

HIFI4ALL.DK

Lyd & Højtalerbyg - 5. del

Arne Rodahl [31.01.2008]

Delefilter - 5. del af Arne Rodahls artikelserie omhandlende den forunderlige verden omkring lyd og højtalerbyg.

5. del

DELEFILTRE

Delefilter til højtalere er et temmelig omfattende område, ja nærmest en videnskab for sig. Der er skrevet et utal af bøger og afhandlinger over emnet, så hvis man vil forske i området, er der nok at gå i gang med. Indledningsvis skal det understreges at delefilterkonstruktion er en komposition af beregning, lytning, måling, korrektion, subjektivitet og ikke mindst erfaring. Valg af delefilter med deraf følgende beregninger og justeringer udføres, efter valget af driverne er truffet og efterfølgende monteret i et færdigt kabinet. Ergo filtret skal matche både drivere og kabinet. Her i artikelserien vil vi som begyndere nøjes med at studere de grundlæggende teorier, og bruge disse til at konstruere relative enkle filtre.

Alle formler er, lige som i kabinetberegningerne, udeladt og lagt over i computerens beregningsprogrammer. Filterberegningsprogrammerne ligger som regel sammen med kabinetberegningsprogrammerne og kan som tidligere omtalt hentes på nettet eller købes på CD-ROM, [se artikelseriens Del 3](#). Ikonet til højre angiver således anvendelse af beregningsprogrammer i følgende artikeldel.



computerberegninger

Delefilter har ét overordnet formål: At tildele de rette frekvensafsnit til de rette drivere, bas, mellemtone og diskant, med så få bivirkninger som muligt. Underordnet kan filtre tillige fungere som impedanskorrektion, sugekreds og dæmpningsled. Ganske enkelt men... men... men så er der lige en hvis hr. Murphy og hans lov:

HVIS NOGET KAN GÅ GALT, SÅ GÅR DET GALT!

Passive delefilter

Teoretisk delefilter, helt uden fasefejl, ripple og overlapning, ... findes desværre kun i højtalerkonstruktørens fantasiverden.

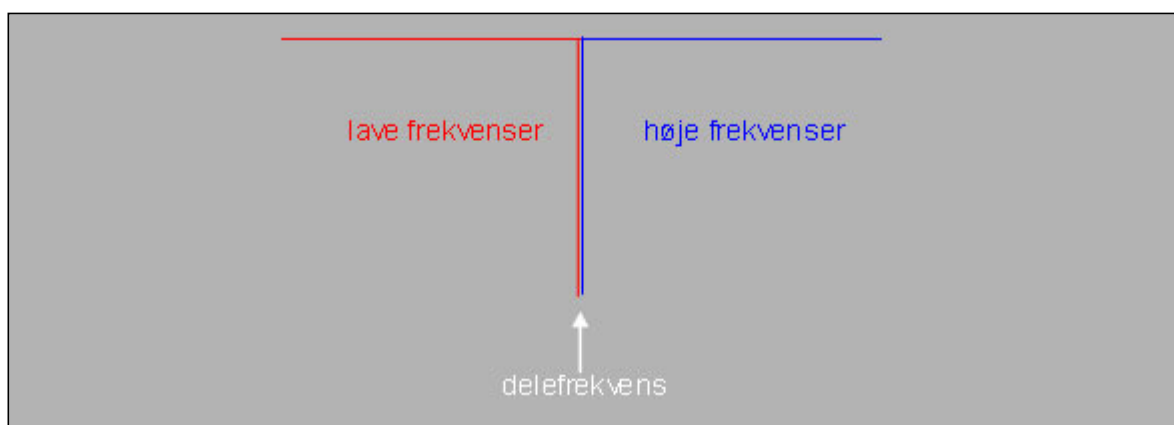


Planche nr. 29.

I højtalerkonstruktørens virkelige verden findes delefilter kun som kompromisser.

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

Måske skal delefiltret tillige korrigerer for drivernes ofte forskellige følsomheder samt for store impedansafvigelse og er der pukler på frekvenskurven, kan filtret udglatte disse ved hjælp af sugekredse. Delefilter er hjertet i enhver

højtaler med flere drivere og er højttalesystemets vanskeligste del at konstruere. Faktorer der skal tages hensyn til, er mangfoldige og uhyre komplekse.

