac{V_{AS}}{V_F} \right) \cdot \frac{f_s}{F_B} \right) + \frac{1}{Q_{ts} \cdot Ql} \right] \cdot \frac{f_s}{F_B} + 1 \right] \cdot f^2$$

$$D = \left[ \left( \frac{1}{Q_{ts}} + \frac{f_s}{F_B \cdot Ql} \cdot \left( \frac{V_{AS}}{V_R} + 1 \right) \right) \cdot f_s \right] \cdot f$$

$$E = \left( \frac{V_{AS}}{V_R} + 1 \right) \cdot f_s^2$$

$$G = A - C + E$$

$$H = -B + D$$

Etter utregning av ovenstående formler kan frekvensresponsen beregnes ved valgt frekvens f:

$$\text{SPL} = 20 \log \left( \frac{f^2}{\sqrt{G^2 + H^2}} \right)$$

### 4.8.3 Eksempel på båndpass:

Bassen er 10" element fra Seas, modell H 372.

Verdiene til elementet:  $Q_{ts} = 0,31$      $V_{AS} = 187,9$      $F_S = 25$  Hz

Velger  $S = 0,7$      $\Rightarrow$      $b = 0,7206$

1. Velger nedre grensefrekvens til  $F_L = 35$  Hz.

2. Øvre grensefrekvens blir:  $F_H = 35 + \frac{0,7206 \cdot 25}{0,31} = \underline{\underline{93,11 \text{ Hz}}}$

3.  $Q_{tc}$  for lukket kammer blir:  $Q_{tc} = \sqrt{\left(\frac{35 \cdot 0,31}{25}\right)^2 + \left(\frac{0,7206 \cdot 35 \cdot 0,31}{25}\right)} = \underline{\underline{0,707}}$

4. Resonansfrekvens blir:  $F_B = F_{PORT} = \frac{0,707 \cdot 25}{0,31} = \underline{\underline{57,08 \text{ Hz}}}$

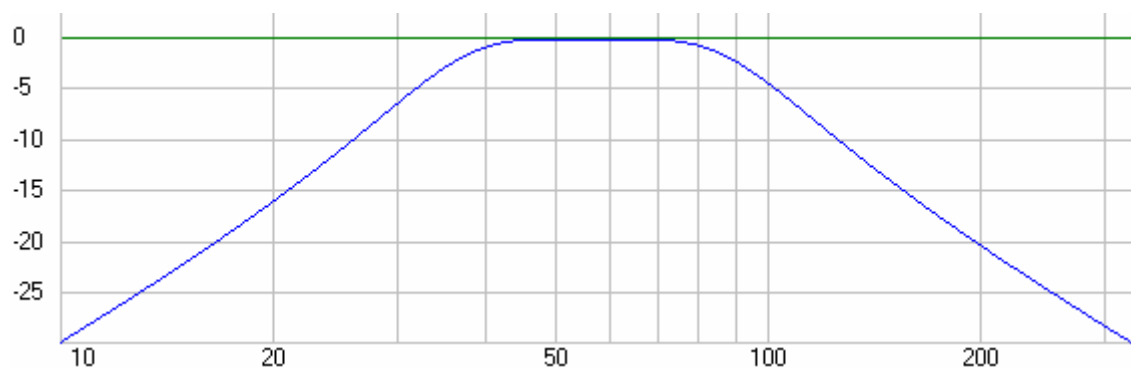
5. Boks volum for refleks kammer:  $V_F = (2 \cdot 0,7 \cdot 0,31)^2 \cdot 187,9 = \underline{\underline{35,4 \text{ liter}}}$

6. Boks volum for lukket kammer:  $V_R = \frac{187,9}{\left(\frac{0,707}{0,31}\right)^2 - 1} = \underline{\underline{44,59 \text{ liter}}}$

Velger å bruke 2 bassrør, og diameteren velges til 9 cm på begge.

7. Bassportens lengde blir:  $L_V = \frac{23562,5 \cdot 9^2 \cdot 2}{57,08^2 \cdot 35,4} - (0,732 \cdot 9) = \underline{\underline{26,5 \text{ cm}}}$

Frekvenskurve for systemet:



Det anbefales å koble til et lavpassfilter med en delefrekvens på ca. 110 - 150 Hz.

Elementet har en følsomhet på 91 dB, og tåler 300 W maks effekt.

Maksimalt lydtrykk blir:  $SPL_{MAX} = 91\text{dB} + \left(\frac{\log 300}{\log 2}\right) \cdot 3\text{dB} = \underline{\underline{115,69 \text{ dB}}}$

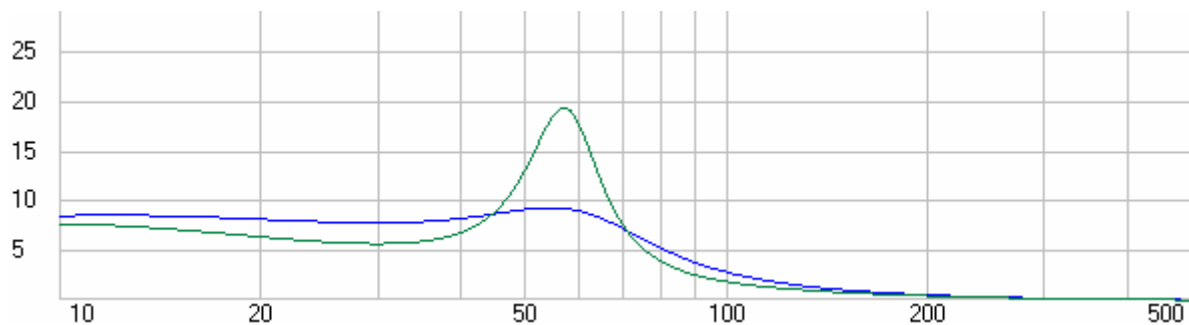
## 4.9 Tidsforsinkelse:

Ved frekvenser rundt og under resonansfrekvensen for basstuningen vil alle høyttalersystemer oppleve en tidsforsinkelse mellom lydbølgene fra elementet og lydbølgene som kommer fra den bakre utstrålingen av elementet inn i kassen. Denne forsinkelsen er størst i bassrefleksystemer, og blir lengre der et høyt amplitudenivå prioritert i bassområdet. Tidsforsinkelsen øker også jo større kabinettvolumet blir, og den er størst i området ved den frekvensen systemet er beregnet til å strekke seg ned til i bassområdet. Tidsforsinkelsen har direkte sammenheng med fasen til systemet, den er kortest der fasen er lineær. Den er målt i millisekunder, ms.

Selv om nivåkurven til to høyttalersystemer ser lineær ut, kan de høres forskjellige ut på grunn av tidsforsinkelsen. Grunnen til at tidsforsinkelse har betydning, er at musikk består av korte pulser. En frekvenskurve tar ikke med fasen og transientresponsen til elementet.

Mer tidsforsinkelse i et gitt volum gir dårligere transientrespons, altså tregere bassrespons. Q på 0,5 gir best transientrespons, 0,707 ganske god transientrespons, og Q opp mot 2.0 gir dårlig transientrespons.

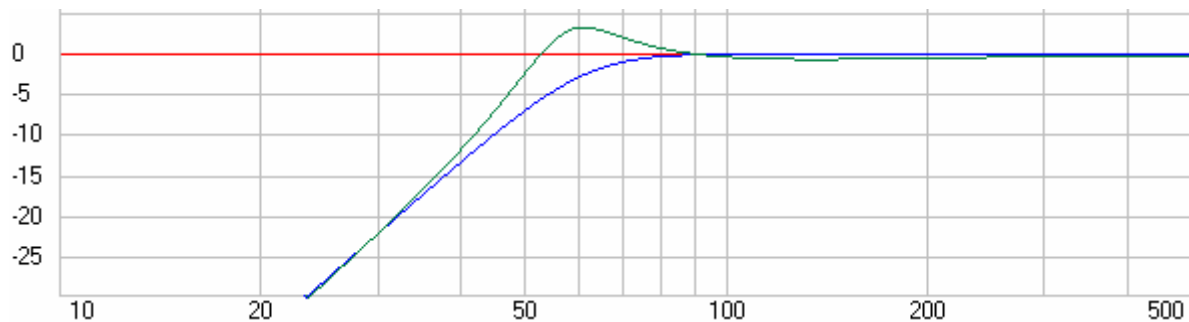
Tidsforsinkelse til to bassrefleks systemer med lik avstemningsfrekvens:



Den grønne kurven har lengst tidsforsinkelse, systemet har prioritert høyt amplitudenivå rundt avstemningsfrekvensen og et stort kabinettvolum på 20 liter.

Den blå kurven har en mer lineær tidsforsinkelse, med bass avstemning til et ideelt kabinettvolum på 7,11 liter og lineær gjengivelse.

Frekvenskurve til de to systemene:



Avstemningsfrekvensen er 57,11 Hz for begge systemene, og elementet som er brukt er Peerless CSX H 145.



## 4.10 Konstruksjon:

Når kassen skal bygges, er det også en del å ta i betraktning. Størrelse, design, valg av byggemateriale og hvordan alt skal passe sammen i praksis.

Hvis kassen blir veldig stor, må den avstives med tilsvarende mengde. Jo større kassen blir, jo flere avstivere trenger den for å beholde stivheten i veggene. Fordelen er at den blir tilsvarende tyngre. Hvis en kasse er relativt liten, kan det lages et ekstra kammer som fylles med sand for å øke vekten, og gjøre den mer solid. Da blir kassen også stivere. Dette kan også gjøres for å gjøre små høyttalere høye nok til å kunne brukes som gulvstående høyttalere.

Et kabinett bør helst være så smalt som mulig. Her er som oftest diameteren til bassen som avgjør bredden på frontplaten. Når målene til kassen skal regnes ut, er det lurt å starte med bredden og bruke den smaleste bredden som elementet tillater. Dette gir større muligheter for å lage kassen høy og dyp.

Hvis kabinettet har et bassrør, må dybden være dyp nok til å få plass til hele røret i tillegg til litt rom bak røret. Her bør det være minimum 7,5 cm mellom bassrørets bakre åpning og kabinett veggen bak åpningen. Det er lurt å få så stor plass bak bassrøret for å få plass til så stor luftmengde som mulig uten å skape kompresjon. Hvis man prøver å blåse gjennom et rør, og begynner å blåse helt inntil åpningen, kommer det nesten ikke luft gjennom røret i det hele tatt. Hvis man justerer avstanden, kommer det mer luft når avstanden økes inntil en viss avstand. Inni kassen er det best med så stort luftrom rundt åpningen som mulig.

Når dybden og bredden er fastslått, kommer høyden nesten av seg selv. Da er det bare å sette inn i volumformelen og regne ut.

Byggematerialet som brukes har stor betydning for lyden. Dette bør være tungt, stivt og dødt. De beste typene man kan bruke til byggemateriale er sponplater, kryssfinér og MDF. Aluminium er også brukt i noen høyttalere. Det mest vanlige er MDF, som gir meget gode resultater, og er lett å behandle for å få en bra finish. MDF står for Medium Density Fiber. Jo større tykkelse på platene, jo bedre. Vanlig tykkelse er mellom 12 - 25 mm. Hvis det brukes tykke plater, er det ikke nødvendigheten for avstivere så stor. Selv om kassen er liten, kan det godt brukes byggematerialer på rundt 22 mm tykkelse, og gjerne avstives i tillegg, for å gjøre kassen så solid og "lydløs" som mulig. I små kasser går det også bra med 16 mm.

Når det gjelder designdelen, er det mye smak og behag. Elementene kan innfelles for å komme i flukt med frontplaten, og sidene kan avrundes for gjøre den litt mindre firkantet. Dette gjør også at høyttaleren virker smalere enn den egentlig er. Ellers kan den kles med det meste, f. eks maling, trefinér, høyttalerteppe, tapét osv. Den kan trekkes med høyttalerstoff på frontplaten hvis ikke elementene er nok design i seg selv.

Formel for volum:  $\text{Volum} = \text{dybde} \cdot \text{bredde} \cdot \text{høyde} \text{ [dm}^3\text{]}$   
 $V = d \cdot b \cdot h$

#### 4.10.1 Eksempel:

Innbyggingsbredden på basselementet er 11,5 cm. Denne bredden brukes her til innvendig bredde.

Kabinettet er bassrefleks, og bassrøret er 14 cm dypt, som monteres fra utsiden.

Tykkelsen på platen er 22 mm. Ønsker 7 cm fritt rom bak bassrør.

Innvendig dybde blir:  $14+5-2,2 = 16,8$  cm.

Kassens volum er 10 liter, og må finne innvendig høyde:

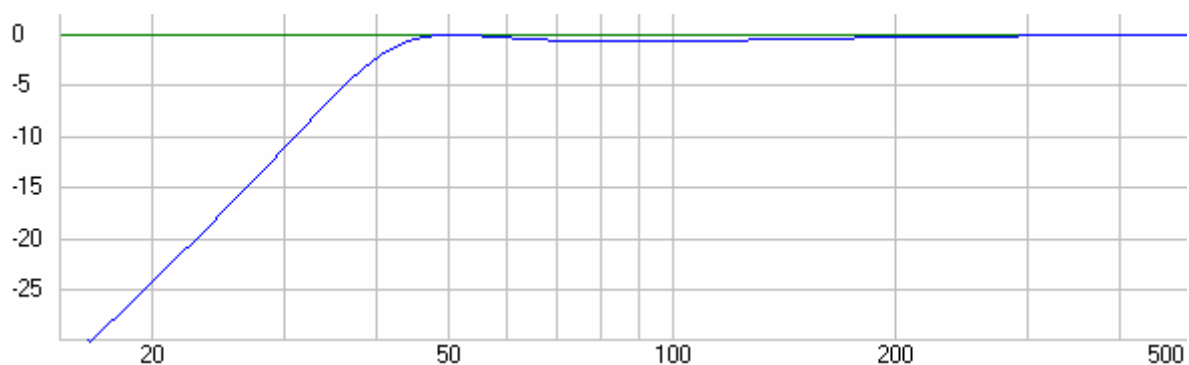
$$h = \frac{V}{d \cdot b} = \frac{10}{1,68 \cdot 1,15} = 5,176 \text{ dm} = \underline{\underline{51,76 \text{ cm}}}$$

## 4.11 Problemer med for lav avstemningsfrekvens til en bassreflekskasse:

I en bassreflekskasse kan bassportens avtuningsfrekvens beregnes så lavt som man vil. Da blir imidlertid bassrørene ofte fryktelig lange eller fryktelig smale. Et annet problem er at frekvenskurven til kassen ikke blir helt slik man hadde tenkt, og kurven begynner å falle mye tidligere enn ved normal avstemming. En usannsynlig dyp nedre frekvens til et lite bassreflekssystem er ikke heldig, og går på bekostning av effekten i høyere basstoner.

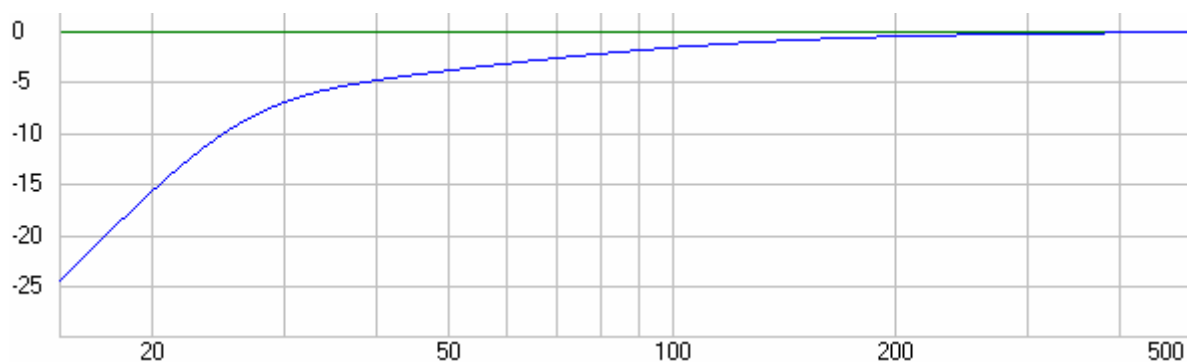
Basselement: Peerless CSX 217 H, 8"

### 4.11.1 Kurve til et system på 40 liter som er avstemt for å få en lineær kurve:



Tuningsfrekvens: 40 Hz      - 3 dB: 39 Hz      - 6 dB: 35 Hz

### 4.11.2 Kurve til et system på 40 liter, som er avstemt for maksimal dypbass:



Tuningsfrekvens: 27,0 Hz      - 3 dB: 61,6 Hz      - 6 dB: 32,8 Hz

System nr. 2 er avstemt en del dypere enn den første kurven, men begynner å falle ved ca. 200 Hz. - 3 dB punktet kommer også mye tidligere. I system nr. 1 begynner ikke kurven å falle før ca. 50 Hz, og - 3 dB punktet blir dypere. System nr. 1 har altså mer effekt langt dypere enn system nr. 2, selv om det er avstemt til en høyere frekvens. Fordelen med den dypeste tuningen er lettere å se ved - 6 dB punktet. Her har system nr. 2 mest effekt.



Scan-Speak R2904/700000



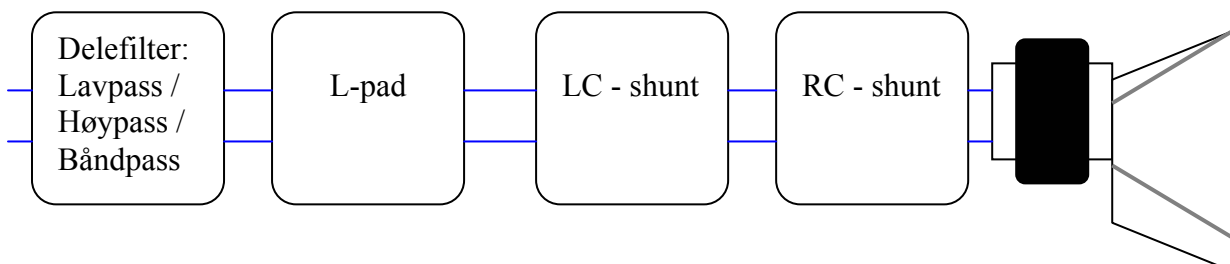
VIFA XT25TG30-04

## ***Kapittel 5:***

### **Filterkretser**

- Lavpass
- Høypass
- Båndpass
- Impedanskorrigering
- Resonanskorrigering
- Nivådemping

Simuleringer med kurver og oppkoblinger er gjort i "Elektronik Workbench: Multisim".



## **5.1 Filtertyper:**

Filtrene som blir beskrevet har Butterworth karakteristikk med  $-3\text{dB}$  ved  $f$ .

### **5.1.1 Lavpass filter:**

Et lavpassfilter er en krets som gjør at lyder under en viss frekvens slipper gjennom til elementet, som oftest et basselement. Kan altså kalles et bassfilter. Kretsen filtrerer bort lydene over delefrekvensen. Hensikten med filteret er å spare basselementet for frekvenser som elementet ikke klarer å gjengi, og å få dempet ned frekvensområdet et stykke før den maksimale frekvensen elementet klarer å gjengi før elementet bryter opp.

Målet er å få dempet lydene over delefrekvensen så mye som mulig, slik at den ideelt sett ikke gjengir de i det hele tatt. Jo høyere ordens filter, jo brattere deling. Lyden blir dempet et visst antall desibel pr. oktav.

### **5.1.2 Høypass filter:**

Et høypassfilter er en krets som gjør at lyder over en viss frekvens slipper gjennom til elementet, som oftest et diskantelement. Kan altså kalles et diskantfilter. Kretsen filtrerer bort lydene under delefrekvensen.

Hensikten med filteret er å spare diskantelementet for frekvenser som elementet ikke klarer å gjengi, og å få dempet ned frekvensområdet et stykke før den laveste frekvensen elementet klarer å gjengi, og før den når resonansfrekvensen, der elementet bryter opp.

Målet er å få dempet lydene under delefrekvensen så mye som mulig, slik at den ideelt sett ikke gjengir de i det hele tatt. Jo høyere ordens filter, jo brattere deling.

### **5.1.3 Båndpassfilter:**

Et båndpassfilter er en krets som gjør at lyder mellom to frekvenser slipper gjennom til elementet, som oftest et mellomtone element. Kan altså kalles et mellomtonefilter. Kretsen filtrerer bort lydene under en delefrekvens og over en annen delefrekvens.

Hensikten med filteret er å spare elementet for frekvenser som elementet ikke klarer å gjengi, og å få dempet ned frekvensområdet et stykke før den laveste frekvensen elementet klarer å gjengi og et stykke før den maksimale frekvensen, der elementet bryter opp.

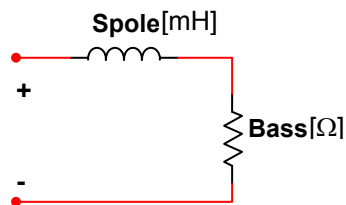
Målet er å få dempet lydene under og over delefrekvensene så mye som mulig, slik at den ideelt sett ikke gjengir de i det hele tatt. Jo høyere ordens filter, jo brattere deling.

Filteret av en lavpassdel og en høypassdel i serie med høyttaleren. Lavpassdelen beregnes basert på den høyeste delefrekvensen. Høypassdelen beregnes basert på den laveste delefrekvensen. Delene beregnes hver for seg, etter vanlig prosedyre for den utvalgte filterorden.

## 5.2 1. ordens filter, 6dB/okt:

### 5.2.1 Lavpassfilter:

**Oppkobling:** Består av en spole i serie med høyttalerelementet:



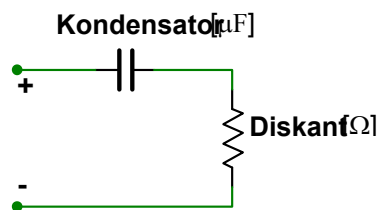
**Fremgangsmåte for beregning av spolens verdi:**

1. Finn ut høyttalerens nominelle impedans,  $Z_N$ .
2. Velg en delefrekvens,  $f$ .
3. Regn ut spolens verdi:

$$L = \frac{Z_N}{2\pi f} \quad [\text{H}]$$

### 5.2.2 Høypassfilter:

**Oppkobling:** Består av en kondensator i serie med høyttalerelementet:



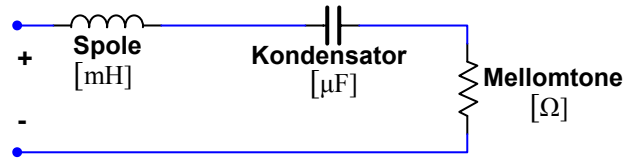
**Fremgangsmåte for beregning av kondensatorens verdi:**

1. Finn ut høyttalerens nominelle impedans,  $Z_N$ .
2. Velg en delefrekvens,  $f$ .
3. Regn ut kondensatorens verdi:

$$C = \frac{1}{2\pi f \cdot Z_N} \quad [\text{F}]$$

### 5.2.3 Båndpassfilter:

**Oppkobling:** Består av en spole og kondensator i serie høyttalerelementet:



**Fremgangsmåte:**

1. Regn ut spolens verdi basert på øvre grensefrekvens:

$$L = \frac{Z_N}{2\pi f_H}$$

2. Regn ut kondensatorens verdi basert på nedre grensefrekvens:

$$C = \frac{1}{2\pi f_L \cdot Z_N}$$

## 5.3 Eksempler 1. ordens filtre:

### 5.3.1 Lavpass:

1. Nominell impedans:  $Z_N = 8 \Omega$

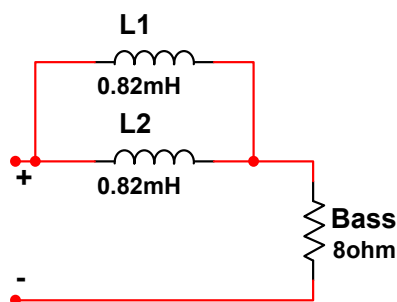
2. Delefrekvens:  $f = 3000 \text{ Hz}$

3. Spolens verdi blir:  $L = \frac{Z_N}{2\pi f} = \frac{8}{2\pi \cdot 3000} = \underline{\underline{0,42 \text{ mH}}}$

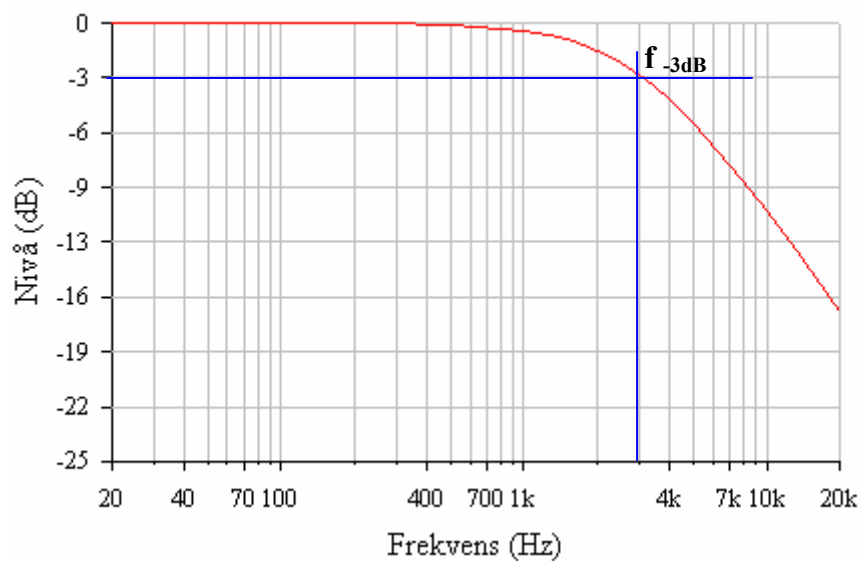
I spolene vil det alltid være en viss indre motstand, og får at denne skal bli så liten som mulig, velges det her å bruke to spoler i parallell, da motstanden blir halvert:

$$0,82 \text{ mH} \parallel 0,82 \text{ mH} = 0,42 \text{ mH}$$

Krets med verdier:



Kurve:





### 5.3.2 Høypass:

1. Nominell impedans:  $Z_N = 6 \Omega (+2,2 \Omega)$

2. Delefrekvens:  $f = 3000 \text{ Hz}$

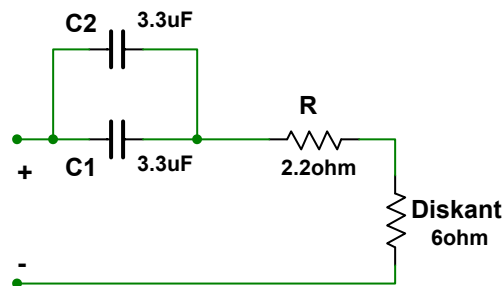
3. Kondensatorens verdi blir:  $C = \frac{1}{2\pi f \cdot Z_N} = \frac{1}{2\pi \cdot 3000 \cdot 8} = \underline{\underline{6,63 \mu\text{F}}}$

Ettersom diskantelementer ofte har en nominell impedans på  $6 \Omega$ , er det her koblet inn en motstand i serie med elementet på  $2,2 \Omega$ . Det er også koblet to kondensatorer i parallell for å vise hvordan verdien til kondensatorer blir ved parallellkobling:

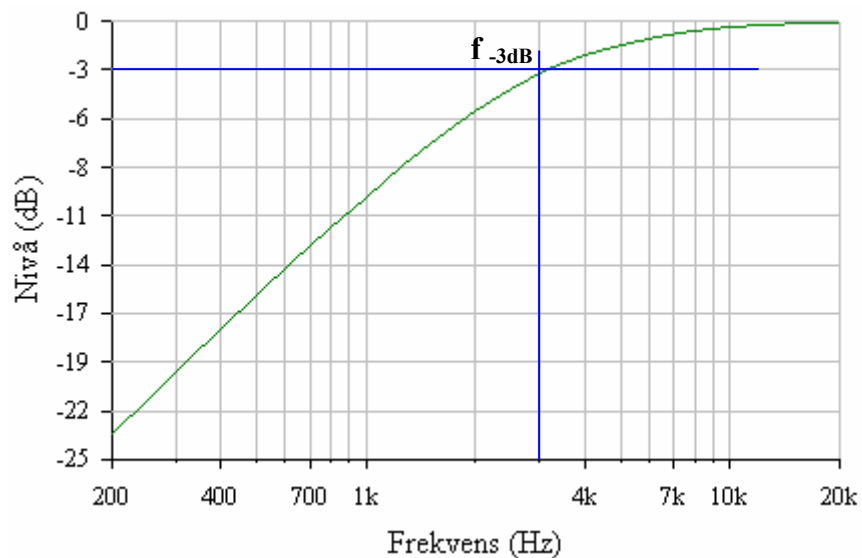
$$3,3 \mu\text{F} \parallel 3,3 \mu\text{F} = 6,6 \mu\text{F}$$

En parallell kobling av kondensatorer blir det samme seriekobling av motstand eller spole.

Krets med verdier:



Kurve:



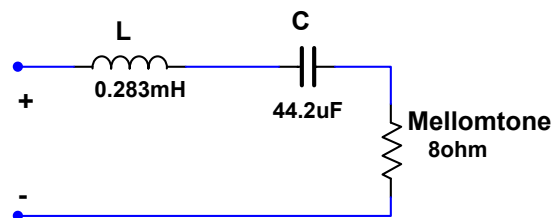
### 5.3.3 Båndpass:

1. Nominell impedans:  $Z_N = 8 \Omega$
2. Øvre grensefrekvens:  $f_H = 4500 \text{ Hz}$
3. Nedre grensefrekvens:  $f_L = 450 \text{ Hz}$

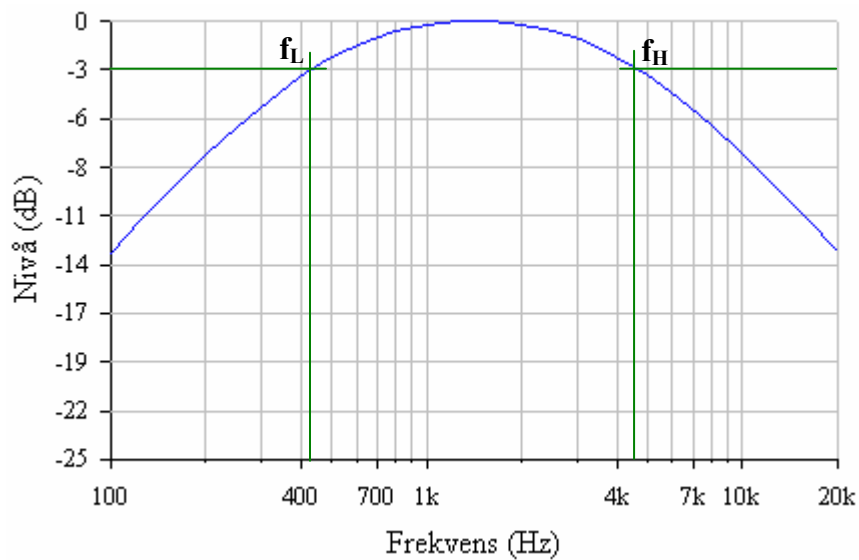
4. Spolens verdi blir: 
$$L = \frac{Z_N}{2\pi f_H} = \frac{8}{2\pi \cdot 4500} = \underline{\underline{0,283 \text{ mH}}}$$

5. Kondensatorens verdi blir: 
$$C = \frac{1}{2\pi f_L \cdot Z_N} = \frac{1}{2\pi \cdot 450 \cdot 8} = \underline{\underline{44,2 \mu\text{F}}}$$

Krets med verdier:

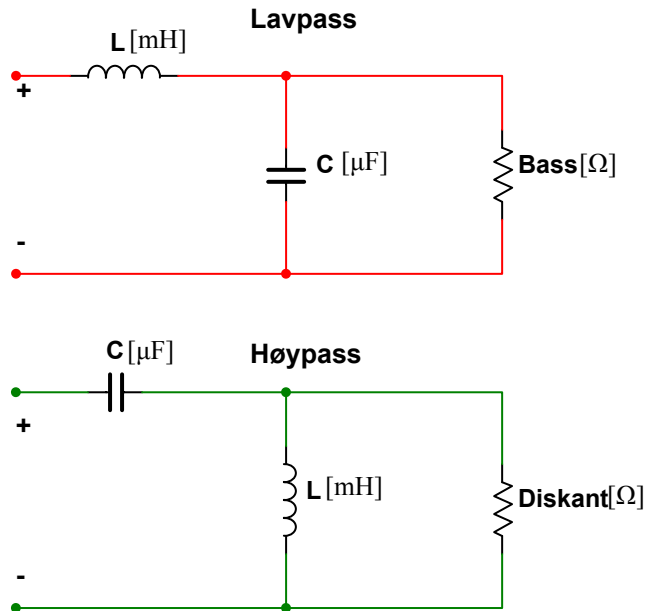


Kurve:



## 5.4 2. ordens lavpass/høypass filter, 12 dB/okt:

Oppkobling:



Fremgangsmåte:

1. Regn ut motstanden som filteret skal beregnes etter:

$$R = Z_N \cdot 41,75\% = Z_N \cdot 1,4175$$

2. Regn ut størrelsen til kondensatoren basert på  $R$  og delefrequensen  $f$ :

$$C = \frac{1}{R \cdot 2\pi f}$$

3. Regn deretter ut størrelsen til spolen basert på  $R$  og  $C$ :

$$L = C \cdot R^2$$

4. Verdiene til spolen og kondensatoren brukes i både lavpass- og høypassfilter.

### 5.4.1 Eksempel 2. ordens lavpass/høypass til 2-veis høyttaler:

Nominell impedans  $Z_N = 8 \Omega$ .

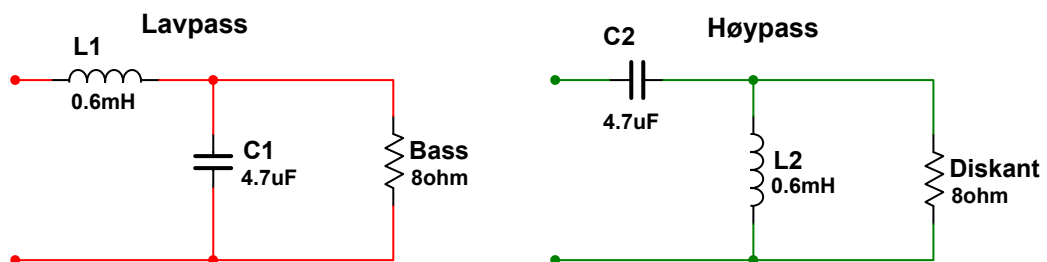
Delefrekvens,  $f = 3000 \text{ Hz}$ .

1.  $R = 8 \cdot 1,4175 = 11,34 \Omega$

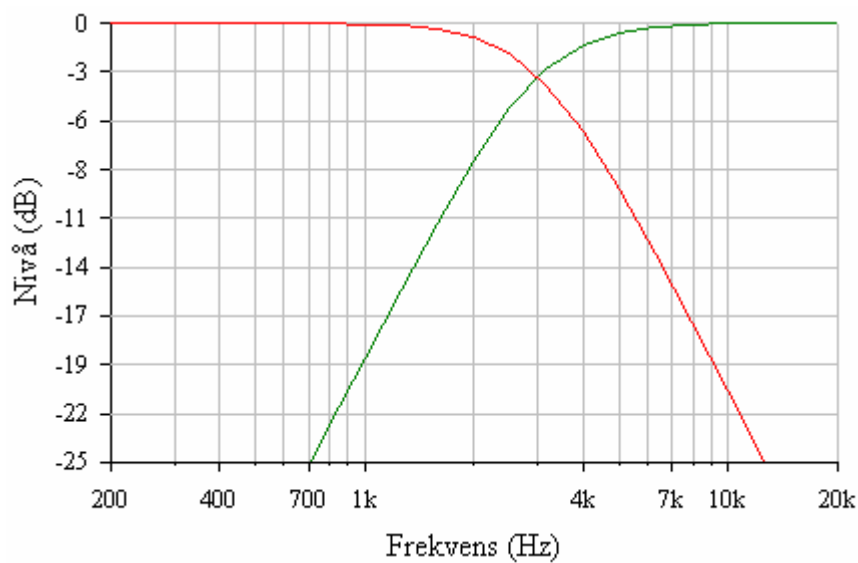
2.  $C = \frac{1}{11,34 \cdot 2\pi \cdot 3000} = \underline{\underline{4,68 \mu\text{F}}} \approx 4,7 \mu\text{F} \text{ (standardverdi)}$

3.  $L = 4,68 \cdot 10^{-6} \cdot 11,34^2 = \underline{\underline{0,6 \text{ mH}}}$

4. Verdiene brukes i begge filtertypene, men på forskjellig plass:



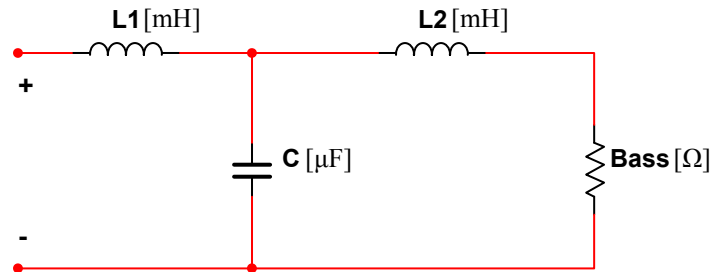
Kurve:



### 5.5 3. ordens filtre, 18 dB/okt:

#### 5.5.1 Lavpass:

Oppkobling:



Fremgangsmåte:

Beregn verdiene til kretselementene fra følgende formler:

$$L_1 = \frac{Z_N}{2\pi f} \cdot 1,508$$

$$L_2 = \frac{Z_N}{2\pi f} \cdot 0,495$$

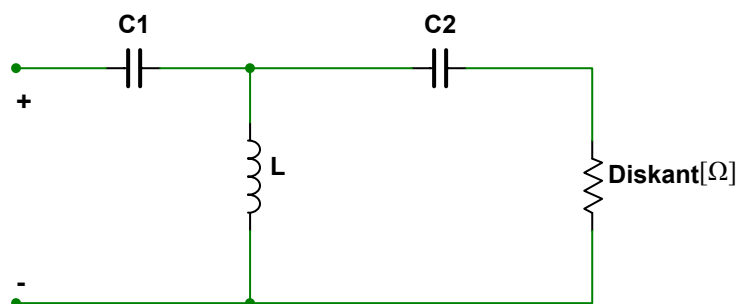
$$C = \frac{1}{2\pi f \cdot Z_N} \cdot 1,333$$

Delefrekvens = f

Nominell impedans =  $Z_N$

#### 5.5.2 Høypass:

Oppkobling:



Fremgangsmåte:

Beregn verdiene til kretselementene fra følgende formler:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f \cdot Z_N} \cdot 0,667$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f \cdot Z_N} \cdot 2,006$$

$$L = \frac{Z_N}{2\pi f} \cdot 0,754$$

Delefrekvens = f

Nominell impedans =  $Z_N$

## 5.6 Eksempler på 3. ordens filtre:

### 5.6.1 Lavpass:

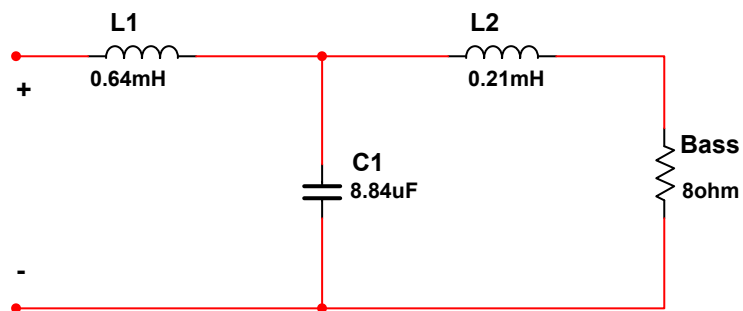
$$f = 3000 \text{ Hz} \quad Z_N = 8 \Omega$$

$$L_1 = \frac{8}{2\pi \cdot 3000} \cdot 1,508 = \underline{\underline{0,64\text{mH}}}$$

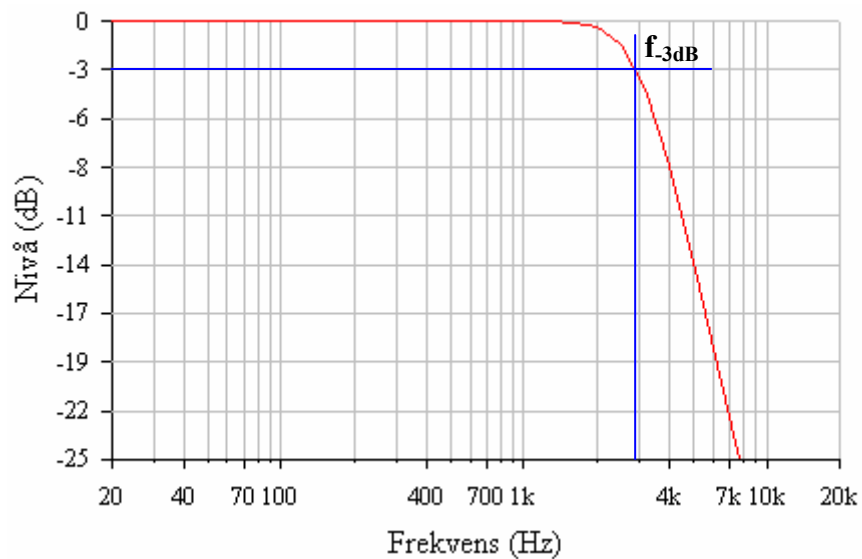
$$L_2 = \frac{8}{2\pi \cdot 3000} \cdot 0,495 = \underline{\underline{0,21\text{mH}}}$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot 3000 \cdot 8} \cdot 1,333 = \underline{\underline{8,84\mu\text{F}}}$$

Oppkobling:



Kurve:



## 5.6.2 Høypass:

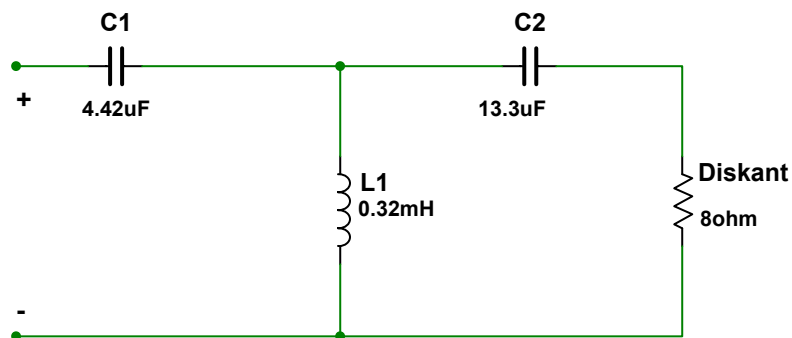
$$f = 3000 \text{ Hz} \quad Z_N = 8 \Omega$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot 3000 \cdot 8} \cdot 0,667 = \underline{\underline{4,42\mu\text{F}}}$$