Delefrekvenser vælges ud fra drivernes egenskaber, således at de forskellige drivere får tilført de korrekte energimængder og de bedst egnede frekvensafsnit. I trevejssystemer vælges den laveste delefrekvens mellem bas og mellemtone, typisk i området 500–1.500 Hz. Den højeste delefrekvens vælges mellem mellemtone og diskant typisk i området 3.000–5.000 Hz. I tovejssystemer vælges delefrekvensen normalt i området 2.000–3.000 Hz. Her varetages mellemtoneområdet af basdriveren.

Hidtil kendte teknikker i delefiltre benytter kapacitet (kondensatorer) og induktion (spoler), enkeltvis eller i kombination, til at udføre delingen af de elektriske signaler ved de ønskede frekvenser. Denne teknik fungerer dog ikke helt problemfri, idet den ønskede deling nok lader sig praktisere, men desværre også med en del bivirkninger og kompromisser, - alt efter den benyttede filtertype.

Filtrets flankestejlhed: Med den kendte teknik vil flankerne altid have en vis stejlhed (hældning), alt efter den benyttede filtertype. Herved opstår der et underskud (-) og et overskud (+) af energimængden omkring delefrekvensen i den såkaldte "crossover region". Dette underskud og overskud bør resultere i en udligning med en lineær summeret kurve (stiplet linie) som resultat. Se planche nr. 30. Ulempen ved flankestejlhedens hældning er den uundgåelige energimæssige rest af uønskede frekvenser, der tilføres højtalerenhederne med deraf mulig overbelastning og forvrængning. 6 dB-filtret har den største og 24 dB-filtret har den mindste energimæssige rest på hver side af delefrekvensen, hvorfor 6 dB-filtret stiller de største krav, - så store at dets anvendelsesmuligheder er noget begrænsede.

Crossover region er betegnelsen for det frekvensafsnit, hvor den gradvise ind- og udkobling sker af to frekvensafsnit.

I Butterworth filtre er skæringspunktet ved - 3 dB og betegnes **delefrekvensen**, hvilket er punktet, hvor to drivere starter delingen af den tilførte energi. Punktet betegnes tillige **knækfrekvensen**. Driverne bør præcist have den samme øjebliksværdi (fase) i regionen, grundet den frekvensmæssige overlappning, hvilket kun forekommer mere eller mindre i få filtertyper. Delingsprocessen er temmelig kompliceret, idet tidsfaktoren (faseforløbet) spiller en væsentlig rolle. Er drivernes faseforløb ikke sammenfaldende i området, hvor de overlapper hinanden, vil differencen resultere i et reduceret lydtryksniveau i regionen.