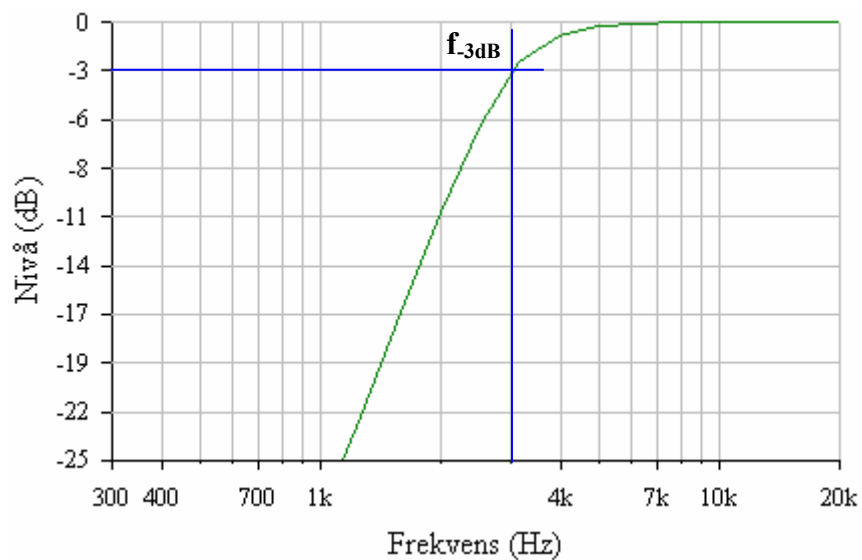
$$C_2 = \frac{1}{2\pi \cdot 3000 \cdot 8} \cdot 2,006 = \underline{\underline{13,3\mu\text{F}}}$$

$$L_1 = \frac{8}{2\pi \cdot 3000} \cdot 0,754 = \underline{\underline{0,32\text{mH}}}$$

Oppkobling:



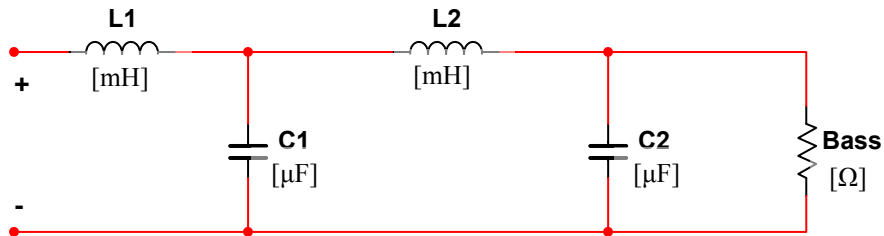
Kurve:



## 5.7 4. ordens filtre, 24 dB/okt:

### 5.7.1 Lavpass:

Oppkobling:



Fremgangsmåte:

Beregn verdiene til kretselementene fra følgende formler:

$$L_1 = \frac{1,532 \cdot Z_N}{2\pi f}$$

$$L_2 = \frac{1,084 \cdot Z_N}{2\pi f}$$

$$C_1 = \frac{1,583}{2\pi \cdot Z_N \cdot f}$$

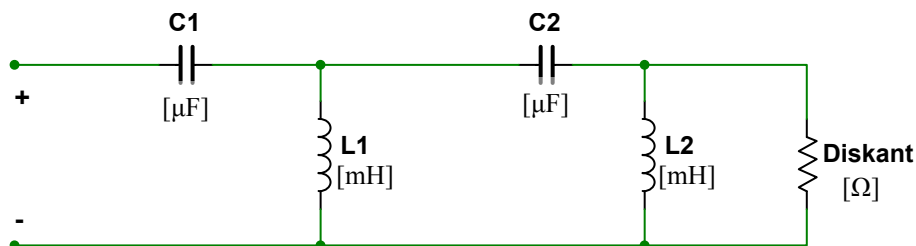
$$C_2 = \frac{0,383}{2\pi \cdot Z_N \cdot f}$$

Delefrekvens =  $f$

Nominell impedans =  $Z_N$

### 5.7.2 Høypass:

Oppkobling:



Fremgangsmåte:

Beregn verdiene til kretselementene fra følgende formler:

$$C_1 = \frac{0,653}{2\pi \cdot Z_N \cdot f}$$

$$C_2 = \frac{0,924}{2\pi \cdot Z_N \cdot f}$$

$$L_1 = \frac{0,636 \cdot Z_N}{2\pi f}$$

$$L_2 = \frac{2,592 \cdot Z_N}{2\pi f}$$



### 5.7.3 Lavpass/Linkwitz-Riley:

$$C_1 = \frac{1,598}{2\pi \cdot Z_N \cdot f} \quad C_2 = \frac{0,353}{2\pi \cdot Z_N \cdot f}$$

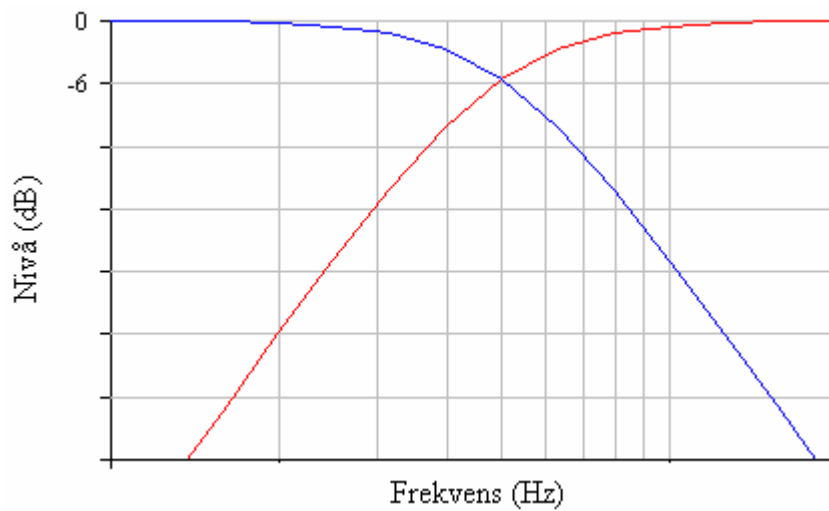
$$L_1 = \frac{1,855 \cdot Z_N}{2\pi f} \quad L_2 = \frac{0,943 \cdot Z_N}{2\pi f}$$

### 5.7.3 Høypass/Linkwitz-Riley:

$$C_1 = \frac{0,531}{2\pi \cdot Z_N \cdot f} \quad C_2 = \frac{1,060}{2\pi \cdot Z_N \cdot f}$$

$$L_1 = \frac{0,636 \cdot Z_N}{2\pi f} \quad L_2 = \frac{2,827 \cdot Z_N}{2\pi f}$$

Linkwitz-Riley filtre har -6 dB ved  $f$ , og danner et allpassfilter med lavpass + høypass ved frekvenslineære høytalerelementer. Lavpass og høypass delen har identisk fase.



### 5.7.5 Eksempel på 4. ordens filter til 2-veis høyttaler:

Delefrekvens:  $f = 3000 \text{ Hz}$ .

Nominell impedans:  $Z_N = 8 \Omega$

Lavpassdel til bass:

$$L_1 = \frac{1,532 \cdot 8}{2\pi \cdot 3000} = \underline{\underline{0,65 \text{ mH}}}$$

$$L_2 = \frac{1,084 \cdot 8}{2\pi \cdot 3000} = \underline{\underline{0,46 \text{ mH}}}$$

$$C_1 = \frac{1,583}{2\pi \cdot 8 \cdot 3000} = \underline{\underline{10,5 \mu\text{F}}}$$

$$C_2 = \frac{0,383}{2\pi \cdot 8 \cdot 3000} = \underline{\underline{2,54 \mu\text{F}}}$$

Høypassdel til diskant:

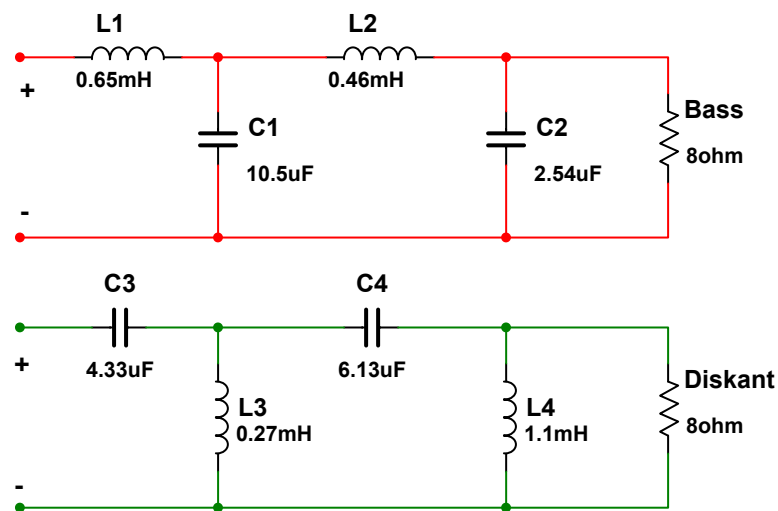
$$C_3 = \frac{0,653}{2\pi \cdot 8 \cdot 3000} = \underline{\underline{4,33 \mu\text{F}}}$$

$$C_4 = \frac{0,924}{2\pi \cdot 8 \cdot 3000} = \underline{\underline{6,13 \mu\text{F}}}$$

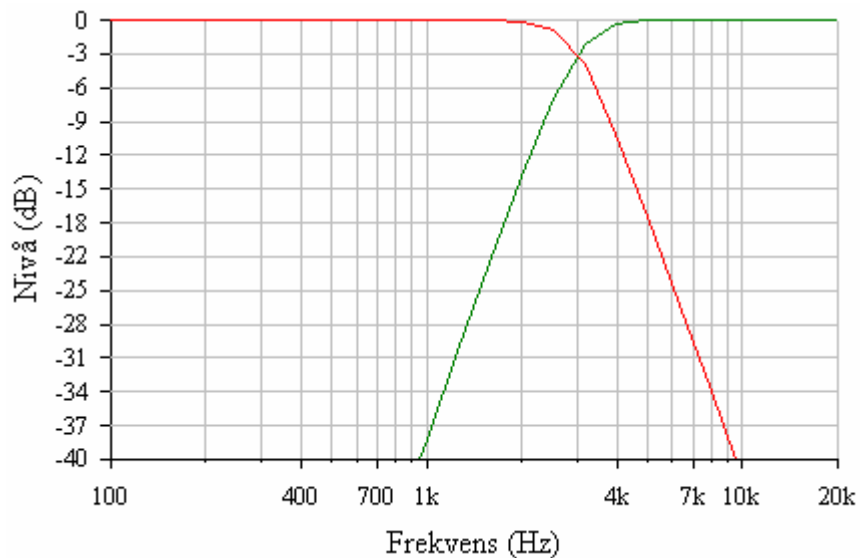
$$L_3 = \frac{0,636 \cdot 8}{2\pi \cdot 3000} = \underline{\underline{0,27 \text{ mH}}}$$

$$L_4 = \frac{2,592 \cdot 8}{2\pi \cdot 3000} = \underline{\underline{1,1 \text{ mH}}}$$

Krets med verdier:



Kurve:



## 5.8 RC-shunt regulator:

En shunt regulator er en krets som består av en kondensator og en motstand i serie.

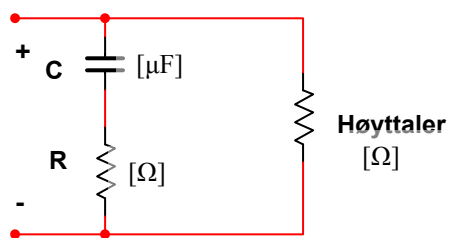
Disse kobles i parallell med høyttalerelementet, etter hovedfilteret. Altså en *parallell impedans korreksjon*.

Den gjør at høyttalerens motstand ved en viss frekvens justeres ned til høyttalerens nominelle motstand, og gjør dermed at delefilteret får riktige arbeidsforhold ved en tilfeldig defrekvens. Når denne kobles i parallell med høyttaleren, blir det til sammen riktig impedans. En må ofte prøve seg litt frem for å finne den verdien som gir best korrigering til det utvalgte elementet.

Hensikten med denne er å kompensere for økende motstand ved økende frekvens til et høyttalerelement.

Målet er å få en tilnærmet flat impedanskurve, som er lik høyttalerens nominelle impedans,  $Z_N$ , over hele frekvensspekteret.

### Oppkobling:

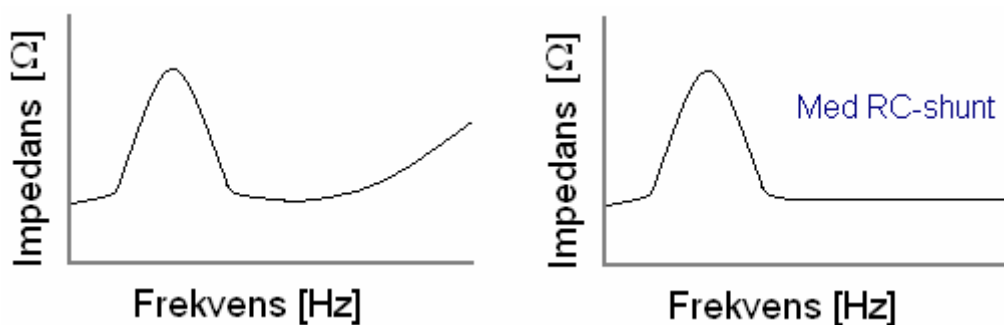


For å beregne filteret er det nødvendig med et datablad til elementet, med verdier og kurver.

Reaktans til kondensator: 
$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$$

Resonansfrekvens: 
$$f = \frac{1}{2\pi f \cdot RC}$$

### Figur som viser virkning:

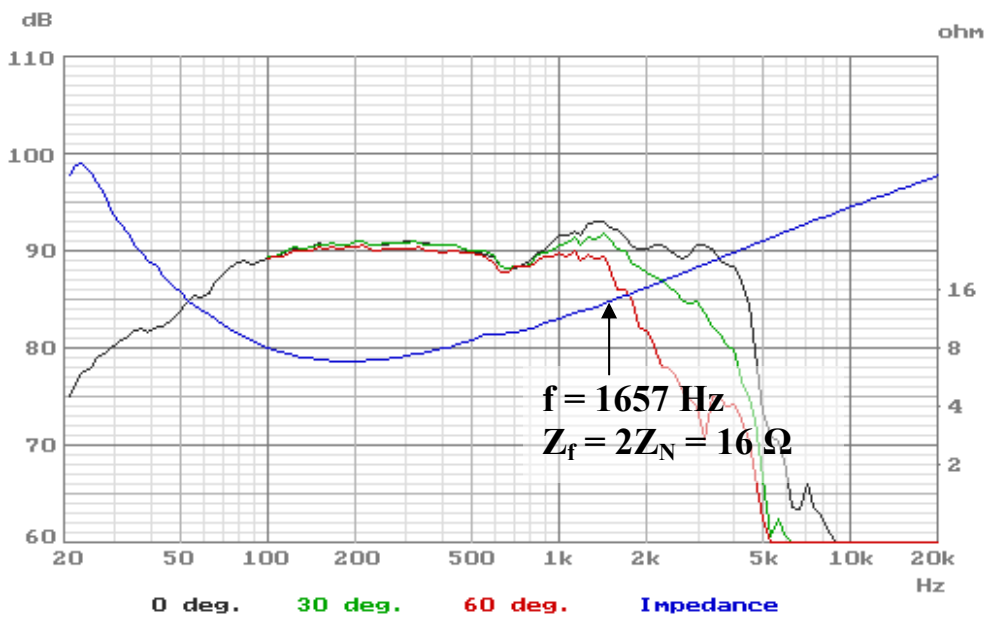
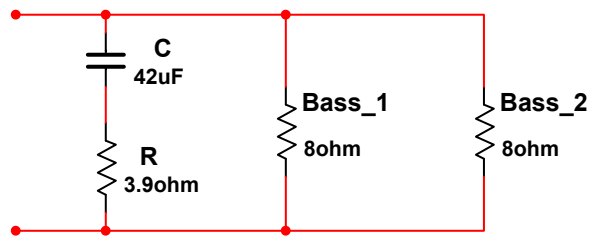
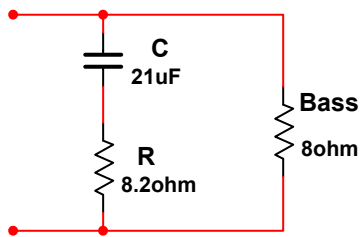


**5.8.1 Metode 1:** Avlesning av f fra impedansekurve:

For ett element:	Ved parallellkobling av to elementer:
$C = \frac{139230 \cdot (2 \cdot Z_N)}{f \cdot Z_N^2} [\mu\text{F}] \quad R = Z_N$	$C = \frac{139230 \cdot Z_N}{f \cdot \left(\frac{Z_N}{2}\right)^2} [\mu\text{F}] \quad R = \frac{Z_N}{2}$
$Z_N$ = nominell impedans	$f$ = frekvens ved dobbel $Z_N$ $R$ = verdi til seriemotstand

**Eksempel:**

Frekvens ved dobbel $Z_N$ :	$f = 1657 \text{ Hz}$	$Z_N = 8 \Omega$
For ett element:	Ved parallellkobling av to elementer:	
$C = \frac{139230 \cdot (2 \cdot 8)}{1657 \cdot 8^2} = \underline{\underline{21 \mu\text{F}}} \quad R = \underline{\underline{8 \Omega}}$	$C = \frac{139230 \cdot 8}{1657 \cdot \left(\frac{8}{2}\right)^2} = \underline{\underline{42 \mu\text{F}}} \quad R = \underline{\underline{4 \Omega}}$	



Peerless CSX 217 H

### 5.8.2 Metode 2:

Frekvensen ved dobbel  $Z_N$  kan finnes fra impedansformelen til høyttalerelementet:

$$Z = \sqrt{R_E^2 + (2\pi f \cdot L_e)^2} \quad Z \text{ velges til dobbel } Z_N.$$

1. Finn  $f$ :

$$f = \frac{\sqrt{(2 \cdot Z_N)^2 - R_E^2}}{2\pi \cdot L_e} \quad R_E = \text{DC motstand, } L_e = \text{talespole induktans.}$$

2. Beregn verdien til kondensatoren:

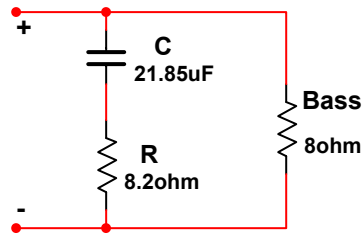
$$C = \frac{1}{2\pi f \cdot R} \quad R = Z_N$$

#### Eksempel:

For Peerless CSX 217 H:  $R_E = 5,9 \Omega$   $L_e = 2,6 \text{ mH}$   $Z_N = 8 \Omega$

$$1. \quad f = \frac{\sqrt{(2 \cdot 8)^2 - 5,9^2}}{2\pi \cdot 2,6 \cdot 10^{-3}} = 910 \text{ Hz}$$

$$2. \quad C = \frac{1}{2\pi \cdot 910 \cdot 8} = \underline{\underline{21,85 \mu\text{F}}}$$



**Kontroll:** Total impedans,  $Z_{EQ}$ , med RC-shunt ved  $f = 3000 \text{ Hz}$ :

$$Z = \sqrt{5,9^2 + (2\pi f \cdot 2,6\text{mH})^2} = 49,36 \Omega$$

$$Z_{EQ} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f \cdot C}\right)^2} \parallel Z = \sqrt{8^2 + \left(\frac{1}{2\pi \cdot 3000 \cdot 21\mu\text{F}}\right)^2} \parallel 49,36 = \underline{\underline{7,17 \Omega}}$$

Begge metodene gir noenlunde lik verdi på kondensatoren. Metode 1 avhenger litt av hvor nøyaktig frekvensen blir avlest og hvordan produsenten har målt impedansen.

Det er uansett lurt å prøve seg litt frem for å finne den verdien som gir  $Z_{EQ}$  nærmest lik  $Z_N$  i området rundt delefrekvensen.

### 5.8.3 Metode 3:

Ved å velge  $R$  lik  $R_e$  til høyttaleren og  $C = \frac{L_e}{R_E^2}$ , blir total impedans lik  $R_E$ .

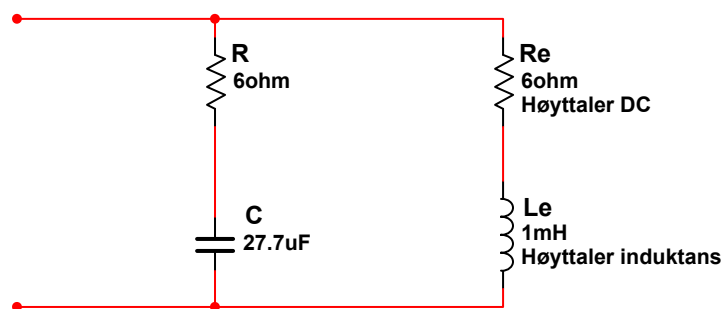
Delefilteret må da beregnes etter  $R_E$ , og ikke  $Z_N$ .

#### Eksempel:

DC motstand til høyttaleren:  $R_E = 6 \Omega$

Induktans til spolen i høyttaleren:  $L_e = 1\text{mH}$

Velg  $R = R_E = 6 \Omega$   $\Rightarrow C = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{6^2} = \underline{\underline{27,7 \mu\text{F}}}$



## 5.9 LC-shunt regulator:

En LC-shunt regulator er en krets som består av en spole, kondensator og en motstand i serie. Disse kobles igjen i parallell med høyttalerelementet, etter hovedfilteret. Dette blir også en parallell impedanskorreksjon. Den gjør i prinsippet det samme som en RC-shunt, men virker som et båndsperefilter.

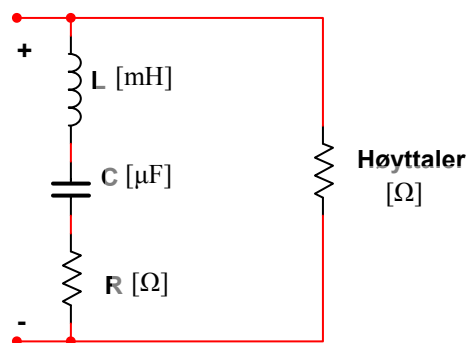
Denne korrigerer impedansen bare i et gitt område, mellom to delefrekvenser. Filteret har minst motstand ved resonansfrekvensen, og når det kobles i parallell med høyttaleren blir det tilnærmet lik elementets nominelle impedans,  $Z_N$ .

Nivået ved resonansfrekvensen kan også bli dempet hvis det velges komponenter som gir ekstra lav impedans ved resonansfrekvensen og bidrar til at en større del av strømmen går gjennom kretsen og mindre strøm når frem til høyttaleren.

Hensikten med kretsen er å utjevne impedanstoppene ved resonansfrekvensen til høyttalerelementet og dempe den. Det gjør at delefilteret kan få en høyere ordens avrulling.

Målet er å få en tilnærmet flat impedanskurve i området rundt resonansfrekvensen.

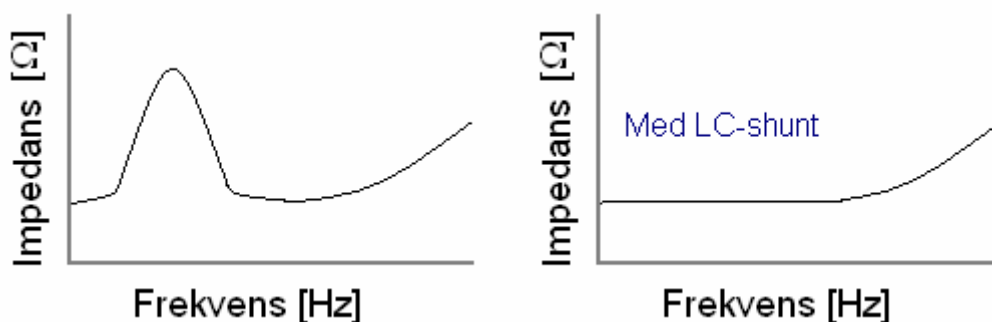
### Oppkobling:



Det er nødvendig med datablad til element for å kunne foreta beregningene.

Resonansfrekvens: 
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

### Figur som viser virkning:



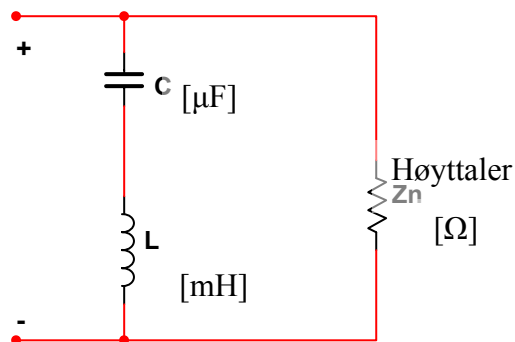
### 5.9.1 Metode 1:

LC-shunt for å få ekvivalent impedans lik nominell impedans:

$$Z_{LC} \parallel Z_f = Z_N$$

$$Z_{LC} = \sqrt{(2\pi f_s \cdot L)^2 + \left(\frac{1}{2\pi f_s \cdot C}\right)^2} = \frac{Z_N \cdot Z_f}{Z_f - Z_N}$$

Oppkobling:



Fremgangsmåte:

1. Finn nominell impedans,  $Z_N$ , og resonansfrekvens,  $f_s$ , og resonansimpedans,  $Z_f$ .
2. Regn ut verdien til kondensatoren:

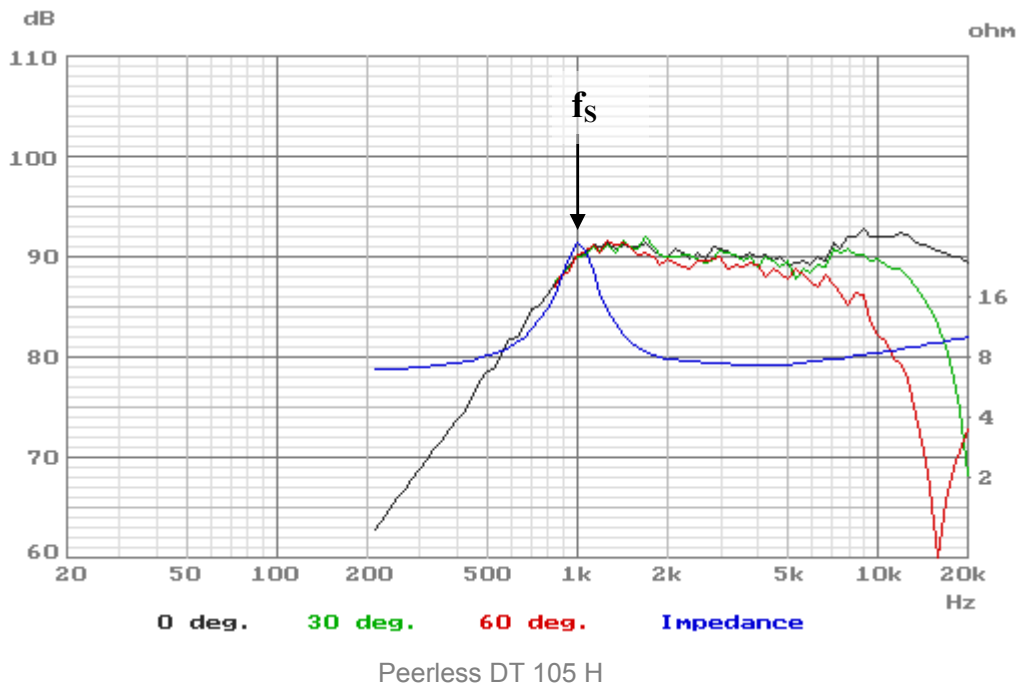
$$C = \frac{\sqrt{2} \cdot (Z_f - Z_N)}{Z_f \cdot Z_N \cdot 2\pi f_s}$$

3. Regn ut verdien til spolen:

$$L = \frac{1}{(2\pi f_s)^2 \cdot C}$$



**Eksempel:**



1. Nominell impedans:  $Z_N = 8 \Omega$ .  
Resonansfrekvens:  $f_s = 1010 \text{ Hz}$ .  
Resonansimpedans:  $Z_f = 31 \Omega$ .
2. Beregner verdien til kondensatoren:

$$C = \frac{\sqrt{2} \cdot (31 - 8)}{31 \cdot 8 \cdot 2\pi \cdot 1010} = \underline{\underline{20,67 \mu\text{F}}}$$

3. Beregner så verdien til spolen:

$$L = \frac{1}{(2\pi \cdot 1010)^2 \cdot (20,67 \cdot 10^{-6})} = \underline{\underline{1,20 \text{ mH}}}$$

4. Kontroll for å sjekke om  $Z_{LC} \parallel Z_f = 8 \Omega$ :

$$Z_{EQ} = Z_{LC} \parallel Z_f = \sqrt{(2\pi f_s \cdot 1,20 \text{ mH})^2 + \left(\frac{1}{2\pi f_s \cdot 20,67 \mu\text{F}}\right)^2} \parallel 31 = \underline{\underline{8 \Omega}}$$

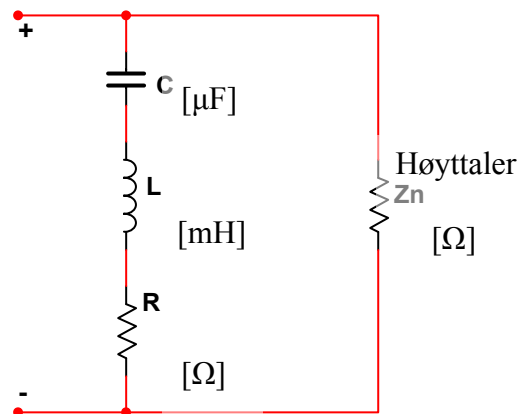
### 5.9.2 Metode 2:

LC-shunt med en resistans, R:

$$Z_{LC} \parallel Z_f = Z_N$$

$$Z_{LC} = \sqrt{R^2 + (2\pi f_s \cdot L)^2 + \left(\frac{1}{2\pi f_s \cdot C}\right)^2} = \frac{Z_N \cdot Z_f}{Z_f - Z_N}$$

Oppkobling:



Fremgangsmåte:

1. Finn nominell impedans,  $Z_N$ , resonansfrekvens,  $f_s$ , og resonansimpedans,  $Z_f$ .
2. Velg  $R = Z_N$
3. Regn ut  $Z$ :

$$Z = \frac{Z_f \cdot Z_N}{Z_f - Z_N}$$

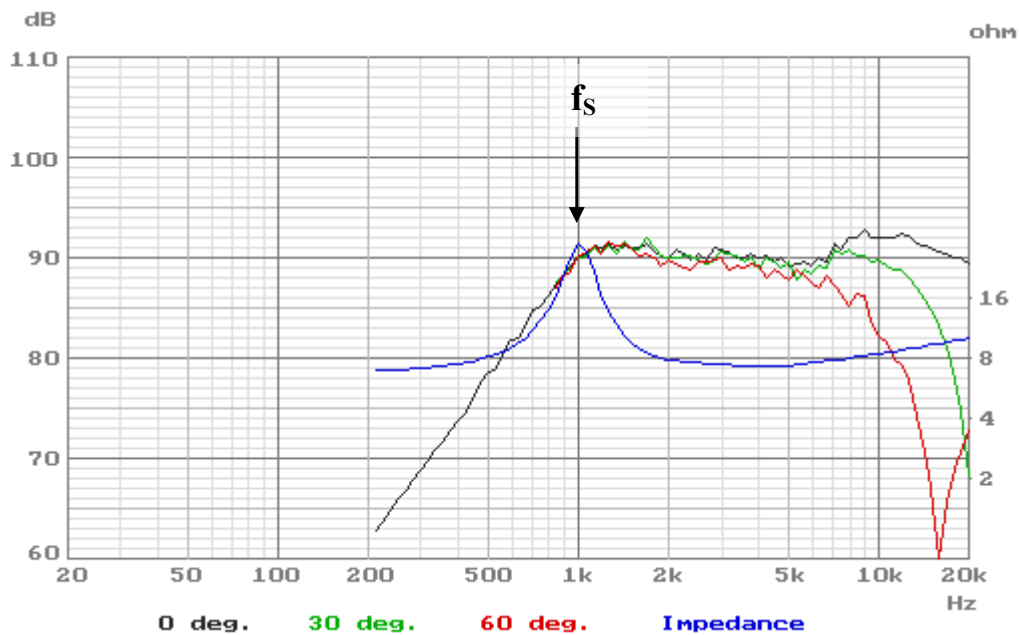
4. Regn ut verdien til kondensatoren:

$$C = \sqrt{\frac{2}{(2\pi f \cdot Z)^2 - (2\pi f \cdot R)^2}}$$

5. Regn ut verdien til spolen:

$$L = \frac{1}{(2\pi f_s)^2 \cdot C}$$

**Eksempel:**



Peerless DT 105 H

1. Nominell impedans:  $Z_N = 8 \Omega$ .  
 Resonansfrekvens:  $f_s = 1010 \text{ Hz}$ .  
 Resonansimpedans:  $Z_f = 31 \Omega$ .  
 $R = 8 \Omega$

2. Beregner Z:  $Z = \frac{31 \cdot 8}{31 - 8} = 10,783 \Omega$

3. Regner ut verdien til kondensatoren:

$$C = \sqrt{\frac{2}{(2\pi \cdot 1010 \cdot 10,783)^2 - (2\pi \cdot 1010 \cdot 8)^2}} = \underline{\underline{30,8 \mu\text{F}}}$$

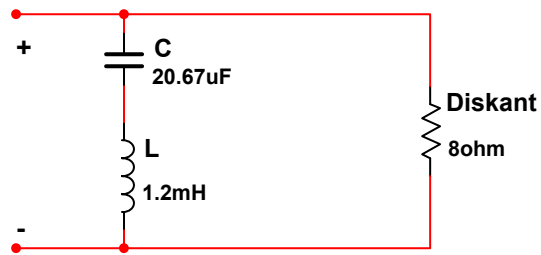
4. Regner ut verdien til spolen:

$$L = \frac{1}{(2\pi \cdot 1010)^2 \cdot (30,8 \cdot 10^{-6})} = \underline{\underline{0,806 \text{ mH}}}$$

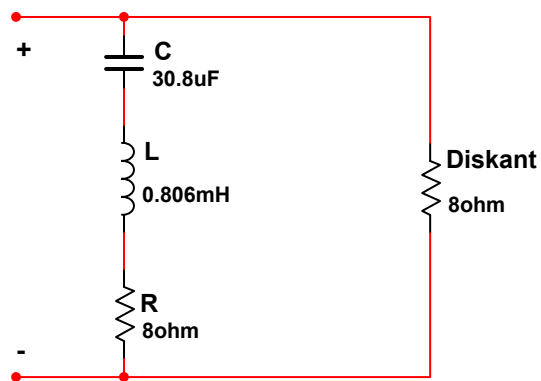
5. Kontroll for å sjekke om  $Z_{LC} \parallel Z_f = 8 \Omega$ :

$$Z_{EQ} = Z_{LC} \parallel Z_f = \sqrt{8^2 + (2\pi f_s \cdot 0,806 \text{ mH})^2} + \left( \frac{1}{2\pi f_s \cdot 30,8 \mu\text{F}} \right)^2 \parallel 31 = \underline{\underline{8 \Omega}}$$

Krets til eksempel for metode 1:



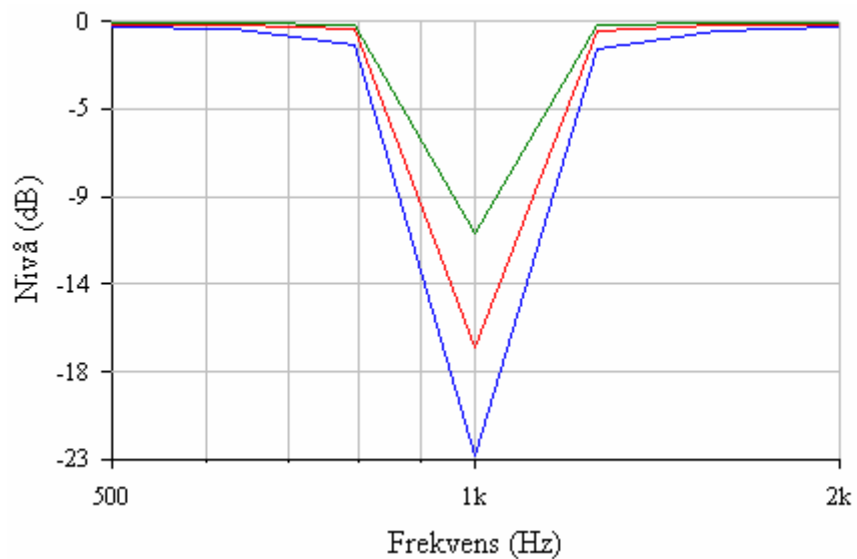
Krets til eksempel for metode 2:



For metode 1 gjelder i tillegg følgende:

Jo høyere verdien til kondensatoren er i forhold til spoleverdien, jo større demping blir oppnådd. For å få mer demping er det bare å doble C-verdien, og halvere L-verdien.

For hver gang C-verdien dobles og L-verdien halveres, øker dempingen med ca. 6 dB.



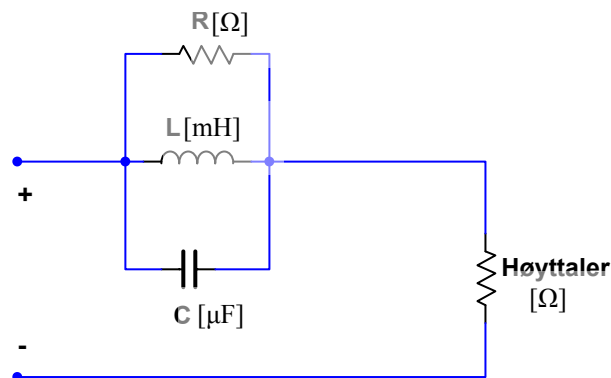
## 5.10 Parallell sperrefilter:

Hensikten er å dempe ned områder med hevet nivå på frekvenskurven. Nivået blir dempet ved en valgt senterfrekvens mellom to -3dB frekvenser, ved at kretsen har økt motstand i dette området.

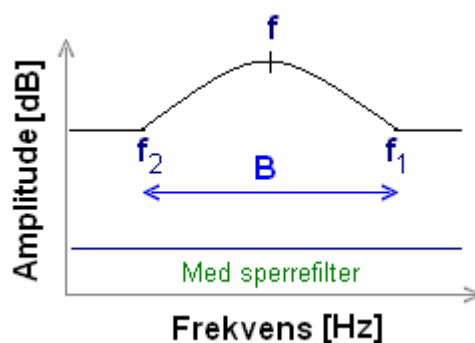
Kretsen blir også kalt sugekrets, som "suger" ned toppen ved en bestemt frekvens.

Målet er å gjøre frekvenskurven mest mulig lineær sammenlignet med resten av elementets frekvensgang.

### Oppkobling:



### Figur som viser virkning:



### Fremgangsmåte:

1. Finn senterfrekvensen,  $f$ , der nivået er størst, og regn ut verdien til kondensatoren:

$$C = \frac{1}{2\pi f} \cdot 0,1887$$

2. Regn deretter ut verdien til spolen:

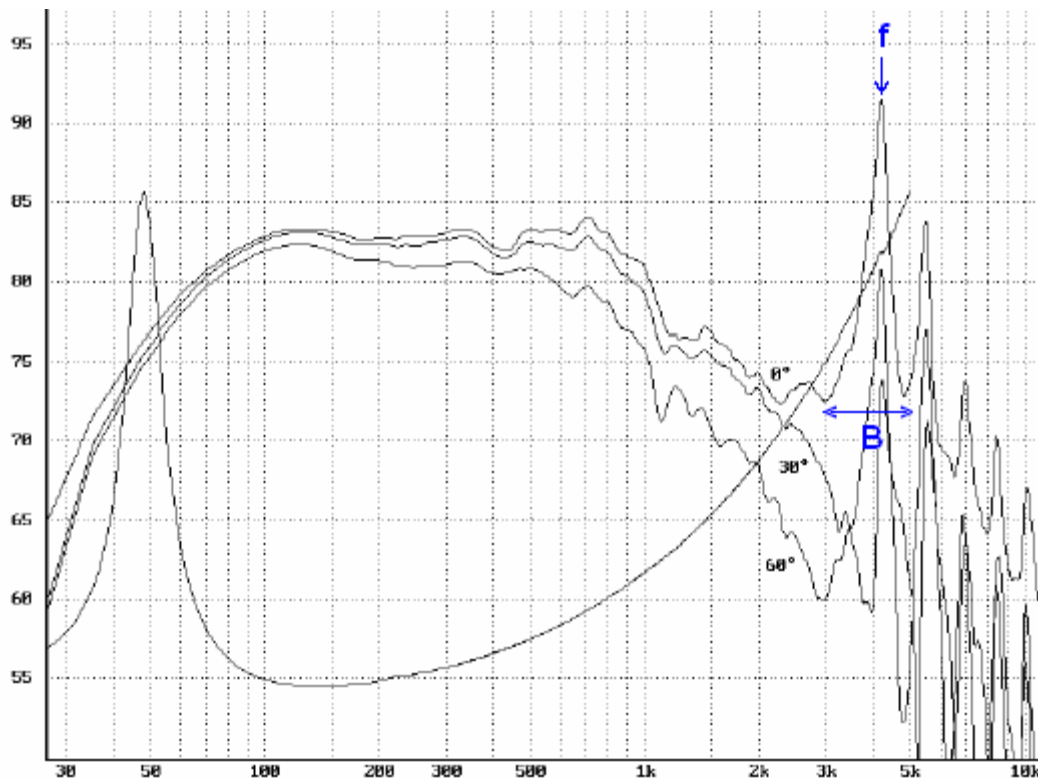
$$L = \frac{1}{2\pi f^2 C} \cdot 0,1415$$

3. Velg en båndbredde,  $B$ , rundt senterfrekvensen, og regn ut verdien til motstanden:

$$B = f_1 - f_2 \quad R = \frac{1}{2\pi \cdot C B}$$

## Eksempel på sperrefilter:

SEAS H 0956, L21RN4X/P



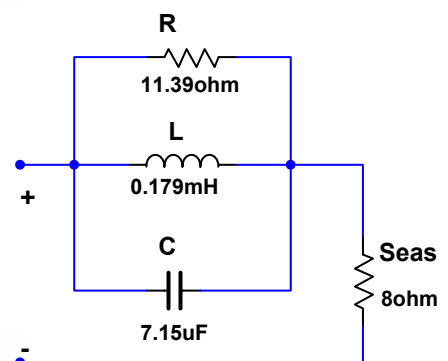
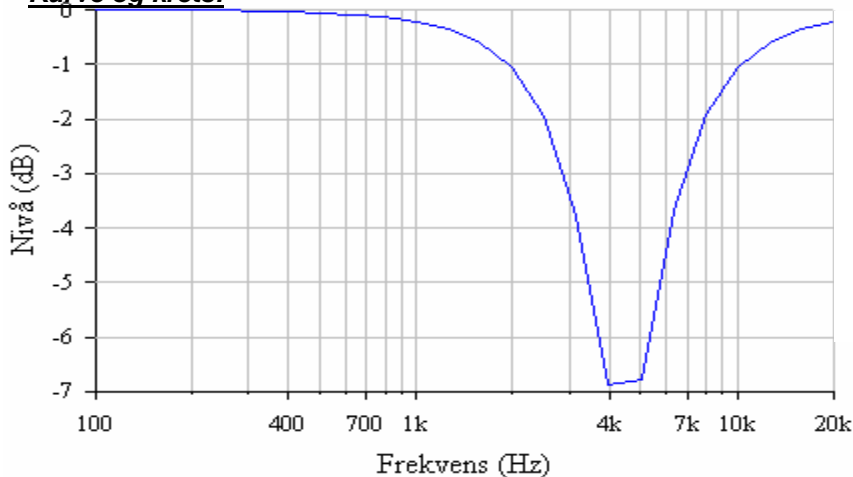
Kurven viser en stor topp mellom 4 og 5kHz, som kan skape en del uønskede lyder. Selv om det i dette tilfelle sannsynligvis ville vært tilkoblet et delefilter rundt 1000 Hz, kan denne toppen fordelsmessig dempes slik at filteret virker som ønsket. Velger en båndbredde, B, på 2kHz, fra 3kHz til 5kHz. Senterfrekvensen, f, er 4200 Hz:

1. Kondensatorens verdi blir da:  $C = \frac{0,1887}{2\pi \cdot 4200} = \underline{7,15 \mu\text{F}}$

2. Verdien til spolen og motstanden blir:

$$L = \frac{0,1415}{2\pi \cdot 4200^2 \cdot (7,15 \cdot 10^{-6})} = \underline{0,179 \text{ mH}} \quad R = \frac{1}{2\pi \cdot (7,15 \cdot 10^{-6}) \cdot 2000} = \underline{11,13 \Omega}$$

### Kurve og krets:



## 5.11 Nivådemping:

Alle høyttalere har en viss følsomhet som sier noe om hvor lett de er å drive for forsterkeren. Dette måles i hvor høyt elementet spiller i dB med 1W eller 2,83 V tilført ved 1 meter.

I en konstruksjon blir det ofte til at man må velge elementer med ulik følsomhet, og dette er ikke ønsket hvis alle de forskjellige elementene skal spille like høyt. Hvis diskanten eller mellomtonen spiller høyere enn bassen, får ikke frekvenskurven likt nivå over hele frekvensområdet. Omvendt kan det også forekomme at man bruker et basselement som spiller høyere enn resten av elementene.

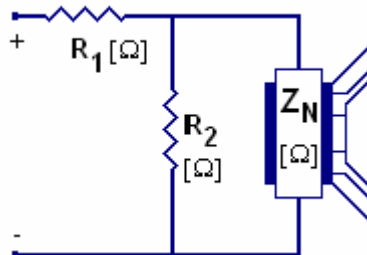
For å unngå slike problemer som kan gjøre at høyttaleren har for mye av det gode i et frekvensområde, må de for høyt spillende elementene dempes i nivå. Dette realiseres ved å koble inn motstandere etter delefilteret.

### 5.11.1 L-pad:

For at ikke impedansen skal forskyve seg, må det kobles en motstand i serie ( $R_1$ ), og en i parallell ( $R_2$ ) med høyttaleren. Disse motstanderne gjør at en del av effekten går opp i varme, og når ikke frem til elementet. Dette gjør at systemet må få tilført mer effekt for å spille med like høyt som den var oppgitt til. Effekten som ikke skal nå frem til høyttaleren, må fordeles på de andre motstanderne. En slik krets kalles også **L-pad**. Høyttaleren blir dempet i dB i forhold til andre elementer.

Målet er at hele høyttalersystemet skal ha like forutsetninger over hele frekvensområdet. For å finne den eksakte dempingen, må en ofte prøve seg frem med ulike verdier, og ikke minst bruke øret for å få den lyden man selv ønsker.

#### Oppkobling:



#### Fremgangsmåte:

1. Finn ut  $Z_N$  og ønsket demping,  $A$ , i [-dB].

2. Regn ut verdien til parallellmotstanden: 
$$R_2 = \frac{Z_N \cdot 10^{A/20}}{1 - 10^{A/20}}$$

3. Regn så ut verdien til seriemotstanden: 
$$R_1 = Z_N - \frac{R_2 \cdot Z_N}{R_2 + Z_N}$$

Effekt avgitt til parallellmotstand:

$$P_2 = \frac{R_2 \cdot P_e}{R_1 + R_2}$$

$P_e$  = Tilført effekt [W].

Effekt avgitt til seriemotstand:

$$P_1 = \frac{R_1 \cdot P_e}{R_1 + R_2}$$

### Eksempel på L-pad:

En høyttaler består av en bass, mellomtone og en diskant. Alle elementene har forskjellig følsomhet og målet er å få lik følsomhet for hele systemet.

Element	Følsomhet [dB]	Z <sub>N</sub> [Ω]	P <sub>e</sub> [W]	Dempes i forhold til:	A [-dB]
Bass	90	8	100	-	-
Mellomtone	92	8	100	Bass	90-92 = -2
Diskant	93	8	100	Bass	90-93 = -3

Basselementet har minst følsomhet, og da må de andre elementene dempes i forhold til dette.

Mellomtonen må dempes med 2 dB:

Verdi til parallellmotstand:

$$R_2 = \frac{8 \cdot 10^{-2/20}}{1 - 10^{-2/20}} = \underline{\underline{30,9 \Omega}}$$

Verdi til seriemotstand:

$$R_1 = 8 - \frac{30,9 \cdot 8}{30,9 + 8} = \underline{\underline{1,65 \Omega}}$$

Effekt avgitt til parallellmotstand:

$$P_2 = \frac{30,9 \cdot 100}{30,9 + 1,65} = \underline{\underline{94,93 \text{ W}}}$$

Effekt avgitt til seriemotstand:

$$P_1 = \frac{1,65 \cdot 100}{30,9 + 1,65} = \underline{\underline{5,07 \text{ W}}}$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} 94,93 + 5,07 = \underline{\underline{100 \text{ W}}}$$

Diskanten må dempes med 3 dB:

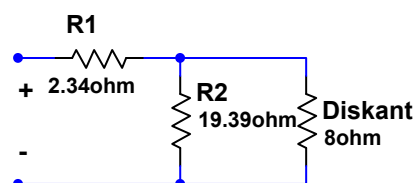
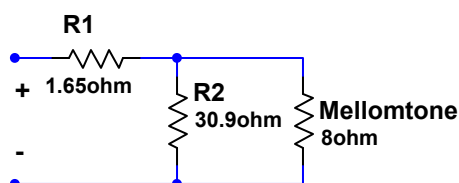
Verdi til parallellmotstand:

$$R_2 = \frac{8 \cdot 10^{-3/20}}{1 - 10^{-3/20}} = \underline{\underline{19,39 \Omega}}$$

Verdi til seriemotstand:

$$R_1 = 8 - \frac{19,39 \cdot 8}{19,39 + 8} = \underline{\underline{2,34 \Omega}}$$

Krets med verdier:



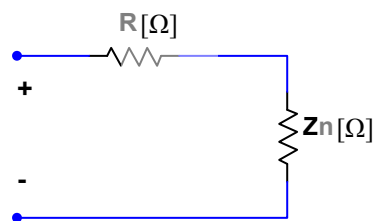


### 5.11.2 Seriemotstand:

En annen måte å dempe nivået til et element, er å bruke en motstand i serie med elementet. Denne kretsen demper på lik linje med L-pad, men den totale motstanden øker. Dette må taes hensyn til i delefilteret, da delefilteret beregnes med hensyn på summen av seriemotstanden og nominell impedans.

Kretsen kan også brukes der to elementer har ulik impedans, og ulik følsomhet. Da kan kretsen i visse tilfeller slå to fluer i en smekk ved å gjøre impedansen til de to elementene like, og samtidig dempe det elementet som har minst nominell impedans.

**Oppkobling:**



**Fremgangsmåte:**

$$A = 20 \log \frac{Z_N}{R + Z_N} \quad A = \text{demping i [-dB]}$$

1. Finn  $Z_N$  og hvor mye elementet må dempes i forhold til resten av systemet,  $A$ .
2. Regn så ut verdien til motstanden:

$$R = 10^{\left(\log Z_N - \frac{A}{20}\right)} - Z_N$$

3. Et eventuelt delefilter må beregnes på hensyn på total motstand:

$$R_{\text{TOTAL}} = R + Z_N$$

**Eksempel:**

En diskant som har for høy følsomhet og for liten impedans i forhold til bassen:

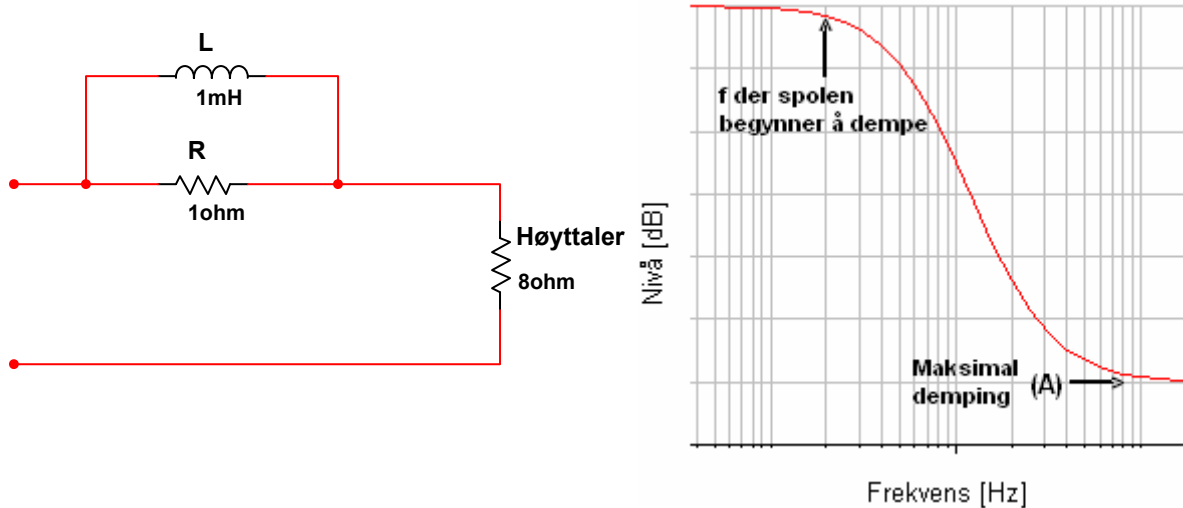
Diskant:	Vifa XT25TG30-04	$Z_N = 4 \Omega$	Følsomhet:	91,5 dB
Bass:	Scan-Speak 15W/8530K00	$Z_N = 8 \Omega$	Følsomhet:	85,5 dB

1. Diskanten må dempes med:  $A = 85,5 - 91,5 = -6 \text{ dB}$
2. Verdien på motstanden blir:  $R = 10^{\log 4 - \frac{-6}{20}} - 4 = \underline{\underline{4 \Omega}}$
3. Total motstand er nå lik  $Z_N$  til bass:  $R_{\text{TOTAL}} = 4 + 4 = \underline{\underline{8 \Omega}}$

### 5.11.3 Spole i parallell med motstand:

Ved å koble en spole og motstand i parallell dempes økende nivå ved økende frekvens. Verdien til spolen beregnes ved frekvensen der nivået begynner å stige. Verdien til motstanden beregnes etter hvor mye nivået ønskes dempet. Dette filteret kan f. eks. brukes til å gjøre frekvensresponsen mer lineær til basser som har litt økende nivå før delefrekvensen.

Oppkobling/virkemåte:



Formler:

Verdi til spolen:  $L = \frac{1}{2\pi f}$   $X_L = 2\pi f \cdot L$

Maksimal demping:  $A_{MAX} = 20 \log \frac{Z_N}{R + Z_N}$  [-dB]

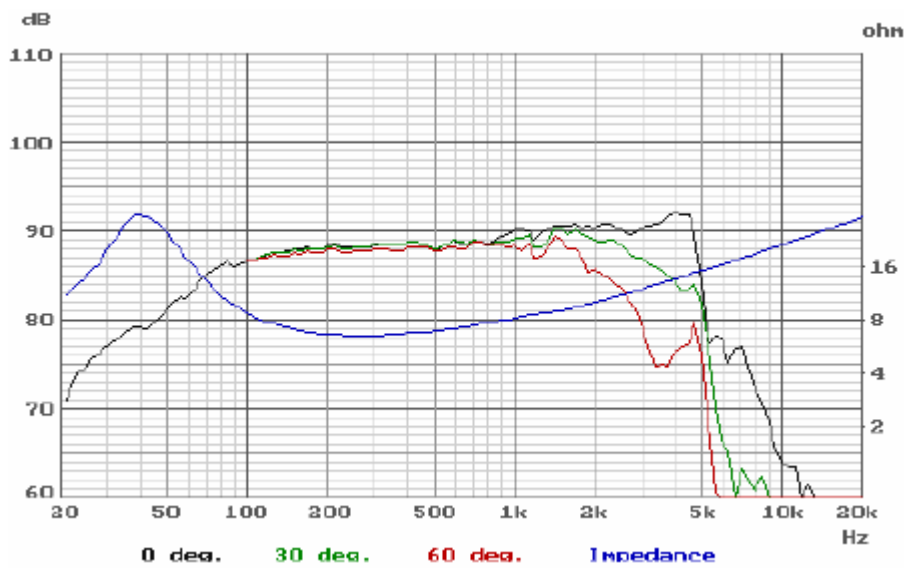
Damping ved en valgt frekvens blir bestemt av motstanden til parallellkoblingen av spolen og motstanden, i serie med høyttalerens impedans:

$$(R \parallel X_L) = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

$$A(f) = 20 \log \frac{Z_N}{(R \parallel X_L) + Z_N} \Rightarrow (R \parallel X_L) = 10^{\left(\log Z_N - \frac{A}{20}\right)} - Z_N$$

$$\Rightarrow R = \sqrt{\frac{X_L^2 \left[ 10^{\left(\log Z_N - \frac{A(f)}{20}\right)} - Z_N \right]^2}{X_L^2 - \left[ 10^{\left(\log Z_N - \frac{A(f)}{20}\right)} - Z_N \right]^2}}$$

**Eksempel:**



Peerless CSX 176 H

Velger at dempingen skal begynne ved ca. 900 Hz, og at kurven skal være dempet ca. 3 dB ved 5000 Hz. Da får elementet dempet den stigende kurven. Kretsen tillater ikke så mye demping uten å gå høyt i frekvens på grunn av at den bare består av en spole og motstand. Nominell impedans til elementet er 8 Ω.

Verdien til spolen blir da:

$$L = \frac{1}{2\pi \cdot 900} = \underline{\underline{0,177\text{mH}}}$$

Reaktansen til spolen ved 5000 Hz blir:  $X_L = 2\pi \cdot 5000 \cdot 0,177\text{mH} = 5,56\Omega$

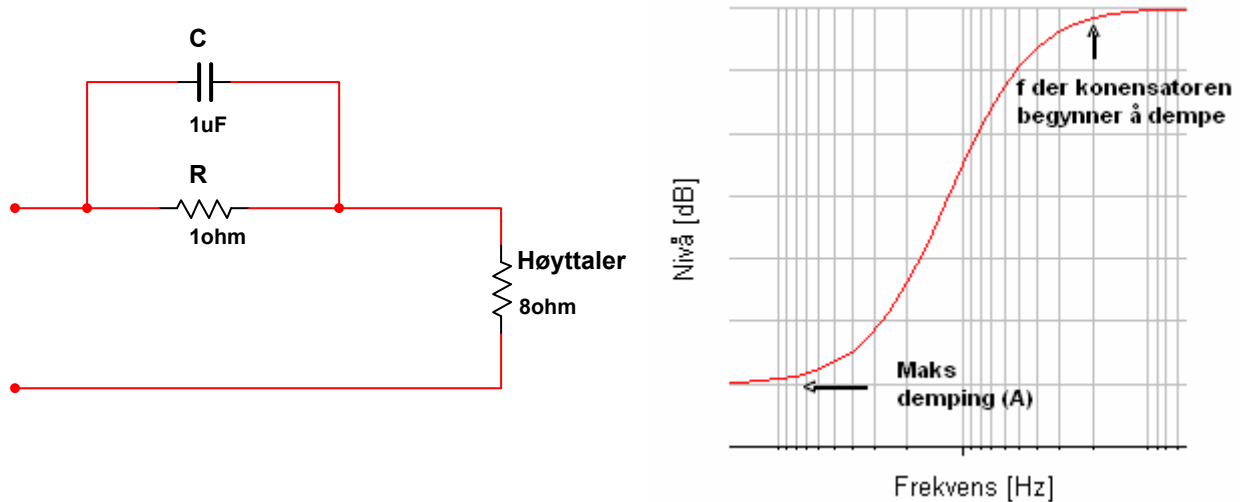
Med en demping A(f) på -3dB ved 5000 Hz og en spole på 0,177 mH blir verdien til motstanden:

$$R = \sqrt{\frac{5,56^2 \left[ 10^{\left( \log 8 - \frac{3}{20} \right)} - 8 \right]^2}{5,56^2 - \left[ 10^{\left( \log 8 - \frac{3}{20} \right)} - 8 \right]^2}} \approx \underline{\underline{4\Omega}}$$

### 5.11.4 Kondensator i parallell med motstand:

Ved å koble en kondensator og motstand i parallell dempes økende nivå ved fallende frekvens. Verdien til kondensatoren beregnes ved frekvensen der nivået begynner å stige. Verdien til motstanden beregnes etter hvor mye nivået ønskes dempet. Dette filteret kan f. eks. brukes sammen med 1. ordens høypassfilter for å dempe nivået litt ekstra rundt resonansfrekvensen til diskanten.

Oppkobling/virkemåte:



Formler:

Verdi til spolen:  $C = \frac{1}{2\pi f}$   $X_C = \frac{1}{2\pi f \bullet C}$

Maksimal demping:  $A_{MAX} = 20 \log \frac{Z_N}{R + Z_N}$  [-dB]

Demping ved en valgt frekvens blir bestemt av motstanden til parallellkoblingen av kondensatoren og motstanden, i serie med høyttalerens impedans:

$$(R \parallel X_C) = \frac{R \bullet X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

$$A(f) = 20 \log \frac{Z_N}{(R \parallel X_C) + Z_N} \Rightarrow (R \parallel X_C) = 10^{\left(\log Z_N - \frac{A}{20}\right)} - Z_N$$

$$\Rightarrow R = \sqrt{\frac{X_C^2 \left[ 10^{\left(\log Z_N - \frac{A}{20}\right)} - Z_N \right]^2}{X_C^2 - \left[ 10^{\left(\log Z_N - \frac{A}{20}\right)} - Z_N \right]^2}}$$

## 5.12 Hvordan velge delefilter:

Delefilteret beregnes ut fra frekvenskurven til elementet. Her velges defrekvensen og impedansen som filteret skal arbeide mot. Normal impedans til høyttalere ligger mellom  $4 \Omega$  og  $8 \Omega$ . Hvis flere elementer kobles i serie eller i parallell, må dette bli tatt i betraktning når delefilteret skal beregnes.

Seriekobling av høyttalere:  $Z_{\text{total}} = Z_{N1} + Z_{N2}$

Parallellkobling av to høyttalere:  $Z_{\text{total}} = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}$

Seriekobling av spoler:  $L_{\text{total}} = L_1 + L_2$

Parallellkobling av spoler:  $L_{\text{total}} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$

Seriekobling av kondensatorer:  $C_{\text{total}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$

Parallellkobling av kondensatorer:  $C_{\text{total}} = C_1 + C_2$

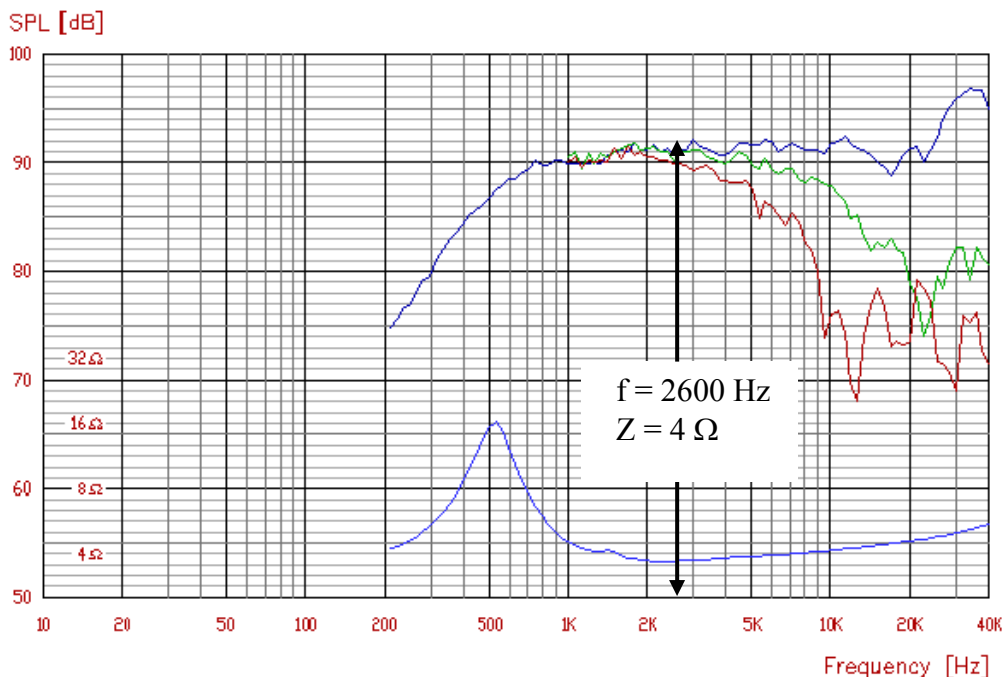
To høyttalere på  $8 \Omega$  i serie får total impedans på  $16 \Omega$ . To i parallell blir  $4 \Omega$ .

### Eksempel:

Frekvenskurven under viser at elementet klarer å gjengi lyder ned til ca. 1500 Hz.

Resonansfrekvensen ligger rundt 500 Hz. Defrekvensen bør da ligge i det lineære området et stykke over resonansfrekvensen for å dempe nivået godt ved resonans.

Her velges den til 2600 Hz ettersom impedansen og frekvenskurven er jevn i dette området:



Vifa XT25TG30

## ***Kapittel 6:***

### **Sub prosjekt**



Peerless 315 SWR

## 6.1 Litt om idéen:

Hovedidéen i dette prosjektet er å lage en subwoofer, en stor basshøytaler. Det skal være et 1-veis system med ett element og en single-wiring terminal. Volumet blir stort, men det skal ikke være altfor stort.

Kassen skal være et bassreflekssystem, med ett bassrør. Kabinettet må være bredt nok og passe høyt til det store elementet, men må også ha nok dybde til bassrørets lengde. Det legges vekt på en dyp og kraftig bassgjengivelse, der en lineær kurve kan bli ofret for høyere effekt. Basselementet trenger ikke å jobbe i et idealvolum, men dette skal være utgangspunktet. Det kan være en del avvik fra idealvolumet for å få en ønsket effekt.

Delefrekvensen må ligges lavt, mellom 100 og 200 Hz, og systemets impedans skal ligge rundt  $8\Omega$ . Impedans korleksjon er også med for at filteret skal fungere optimalt. Følsomheten på elementet bør være høyt, slik at det blir lettdrevet.

Elementet skal bestå av en 12" bass med stor magnet og lang slaglende. Bassrøret skal være av en passende størrelse for kabinettvolumet og lufttrykket som skal gå gjennom røret. Delefilteret skal bare inneholde en lavpass del, men av en høy orden.

Innvendig skal kabinettet avstives, og et passende dempemateriale må brukes. Utvendig skal den bli stor, og kabinettet skal bli solid med tykke plater.

### 6.1.1 Hensikt:

Hensikten med denne høytaleren er at den skal være en hjelpende hånd for små og mellomstore høytalere som ikke klarer å gjengi dypbass. Den skal også kunne brukes til hjemmekino.

### 6.1.2 Mål:

Målet med høytaleren er å kunne gjengi mesteparten av det lave frekvensområdet uten store problemer. Den skal kunne gjengi lyden så kraftig og lineært som mulig, og ikke bli altfor tungdreven. Men den skal også kunne riste fra seg når det trengs, og den skal klare å flytte mye luft, og kunne brukes i THX-systemer.

Bass	System	Kasstype	Delefrekvens	Filter orden
12"	1-veis singlewiring	Bassrefleks	150 Hz	4. orden, 24 dB/okt

## **6.2 Hva er en subwoofer:**

En subwoofer er en dypbass høyttaler. Egentlig er det en helt vanlig høyttaler, med et vanlig høyttalerelement. Men hovedforskjellen er at den bare spiller basslyder, dype frekvenser. Dette er som oftest frekvenser under 200 Hz, der øret har vanskelig for å retningsbestemme lydene. Noen klarer også å gjengi lyder under 20 Hz, grensen for hva mennesker kan høre.

Elementene er også kraftigere enn vanlige bassmellomtoner til hi-fi bruk. Disse er også av en størrelsesorden vanligvis fra 8" opp til 18". Noen av elementene har dobbel talespole, med tilhørende dobbelt sett med tilkoblinger. Dette er for å ha muligheten til å bare bruke én subwoofer til både høyre og venstre kanal. Noen har også innebygget høypassfilter slik at hovedhøyttalerne kan kobles gjennom subwooferen, og avlastes i bassområdet de ikke klarer å gjengi for å spares for lange membranvandringer ved høyt volum.

Kabinettene til subwoofere er som regel ganske store, fordi det er nødvendig med et stort volum for å gjengi dype frekvenser.

Bassrørene må også være store og lange, på grunn av at bølgelengdene i de dypeste oktavene blir etter hvert fryktelig lange. Elementene må da også klare å bevege seg lenger for å gjengi disse frekvensene, og da må de ha en lang slaglende.

Det finnes små subwoofere også, med spesial elementer og mindre kasser.

Det er to hovedtyper av subwoofere, passive og aktive. En passiv sub fungerer og kobles til lydforsterkeren på samme måte som hovedhøyttalerne. Den er altså avhengig av en ekstern forsterker for å fungere.

Den andre typen er aktive subwoofere. De har innebygd forsterker i kabinettet, og har et aktivt delefilter og flere tilkoblinger. Disse kobles til strømmettet som en vanlig forsterker, mens høyttaleren får lydsignalet fra forsterkeren som driver de andre vanlige høyttalerne i anlegget.

## **6.3 Hvorfor er det nødvendig med en subwoofer:**

Det er ikke alltid nødvendig med en subwoofer til å ta seg av de vanskeligste basstonene. Det er egentlig litt smak og behag, og avhenger ellers av hvor kraftige hovedhøyttalerne er.

Hvis hovedhøyttalerne ikke klarer å gjengi dype toner, kan det være greit med en subwoofer slik at hele frekvens området høres, eller man trenger litt mer kraft til i bassområdet f. eks til filmer og musikkstykker som krever mer av høyttalerne. Vanlig musikk har vanligvis ikke så mye energi under 45 Hz, men rytmen bestemmes ofte av basstonene og da kan en subwoofer hjelpe til selv på litt høyere basstoner rundt 100 Hz. De fleste lyder består av undertoner og overtoner. En bestemt lyd er bygget opp av frekvenser under og over grunntonen, og det er viktig at både under og overtonene blir gjengitt like høyt for å skape et riktig lydbilde. Derfor er noen subwoofere beregnet for å kunne gjengi frekvenser under høre grensen som et menneske klarer å høre, altså under 20 Hz ned til f. eks 15 Hz.. Dette kommer også godt med i de andre bassoktavene, for å gi fyldigere bass med alle lydene som er med i basstonen slik at det blir riktig og høres såpass kraftig og fyldig ut som det skal høres.

Hvis bare overtonene gjengis av f.eks. en liten høyttaler, er det nødvendig med en dypbass høyttaler som kan bidra med undertonene. Da kan man også få inntrykk av at basslyden er dypere enn den var uten subwooferen.



## 6.4 Datablad:

### Peerless 315 SWR 831857

#### Thiele Small parameters:

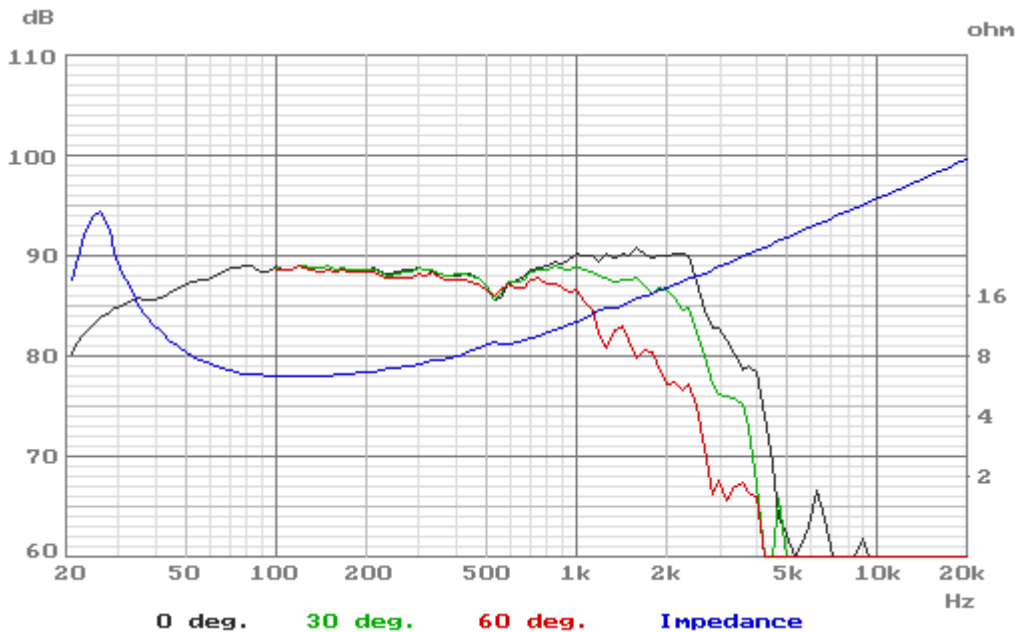
Nominal impedance	Zn	(ohm)
Minimum impedance/at freq.	Zmin	(ohm/Hz)
Maximum impedance	Zo	(ohm)
DC resistance	Re	(ohm)
Voice coil inductance	Le	(mH)
Capacitor in series with 8 ohm (for impedance compensation)	Cc	(µF)
Resonance Frequency	fs	(Hz)
Mechanical Q factor	Qms	
Electrical Q factor	Qes	
Total Q factor	Qts	
F (Ratio fs/Qts)	F	(Hz)
Mechanical resistance	Rms	(Kg/s)
Moving mass	Mms	(g)
Suspension compliance	Cms	(mm/N)
Effective cone diameter	D	(cm)
Effective piston area	Sd	(cm <sup>2</sup> )
Equivalent volume	VAS	(ltrs)
Force factor	Bl	(N/A)
Reference voltage sensitivity Re 2.83V 1m at 124 Hz (Measured)		(dB)

#### Free air Common Baffled

	Free air	Common	Baffled
		8	
		6.3/124	
		46.9	
		5.5	
		2.8	
		24	
	24.0		22.9
	3.72		3.90
	0.49		0.52
	0.44		0.46
			50
		3.25	
	80.2		88.2
		0.55	
		25.7	
		520.0	
		210.0	
		11.6	
			89.3

#### Power handling:

Long term Max System Power (IEC)	(W)	220
Max linear SPL (rms) / by power	(dB/W)	110/170



$X_{MAX} = 18 \text{ mm}$

Diameter = 12"

Magnetvekt = 1,3 kg

## 6.5 Kasseberegninger:

Det skal beregnes et bassrefleksammer, og da må følgende verdier være kjent:

$$Q_{ts} = 0,44$$

$$f_s = 24 \text{ Hz}$$

$$V_{AS} = 210 \text{ liter}$$

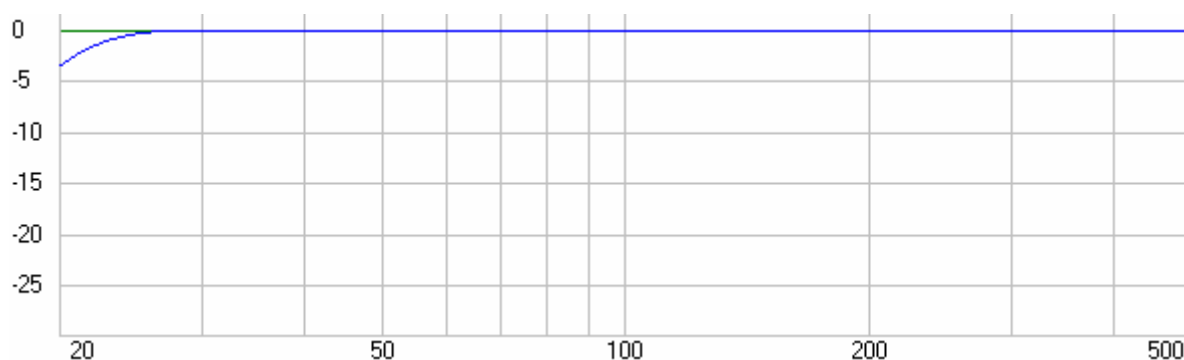
Volumet til kabinettet blir:

$$V_B = 20 \cdot 210 \cdot 0,44^{3,3} = \underline{\underline{280 \text{ liter}}}$$

Normal avstemningsfrekvens til bassporten blir:

$$F_{\text{PORT},-3\text{dB}} = 24 \cdot \left( \frac{210}{280} \right)^{0,31} = \underline{\underline{22 \text{ Hz}}}$$

Frekvenskurve til kabinett på 280 liter, avstemt til 22 Hz:



Subwooferen får her en lineær kurve som strekker seg langt ned i det dype frekvensområdet.

Kassen blir derimot fryktelig stor. Da er det mer praktisk å lage en mindre kasse, og få -3dB punkt på rundt 30 Hz.

For å regne ut det nye volumet som er nødvendig for et høyere -3 dB punkt, må formelen for bassport frekvensen omformes litt:

$$V_B = \frac{V_{AS}}{\sqrt[0,31]{\frac{F_{\text{port}}}{f_s}}} = \frac{210}{\sqrt[0,31]{\frac{30}{24}}} = \underline{\underline{100 \text{ liter}}}$$

Subwooferen kan allikevel avstemmes til 24 Hz i et volum på 100 liter, og da få en flatere fallkurve etter -3dB frekvensen, slik at den spiller enda litt dypere med fortsatt høyt nivå.

Tidsforsinkelsen blir ganske flat, og skulle ikke by på noen store problemer.

### 6.5.1 Bassportberegninger:

Nå skal bassporten beregnes. Det er lengden på røret blir eneste ukjente, etter at tuningsfrekvensen for bassporten er valgt til og det tilhørende kabinettvolumet er beregnet.

Det er et nokså stort kabinettvolum, men det blir bare brukt ett bassrør. Hvis det brukes flere rør, blir lengden for lang til å få plass inne i kassen. Med ett rør kan diameteren velges større, for å gi god plass til mye luft som blir skubbet gjennom. Diameteren til porten velges til 10 cm, som er en bra størrelse for kabinettvolumet. Bassportens ytre åpning avrundes kronisk utover for å skape en liten horneffekt, og for å gi mindre luftkompresjon og blåselyder i utgangen.

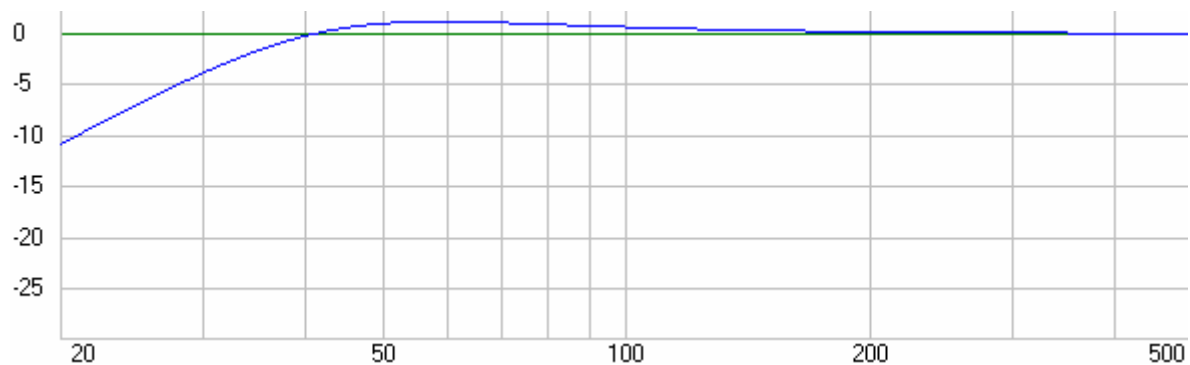
Verdier som må være kjent for at bassporten skal kunne beregnes:

$$\begin{array}{ll} V_{AS} & = 210 \text{ liter} & f_S & = 24 \text{ Hz} \\ V_B & = 100 \text{ liter} & D_v & = 10 \text{ cm} \\ N & = 1 & k & = 0,732 \\ & & F_{\text{port}} & = 24 \text{ Hz} \end{array}$$

Lengden til bassrøret blir:

$$L_v = \frac{23562,5 \cdot 10^2 \cdot 1}{24^2 \cdot 100} - (0,732 \cdot 10) = \underline{\underline{33,5 \text{ cm}}}$$

Resultatene viser at bassrørets lengde blir 33,5 cm med en diameter på 10 cm. I et kabinett på 100 liter, gir dette en resonansfrekvens til bassporten på 24Hz. Ved 24 Hz har nivået sunket til -7,5 dB, og -3dB inntreffer ved 31,5 Hz:



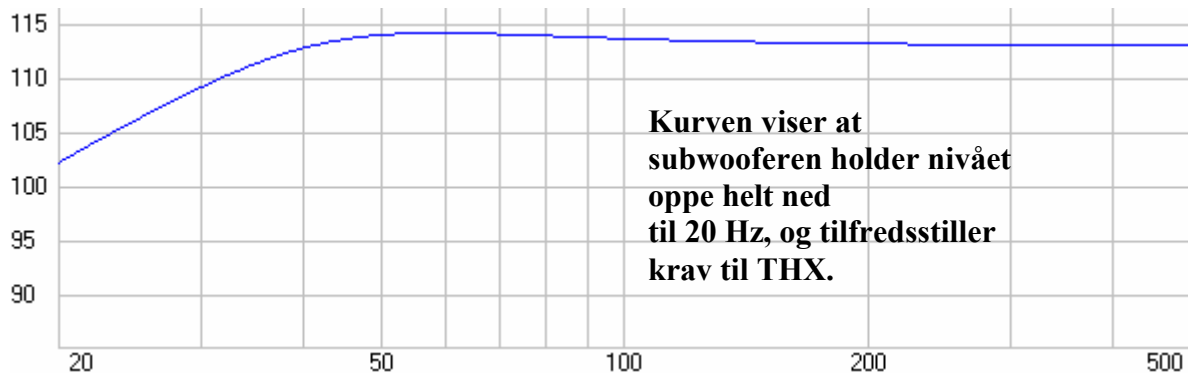
Det maksimale lydtrykket subwooferen klarer å gi ved 220 W tilført blir:

$$SPL_{MAX} = 90\text{dB} + \left( \frac{\log 220}{\log 2} \right) \cdot 3\text{dB} + 1,6\text{dB} = \underline{\underline{114,94 \text{ dB}}}$$

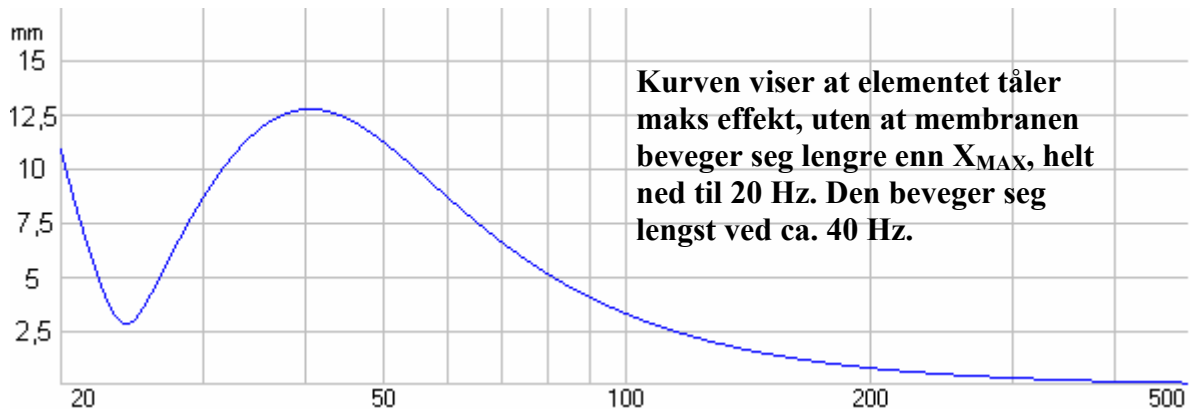
$$SPL_{24\text{Hz}} = 90\text{dB} + \left( \frac{\log 220}{\log 2} \right) \cdot 3\text{dB} - 7,5\text{dB} = \underline{\underline{105,8 \text{ dB}}}$$

### 6.5.2 Diverse kurver:

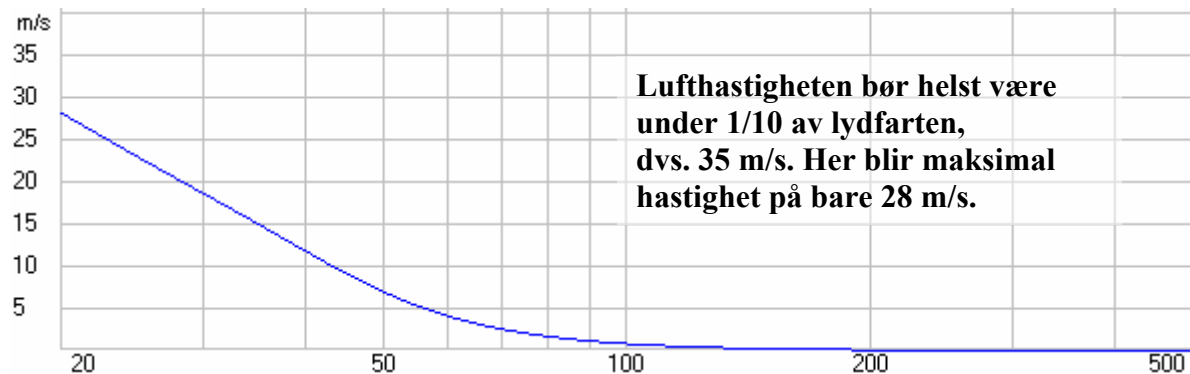
Kurve for max SPL i dB:



Kurve for membranvandring ved 220 W:



Kurve for lufthastighet i bassporten ved 220 W:



### 6.5.3 Oppsummeringstabell:

Bassdiameter	Volum	- 3 dB	Portdiameter	Portlengde	Max SPL	SPL <sub>24 Hz</sub>
12"	100 liter	31,5 Hz	10 cm	33,50 cm	114,94 dB	105,8 dB

## 6.6 Delefilter:

Siden dette er et bassreflekssystem, er elementet montert på utsiden. Da må filteret være godt nok til å filtrere bort de høyere frekvensene effektivt. Derfor blir det her valgt et 4. ordens filter som faller 24 dB/okt. Det vil si at den har falt 48 dB ved 600 Hz med en delefrekvens på 150 Hz. Dette er nødvendig for at ikke det skal kunne oppfattes andre lyder enn bass, og for å ikke kunne retningsbestemme lyden. Det blir også lettere for elementet å spille, da den ikke trenger å bry seg om andre ting enn det den skal. Den får også stor motstand etter delefrekvensen, som kommer godt med i parallellkoblinger med eventuelle hovedhøytalere.

Den trenger også en RC-shunt fordi impedansen øker ganske kraftig pga talespolen.

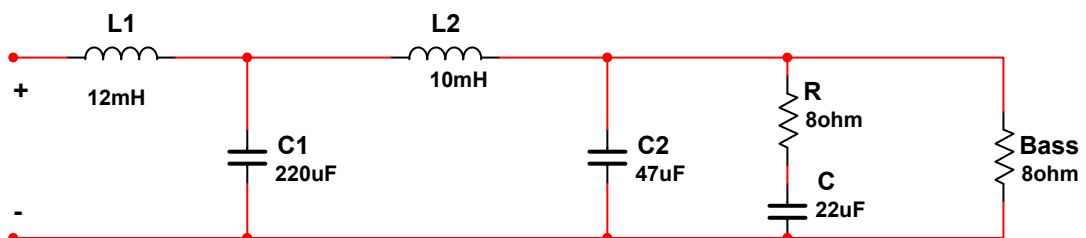
### 6.6.1 Beregninger:

Motstanden som filteret beregnes blir impedansen som RC-shunt gir i parallell med elementet. Den blir ca.  $7 \Omega$ , men for å ta med indre motstand til spoler og ledning kan  $Z_N = 8 \Omega$  brukes uten for store avvik.

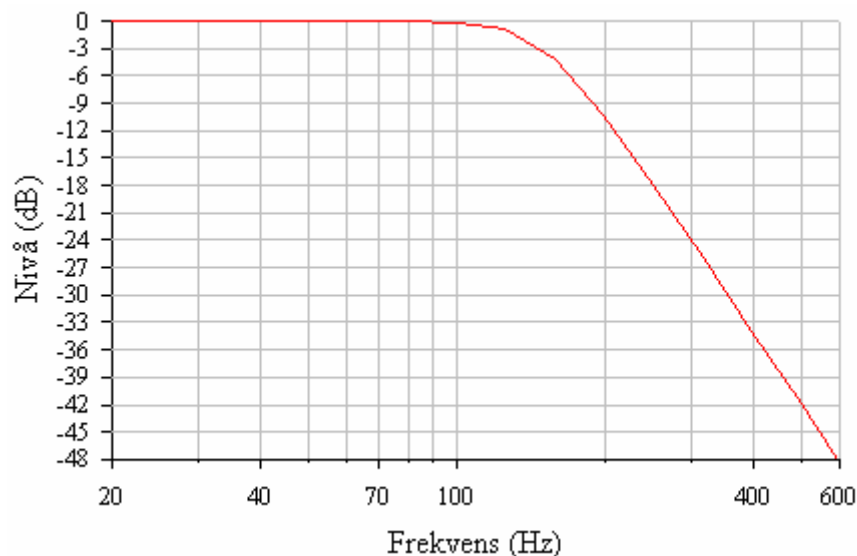
$$L_1 = \frac{0,2437 \cdot 8}{150} = \underline{\underline{12,9 \text{ mH}}} \quad L_2 = \frac{0,1723 \cdot 8}{150} = \underline{\underline{9,2 \text{ mH}}} \quad R = \underline{\underline{8 \Omega}}$$

$$C_1 = \frac{0,2509}{8 \cdot 150} = \underline{\underline{209,1 \mu\text{F}}} \quad C_2 = \frac{0,0609}{8 \cdot 150} = \underline{\underline{50,75 \mu\text{F}}} \quad C = \frac{139230 \cdot (2 \cdot 8)}{1500 \cdot 8^2} = \underline{\underline{23,2 \mu\text{F}}}$$

Fullstendig oppkobling av kretsen, med standardverdier:



Kurve til lavpassfilteret:



## 6.7 Konstruksjon:

Høytteren bygges i 22 mm tykkelse, med MDF plater. Innvendig avstives kabinettet med mindre MDF flater. Veggene kles vekselvis med profilert skum og Akustilux dempeull som limes fast til sidevegger, topp- og bunnveggene og bakveggen.

### 6.7.1 Utrekning av platemål:

Det er det innvendige volumet som blir utgangspunktet for hvor store mål sidene får. Her legges også til volumet for bassporten, som her er 2,63 liter. For å ha litt å gå på til avstivere velges et volum på ca. **110 liter.**

Høyden velges til 60 cm utvendig for å gjøre den litt høy slik at små høyttalere kan plasseres på toppen. Da blir den innvendige høyden lik  $60 - 4,4 = 55,6$  cm.

Dybden må være dyp nok til å få plass til hele bassrørets lengde, og litt ekstra rom bak. Derfor velges dybden til 45,6 cm innvendig for å få god luft gjennomgang til røret.

Da gjenstår det å regne ut den innvendige bredden på kabinettet, i dm:

$$\text{Bredde} = \frac{110,5}{4,56 \cdot 5,56} = 4,36\text{dm} = 43,6\text{cm}$$

For å få finne de utvendige målene, legges det til 4,4 cm på de innvendige målene, som er platetykkelsen på hver side:

	<b>Innvendige mål:</b>	<b>Utvendige mål:</b>
Bredde:	43,6 cm	48,0 cm
Dybde:	45,6 cm	50,0 cm
Høyde:	55,6 cm	60,0 cm

	<b>Platemål:</b>	
Front/bak:	48,0 cm * 60,0 cm	(Utvendig bredde * Utvendig høyde)
Sider:	45,6 cm * 60,0 cm	(Innvendig dybde * Utvendig høyde)
Topp/bunn:	43,6 cm * 45,6 cm	(Innvendig bredde * Innvendig dybde)

Frontplaten og bakplaten får målene til den utvendige bredden og høyden, slik at den skal dekke hele området uten at platekantene skal vises. Sideplatene får målene til innvendig dybde og utvendig høyde. Dette er for å gi en bra finish hvis kassen bare skal males. For en enkel løsning, kan den kles med et mørkt høyttalerteppe.

### 6.7.2 Forslag til avstivere:

Hvor mye kabinettet avstives, er opp til enhver å velge. I et såpass stort kabinett som dette, er det nødvendig at det er godt avstivet selv med en platetykkelse på 22 mm. Det bør avstives rundt hele kassen, spesielt rundt basselementet. Bruk gjerne dobbel frontplate. Det er satt av ca. 7,5 liter til avstivere.

1. Dobbelt plate bak basselement, festet midt i kassen på bakplate og mellom sideplatene:  
**2 stk.: 30 cm \* 43,6 cm** (Dybde \* innvendig bredde)  
Utskjært sirkel med diameter på 20 cm for å få luftflyt i kassen ned til bassporten.
2. Stående plater midt over og under avstiver 1 på sideveggene:  
**4 stk.: 25,6 cm \* 10 cm** (Høyde \* Bredde)
3. Stående plater over og under avstiver 1 på bakplate, ved siden av terminalen:  
**2 stk.: 26,5 cm \* 5 cm** (Høyde \* Dybde)

## 6.8 Byggebeskrivelse:

- Subwoofer elementet plasseres 10 cm nedenfor toppen av kassen.
- Bassporten festes på frontplaten, 10 cm opp fra bunnen av kassen. Den limes fast med mye trelim rundt kantene, hvis det er et pappør.
- Terminalen blir plassert på baksiden. Den kan plasseres ned mot bunnplaten, slik at defilteret kan festes på bunnplaten.
- Skjær ut hull i frontplaten og bakplaten til element, bassport og terminal.
- Bunnplaten festes først til bakplaten. Så festes sideplatene og topplaten. Deretter festes avstiverne. Bruk trelim mellom platene, og skruer til å skru sammen platene.
- Profilert skum kan festet i området rundt elementet, og på frontplaten. Lim på 2 til 3 lag med dempeull på veggene der det ikke er profilert skum.
- Etter at alt er lagt inni kassen, festes frontplaten. Elementer, bassport og terminal festes til slutt. Husk å koble til ledninger, før alt skrues fast.

## 6.9 Komponentliste til hele systemet for én høyttaler:

Komponent	Type	Antall	Verdi	DC motstand	Spenning DC/AC
Spole	Kjerne	1	12 mH	0,51 $\Omega$	
Spole	Kjerne	1	10 mH	0,45 $\Omega$	
Kondensator	Elektrolytt	1	220 $\mu$ F		-/63
Kondensator	Glattfolie	1	47 $\mu$ F		100/35
Kondensator	Polypropylen	1	22 $\mu$ F		400/250
Motstand	Metalloksyd	1	8,2 $\Omega$	8,2 $\Omega$	
Høyttaler	Sub bass	1	8 $\Omega$	5,5 $\Omega$	
Terminal	single-wiring	1			
Dempeull	Akustilux	4-5	1 m * 0,45 m		
Profilert skum		1-2	50*100*3 cm		
Bassør	Papp	1	10 * 33,50 cm		





## ***Kapittel 7:***

### **Hi-fi prosjekt**



## 7.1 Litt om idéen:

Hovedidéen i dette prosjektet er å lage en liten og enkel høyttaler. Det skal være et 2-veis system med to elementer, en bass og en diskant, med bi-wiring terminal. Volumet skal ikke bli for stort, men en viss størrelse er ønsket.

Kassen skal være et bassreflekssystem, med ett bassrør. Kabinettet skal være smalt og passe høyt, men må også ha nok dybde til bassrørets lengde. Det legges vekt på en god og lineær bassgjengivelse, der den dypeste bassen ikke er det viktigste men skal være til stede i en viss grad. Basselementet trenger ikke å jobbe i et idealvolum, men dette skal være utgangspunktet.

Delefrekvensen må kunne ligge mellom 2000 Hz og 3000 Hz, og systemets impedans skal ligge rundt 8  $\Omega$ . Følsomheten på elementene bør passe sammen og de bør være passe lettdrevne.

Elementene skal bestå av en 5" bassmellomtone og en 1" diskant. Bassrøret skal være av en passende størrelse for kabinettvolumet. Delefilteret skal inneholde en lavpass og en høypassdel, med impedans korreksjon for basselement og eventuelt et dempeledd for diskantelementet hvis dette spiller for høyt.

Innvendig skal kabinettet avstives, og et passende dempemateriale må brukes. Utvendig skal den ikke se for stor ut, men kabinettet skal bli solid med tykke plater.

### 7.1.1 Hensikt:

Hensikten med denne høyttaleren er at den skal være lett å bygge konstruksjonsmessig. Den skal også være relativt enkel i delefilteret. Bruksområdet skal være stativhøyttalere i et hi-fi oppsett, og de skal også kunne fungere som hovedhøyttalere i et surround oppsett med litt hjelp fra en subwoofer.

### 7.1.2 Mål:

Målet med høyttaleren er å kunne gjengi mesteparten av frekvensområdet uten store problemer, med unntak av den dypeste bassen. Den skal kunne gjengi lyden så lineært som mulig, og ikke bli altfor tungdreven. Overgangen i delefilteret skal kunne gå greit, men målet ikke er å lage en dyr og komplisert high-end høyttaler. Det skal bli en liten og vellydende monitor som er lett å bruke og å bygge. Elementene skal jobbe bra sammen som et system.

Bass	Diskant	System	Kassetype	Delefrekvens	Filter orden	Følsomhet
5" Peerless	1" Peerless	2-veis Biwiring	Bassrefleks	2600 Hz	3. ordens impedans korrigert	87,5 dB 2,83V/1m

## **7.2 Høytalerelementene:**

### **7.2.1 Bass:**

Bassmellomtonen skal ikke være for stor, og den må kunne klare å gjengi frekvenser opp mot 3000 Hz. Størrelsen velges her til 5" av merket Peerless. Modellen er CSX 145 H. Den har en stor magnet og forholdsvis lang slaglende på 9 mm<sub>p-p</sub>, slik at den kan gi litt kraft. Dette kommer godt med siden det er en liten høyttaler. Frekvenskurven viser at en passende delefrekvens kan være 2600 Hz, og følsomheten ligger på 87,5 dB. Nominell impedans er 8 Ω, og den tåler nok effekt til å spille rimelig høyt, 110 W.

### **7.2.2 Diskant:**

Diskanten som velges må passe sammen med bassen, men trenger ikke være av samme merke. Her velges allikevel en 1" diskant fra Peerless. Modellen er DT 105. Denne har også en stor magnet, og kan gi kraft fra seg. Frekvenskurven viser at den strekker seg ganske langt ned i frekvens, og en delefrekvens ved 2600 Hz skulle passe fint på dette elementet også. Impedansen er også her 8 Ω. Den tåler også nok effekt til å spille høyt nok sammen med bassen, 130 W. Så langt passer bassen og diskanten fint, men diskanten har en noe høyere følsomhet på rundt 90,5 dB. Dette må dempes i filteret, og da skulle alt være greit.

## 7.3 Utdrag fra datablad:

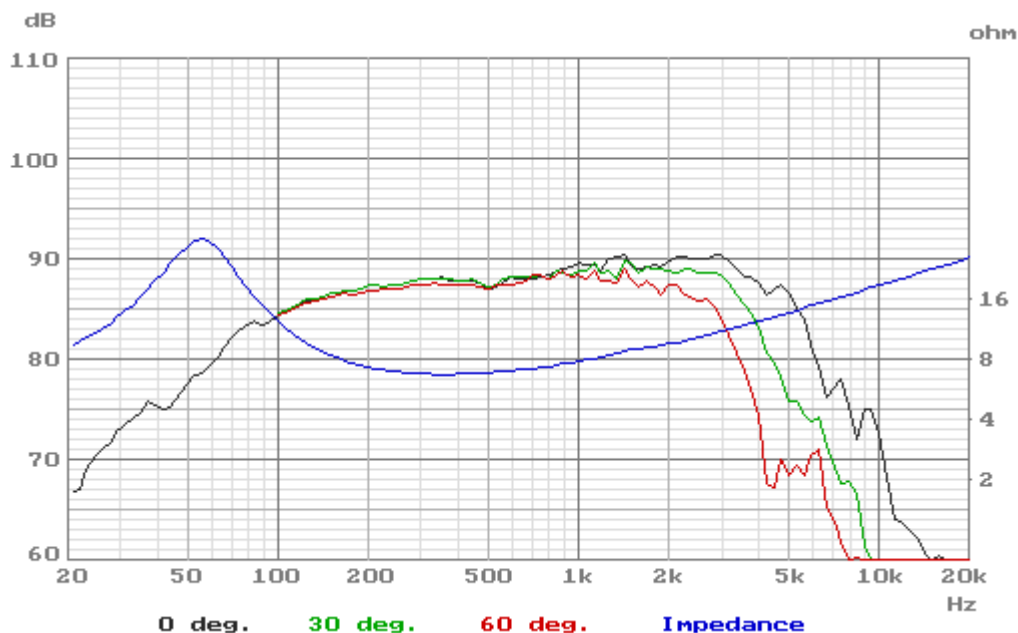
### 7.3.1 Peerless CSX 145 H:

#### CSX 145 H

##### Thiele Small parameters:

Nominal impedance	Zn	(ohm)
Minimum impedance/at freq.	Zmin	(ohm/Hz)
Maximum impedance	Zo	(ohm)
DC resistance	Re	(ohm)
Voice coil inductance	Le	(mH)
Capacitor in series with 8 ohm (for impedance compensation)	Cc	( $\mu$ F)
Resonance Frequency	fs	(Hz)
Mechanical Q factor	Qms	
Electrical Q factor	Qes	
Total Q factor	Qts	
F (Ratio fs/Qts)	F	(Hz)
Mechanical resistance	Rms	(Kg/s)
Moving mass	Mms	(g)
Suspension compliance	Cms	(mm/N)
Effective cone diameter	D	(cm)
Effective piston area	Sd	(cm <sup>2</sup> )
Equivalent volume	VAS	(ltrs)
Force factor	Bl	(N/A)
Reference voltage sensitivity Re 2.83V 1m at 345 Hz (Measured)		(dB)

	Free air	Common	Baffled
		8	
		6.6/345	
		31.9	
		6.1	
		0.9	
		7	
	48.0		47.1
	1.78		1.82
	0.42		0.43
	0.34		0.35
			136
	10.0	1.70	10.4
		1.09	
		10.8	
		91	
		12.5	
		6.6	
			87.5



### 7.3.2 Peerless DT 105:

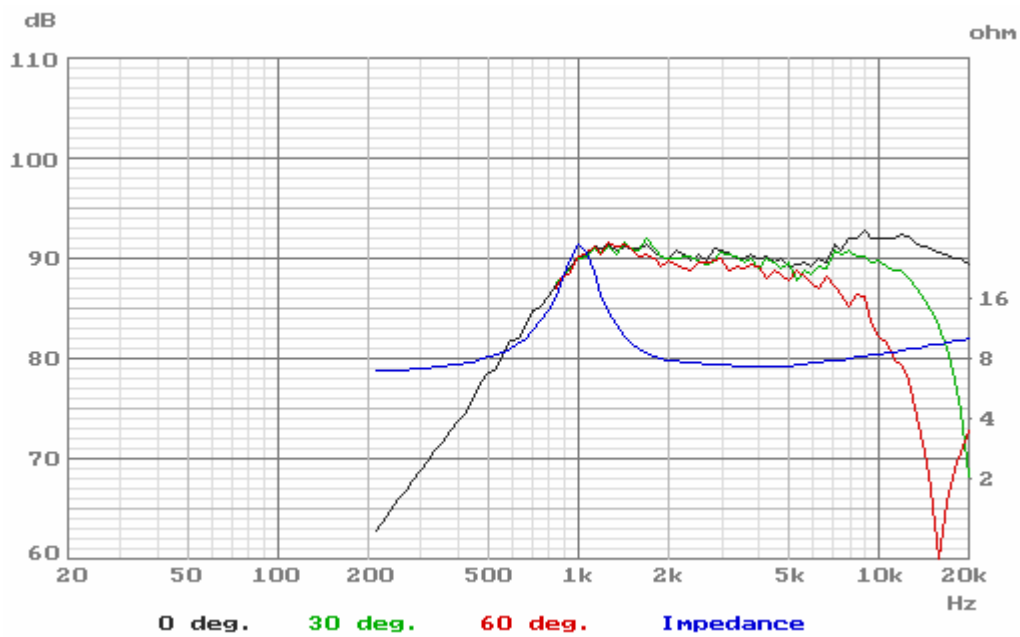
#### DT 105 H

##### Thiele Small parameters:

Nominal impedance  
 Minimum impedance/at freq.  
 Maximum impedance  
 DC resistance  
 Voice coil inductance  
 Resonance Frequency  
 Mechanical Q factor  
 Electrical Q factor  
 Total Q factor  
 Mechanical resistance  
 Moving mass  
 Suspension compliance  
 Effective cone diameter  
 Effective piston area  
 Force factor  
 Reference voltage sensitivity  
 Re 2.83V 1m at 4100 Hz (Measured)

Zn (ohm)  
 Zmin (ohm/Hz)  
 Zo (ohm)  
 Re (ohm)  
 Le (mH)  
 fs (Hz)  
 Qms  
 Qes  
 Qts  
 Rms (Kg/s)  
 Mms (g)  
 Cms (mm/N)  
 D (cm)  
 Sd (cm<sup>2</sup>)  
 Bl (N/A)  
 (dB)

8
7.2/4100
31.0
6.8
0.1
1010
4.79
1.35
1.05
0.40
0.30
0.08
2.8
6.2
3.1
90.5



## 7.4 Kasseberegninger:

Basselementet som ble valgt passer godt i en bassreflekskasse mye på grunn av den forholdsvis lave  $Q_{ts}$ -verdien den har. Ettersom den har en lav resonansfrekvens kan det også være lurt å velge bassrefleks for å få så mye dypbass ut av den som mulig. Når volumet til kabinettet skal beregnes, er det verdiene til bassen som brukes.

Verdier fra databladet som må være kjent før kabinettvolum beregnes:

$$Q_{ts} = 0,34$$

$$f_s = 48 \text{ Hz}$$

$$V_{AS} = 12,5 \text{ liter}$$

$$\Rightarrow V_B = 15 \cdot 12,5 \cdot 0,34^{2,87} = 8,48 \text{ liter}$$

I prosjektet velges et volum på 10 liter for å få litt mer effekt i området før resonansfrekvensen.

Boksresonans til kassen kommer da til å ligge på:

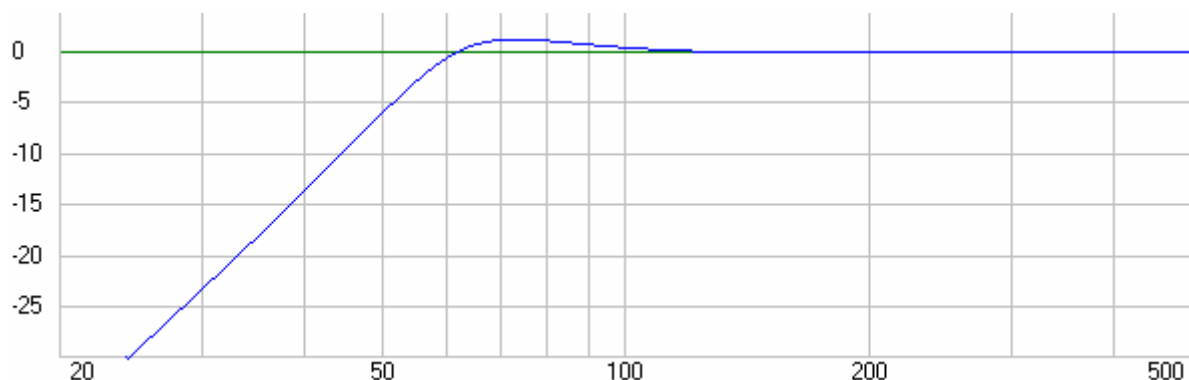
$$F_B = 48 \cdot \sqrt{\left(\frac{12,5}{10}\right)} = 53,67 \text{ Hz}$$

Tuningsfrekvens til bassporten for normal avstemming blir:

$$F_{\text{PORT}, -3\text{dB}} = 48 \cdot \left(\frac{12,5}{10}\right)^{0,32} = 51,55 \text{ Hz}$$

Portfrekvensen i dette prosjektet velges til 60 Hz for å få en litt kraftigere bassavstemming.

Frekvenskurve med kabinett på 10 liter avstemt til 60 Hz:



Frekvenskurven får en liten topp mellom 70 og 80 Hz.

Nå kommer - 3dB punktet til å ligge ca 55 Hz, som er dypt nok for en denne høyttaleren.

Tuningen av kassen gjøres med bassporten.

## 7.5 Bassportberegninger:

Nå skal bassporten beregnes. Det er lengden på røret blir eneste ukjente, etter at tuningsfrekvensen for bassporten er funnet.

Det er et lite kabinettvolum, så det blir bare brukt ett bassrør. Hvis det brukes flere rør, blir lengden for lang til å få plass inne i kassen. Diameteren til porten velges til 5,5 cm, som er en stor nok diameter for en liten kasse. Siden det bare er brukt ett rør, er det ikke et problem å velge en så pass stor diameter. Bassportens ytre åpning avrundes kronisk utover for å skape en liten horneffekt, og for å gi mindre luftkompresjon og blåselyder i utgangen.

Verdier som må være kjent for at bassporten skal kunne beregnes:

$V_{AS}$	= 12,5 liter
$f_S$	= 48 Hz
$V_B$	= 10 liter
$D_v$	= 5,5 cm
$N$	= 1
$k$	= 0,732

Portfrekvensen i prosjektet velges altså til 60 Hz for å få litt mer effekt i bassen, og for å unngå en tidlig avrulling.

Lengden til bassrøret blir:

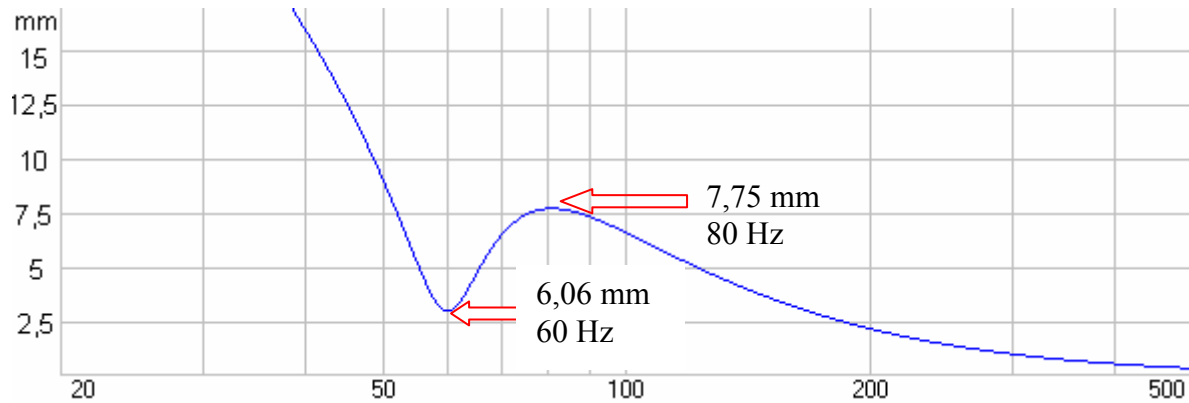
$$L_V = \frac{23562,5 \cdot D_v^2 \cdot N}{F_{\text{port}}^2 \cdot V_B} - (k \cdot D_v)$$
$$L_V = \frac{23562,5 \cdot 5,5^2 \cdot 1}{60^2 \cdot 10} - (0,732 \cdot 5,5) = \underline{\underline{15,7 \text{ cm}}}$$

Resultatene viser at bassrørets lengde blir 15,7 cm med en diameter på 5,5 cm. I et kabinett på 10 liter, gir dette en resonansfrekvens til bassporten på 60 Hz.

Elementstørrelse	Netto Kabinettvolum	Portdiameter	Portlengde	Portfrekvens
5"	10 liter	5,5 cm	15,7 cm	60 Hz

## 7.6 Diverse responskurver:

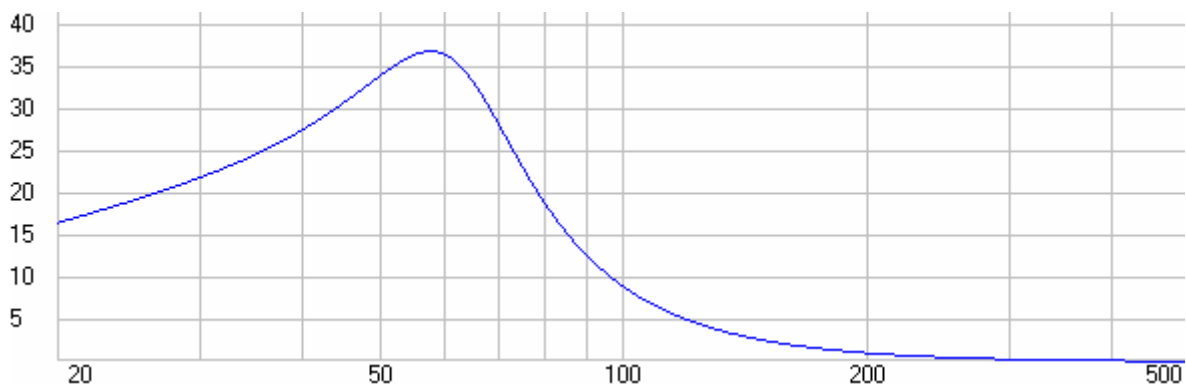
### Membranvandring ved 110 W:



Elementets  $X_{MAX}$  er 9 mm.

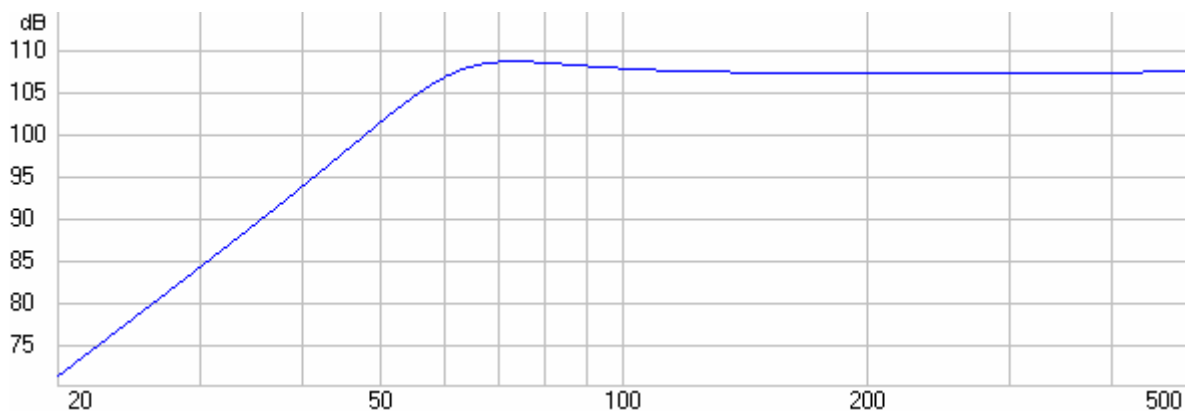
Elementet tåler full effekt i sitt virkeområde, uten at det beveger seg for langt, ned til 50 Hz.

### Lufthastighet i bassporten ved 110 W:



Kurven viser at lufthastigheten er maksimalt 37 m/s ved 58 Hz.

### Maks SPL, maksimalt lydnivå ved 110 W:



Kurven viser at elementet kan spille maks 108,7 dB, og klarer 105 dB ned til ca. 55 Hz.



## 7.7 Delefilterberegninger:

Delefilteret må beregnes med tanke på frekvenskurvene og impedanskurvene til elementene. Begge høyttalerne har en nominell impedans på  $8\Omega$ .

Fra frekvenskurvene kan det avleses en passende delefrekvens for begge høyttalerne på 2600 Hz. Dette kan kanskje være en litt lav delefrekvens for diskanten, men det brukes et 3. ordens filter til både diskant og bass, 18 dB/okt. Kurven til basselementet viser at frem til delingen ved 2600 Hz opprettholdes det en god spredning i alle retninger.

Impedanskurven til basselementet må korrigeres for å få riktig motstand til delefilteret. Dette endrer også delefilterkurven litt, men ikke noe av særlig betydning. Det er ikke brukt impedans korreksjon til diskanten på grunn av elementets lineære impedans kurve.

Diskanten er litt mer følsom enn bassen, og denne må dempes i nivå med ca. 3 dB. Hvis den ikke blir dempet, vil den spille for høyt i forhold til bassen, og da vil lyden oppfattes litt lys og kanskje litt tynnere.

Resonansfrekvensen til diskanten blir også dempet ytterligere med en LC-shunt, slik at filteret fungerer optimalt med tanke på den muligens lave delefrekvensen.

### 7.7.1 Tabell over hva som må beregnes:

Element	Filtertype	Impedans	Delefrekvens	Steilhet	Dempnivå
Bass	Lavpass RC-shunt	$7\ \Omega$	2600 Hz	18 dB/okt	
Diskant	Høypass L-pad, LC-shunt	$7\ \Omega$	2600 Hz	18 dB/okt	3 dB

### 7.7.2 Tabell over komponenter som må være med:

Filter	Komponenter	Antall komponenter
Lavpass	Spole og kondensator	3
Høypass	Kondensator og spole	3
RC-shunt	Kondensator og motstand	2
L-pad	Motstand	2
LC-shunt	Kondensator og spole	2

### 7.7.3 Impedanskorreksjon til bass:

Motstanden som skal kobles i serie med kondensatoren er:  $R = 8,2 \Omega$

Frekvensen der impedansen til høyttaleren er ca.  $16 \Omega$  ligger på rundt 2600 Hz:

$$f = \frac{\sqrt{(2 \cdot 8)^2 - 6,1^2}}{2\pi \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}} = 2615 \text{ Hz}$$

Verdi til kondensator:  $C = \frac{1}{2\pi \cdot 2615 \cdot 8} = 7,6 \mu\text{F} \approx 8,2 \mu\text{F}$  (Standardverdi)

Impedansen filteret beregnes etter er RC-shunt || høyttalerens impedans, som blir ca.  $7 \Omega$ . Diskanten er også ca.  $7 \Omega$ .

### 7.7.4 Lavpass:

$$L_1 = \frac{7}{2\pi \cdot 2600} \cdot 1,508 \approx \underline{\underline{0,68\text{mH}}} \quad L_2 = \frac{7}{2\pi \cdot 2600} \cdot 0,495 \approx \underline{\underline{0,22\text{mH}}}$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot 2600 \cdot 7} \cdot 1,333 \approx \underline{\underline{1\mu\text{F}}}$$

### 7.7.5 Høypass:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot 2600 \cdot 7} \cdot 0,667 \approx \underline{\underline{5,6\mu\text{F}}} \quad C_2 = \frac{1}{2\pi \cdot 2600 \cdot 7} \cdot 2,006 \approx \underline{\underline{18\mu\text{F}}}$$

$$L_1 = \frac{7}{2\pi \cdot 2600} \cdot 0,754 \approx \underline{\underline{0,33\text{mH}}}$$

### 7.7.6 Nivådemping til diskant:

Antall desibel diskanten må dempes:  $90,5 \text{ dB} - 87,5 \text{ dB} = 3 \text{ dB}$

Verdi til parallellmotstand:  $R_2 = \frac{8 \cdot 10^{-3/20}}{1 - 10^{-3/20}} = \underline{\underline{19,39 \Omega}} \approx 18 \Omega$

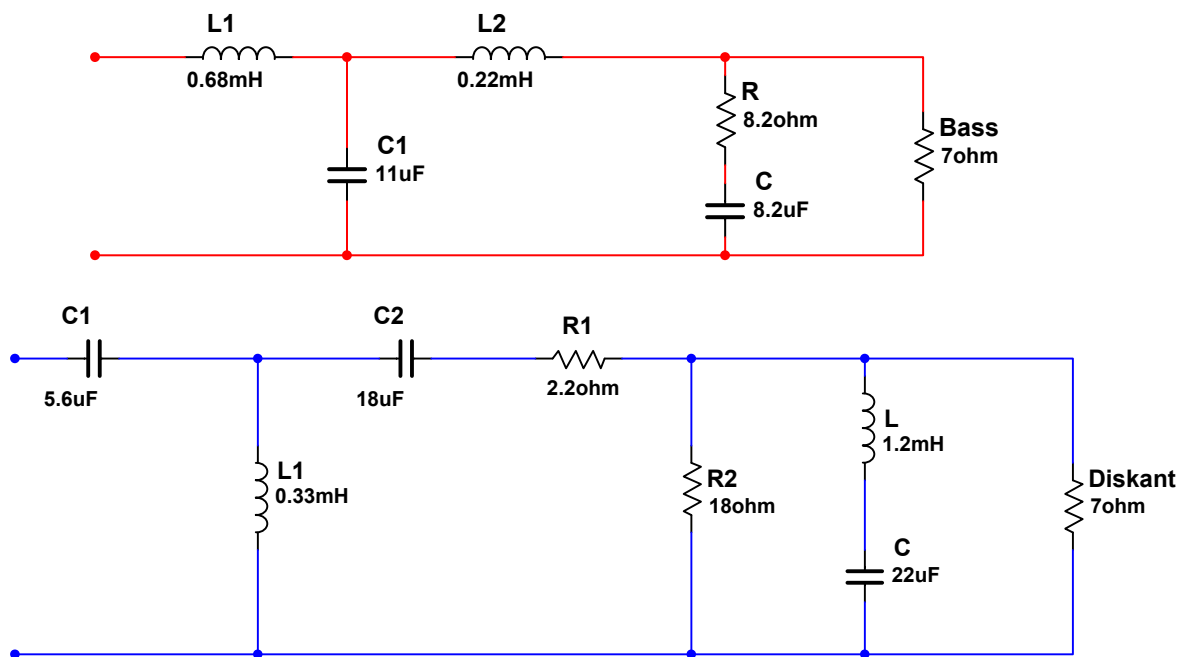
Verdi til seriemotstand:  $R_1 = 8 - \frac{19,39 \cdot 8}{19,39 + 8} = \underline{\underline{2,34 \Omega}} \approx 2,2 \Omega$

### 7.7.7 LC-shunt til diskant:

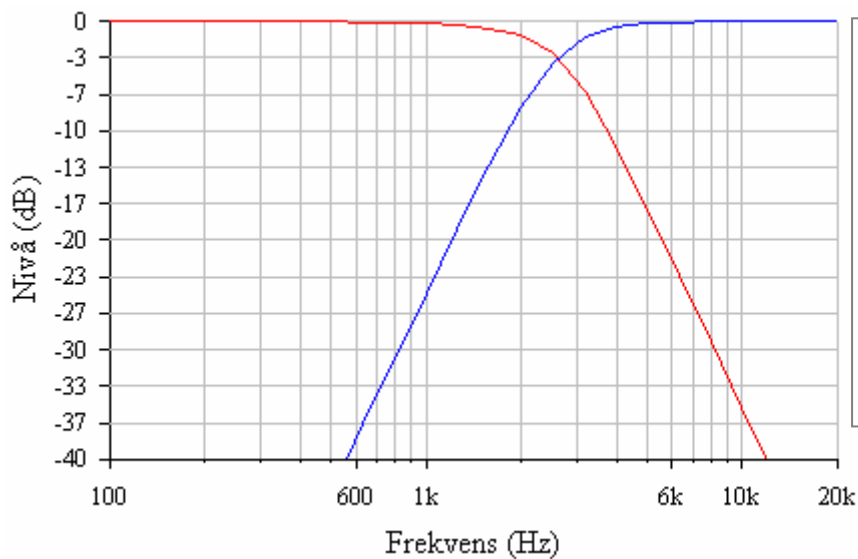
$$C = \frac{\sqrt{2} \cdot (31 - 8)}{31 \cdot 8 \cdot 2\pi \cdot 1010} = \underline{\underline{20,67 \mu\text{F}}} \approx 22 \mu\text{F} \text{ (Standardverdi)}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi \cdot 1010)^2 \cdot (20,67 \cdot 10^{-6})} = \underline{\underline{1,20 \text{ mH}}}$$

### 7.7.8 Fullstendig oppkobling av systemet:



### 7.7.9 Frekvenskurve til filtrene:



Ved 5000 Hz er bassen dempet med 27 dB. Filteret alene demper 17 dB, og elementet faller 10 dB av seg selv.  
 Ved 800 Hz er diskanten dempet med 35 dB. Filteret alene demper 30 dB, og elementet faller 5 dB av seg selv.

## 7.8 Konstruksjon:

Høytaleren bygges i 22 mm tykkelse, med MDF plater. Innvendig avstives kabinettet med små MDF biter. Akustilux dempeull limes fast til sideveggene og bakveggen.

### 7.8.1 Utregning av platemål:

Det er det innvendige volumet som blir utgangspunktet, og det legges til litt ekstra volum for bassporten, avstivere og delefilteret som opptar plass inne i kabinettet. Det velges derfor et volum på 11,3 liter. Dette gir rom for bassportvolum på 0,26 liter, avstivervolum på 0,5 liter.

Bredden velges til 11,8 cm for å gjøre det så smalt som mulig. Dette er bare 1 mm bredere enn monterings diameter til basselementet på 11,7 cm.

Ønsket høyde i prosjektet er 50 cm. Platetykkelsen må være med i utregningen, og da blir den innvendige høyden:

$$(50 - 2,2 - 2,2) \text{ cm} = 45,6 \text{ cm}$$

Nå må dybden regnes ut, i dm:

$$\text{Dybde} = \frac{11,3}{1,18 \bullet 4,56} = 2,1 \text{ dm} = 21 \text{ cm}$$

Da blir det 9,7 cm mellom bassport og bakplaten innvendig. For å få finne de utvendige målene, legges det til 4,4 cm på de innvendige målene, som er platetykkelsen på hver side.

	<b>Innvendige mål:</b>	<b>Utvendige mål:</b>
Bredde:	11,8 cm	16,2 cm
Dybde:	21,0 cm	25,4 cm
Høyde:	45,6 cm	50,0 cm

	<b>Platemål:</b>	
Front/bak:	16,2 cm * 50,0 cm	(Utvendig bredde * Utvendig høyde)
Sider:	21,0 cm * 50,0 cm	(Innvendig dybde * Utvendig høyde)
Topp/bunn:	11,8 cm * 21,0 cm	(Innvendig bredde * Innvendig dybde)

Frontplaten og bakplaten får målene til den utvendige bredden og høyden, slik at den skal dekke hele området uten at platekantene skal vises. Sideplatene får målene til innvendig dybde og utvendig høyde. Dette er for å gi en bra finish hvis kassen bare skal males.

### 7.8.2 Forslag til avstivere:

Hvor mye kabinettet avstives, er opp til enhver å velge. I et så lite kabinett som dette, med såpass tykke plater, er det ikke nødvendig med mange avstivere. Men jo stivere og mer dødt kabinett, jo bedre.

Det er satt av ca. 0,5 liter til avstivere:

1. 2 stk. på bakplate, på hver side av terminal, som kan plasseres 18,5 cm og 35,9 cm opp fra innvendig bunn:

**11,8 cm \* 6 cm** (Bredde \* Dybde)

2. 1 stk. på frontplate, under bass, 15 cm bra innvendig bunn:

**11,8 cm \* 6 cm** (Bredde \* Dybde)

### 7.9 Byggebeskrivelse:

- Diskanten plasseres øverst på frontplaten, helt opp mot toppen av den innvendige høyden.
- Basselementet plasseres 0,5 cm under diskanten. Det er de utvendige sidene til elementene som festes med denne avstanden.
- Bassporten festes på frontplaten, 5 cm opp fra den indre bunnsiden. Da får den også 5 cm mellomrom til avstiveren på frontplaten. Lim gjerne et lag med høyttalertepp rundt røret.
- Terminalen blir plassert på baksiden. For å ha kortest mulig indre ledning, plasseres den noenlunde rett bak elementene, ca. 23,5 cm fra den innvendige bunnen.
- Delefilteret kan festes på sideveggene, i nærheten av terminalen.
- Dempeullen festet med ett lag på sidevegger, topp og bunn, og med to lag på bakveggen.
- Topplaten og bunnplaten festes først til bakplaten. Så festes sideplatene og avstiverne.
- Etter at alt er lagt inni kassen, festes frontplaten. Elementer, bassport og terminal festes til slutt, etter at kassen er malt. Husk å koble til ledninger, før alt skrues fast.

## 7.10 Komponentliste til hele systemet for et par høyttalere:

Komponent	Type	Antall	Verdi	DC motstand	Spenning DC/AC
Spole	Luft	2	0,22 mH	0,28 $\Omega$	
Spole	Luft	2	0,33 mH	0,39 $\Omega$	
Spole	Luft	2	0,68 mH	0,31 $\Omega$	
Spole	Kjerne	2	1,2 mH <sup>2)</sup>	0,38 $\Omega$	
Kondensator	Polypropylen	2	5,6 $\mu$ F		400/250
Kondensator	Polypropylen	2	8,2 $\mu$ F		400/250
Kondensator	Polypropylen	2	11 $\mu$ F		400/250
Kondensator	Glattfolie/Polypropylen	2	18 $\mu$ F <sup>1)</sup>		400/250
Kondensator	Glattfolie	2	22 $\mu$ F <sup>2)</sup>		-/50
Motstand	Trådviklet	2	2,2 $\Omega$		
Motstand	Trådviklet	2	8,2 $\Omega$		
Motstand	Trådviklet	2	18 $\Omega$		
Høyttaler	Bass	2	8 $\Omega$	6,1 $\Omega$	
Høyttaler	Diskant	2	8 $\Omega$	6,8 $\Omega$	
Terminal	Bi-wiring	2			
Dempeull	Akustilux	2	1 m * 0,45 m		
Bassrør	Plast	2	5,5 * 15,7 cm		

1) 18  $\mu$ F kan realiseres med 15  $\mu$ F || 3,3  $\mu$ F

2) LC-shunt med 1,2 mH spole og 22  $\mu$ F kondensator kan utelates for å gjøre filteret mindre komplisert og for å senke prisen litt.

**Notater:**

---