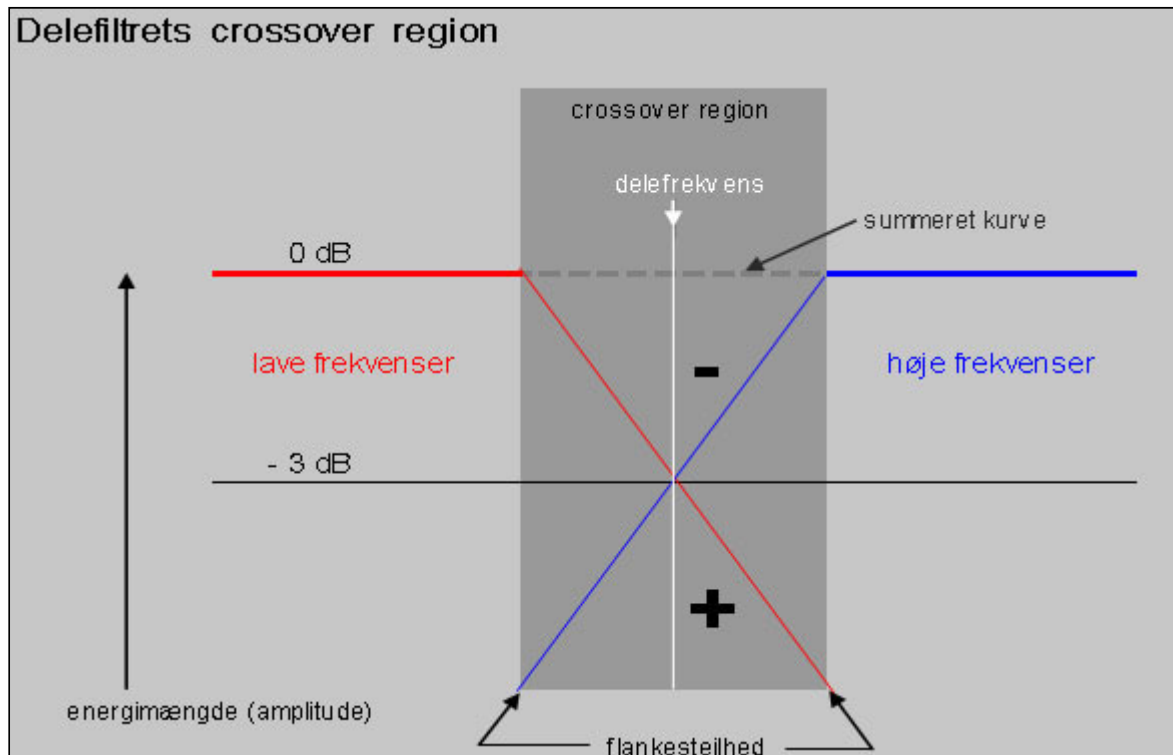
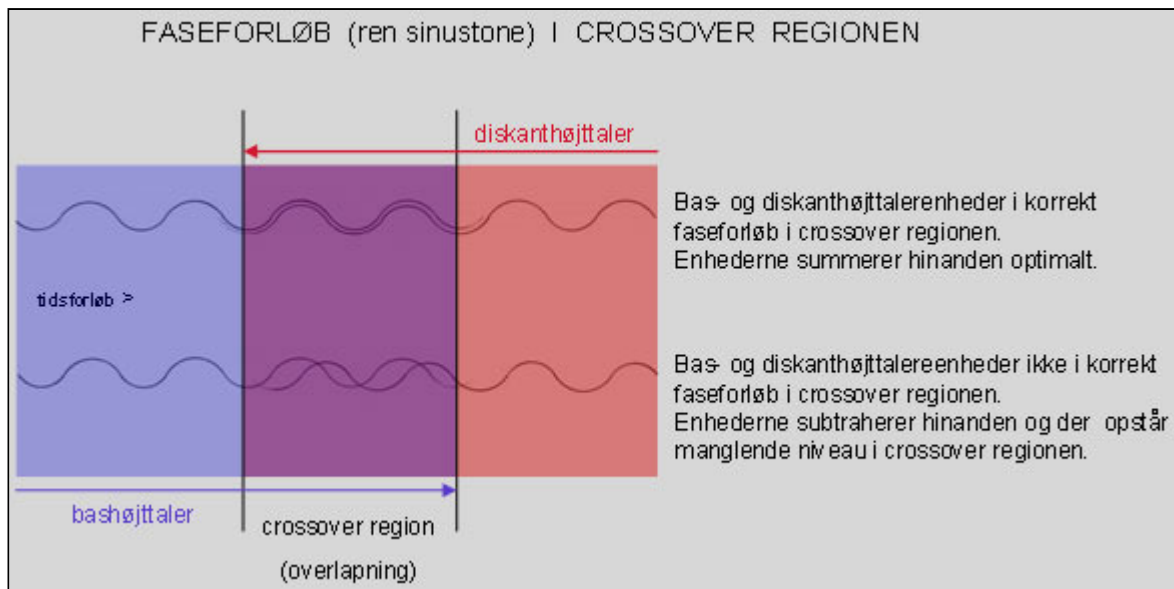


Planche nr. 30.

Filtrets faseforløb: Fase er definition på en øjebliksværdi af en energimængde i et signal. Fasen er således beroende på signalets tidsforløb. Skal processen i crossover regionen lykkes, må signalets tidsforløb for de to frekvensafsnit være sammenfaldende, - som f.eks. i 6 dB-filtre. Se nedenstående planche nr. 31.



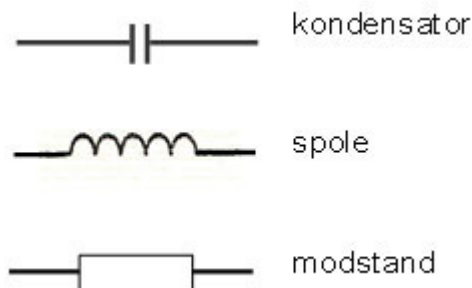
Filterdiagrammer:

Delefilterets flankestejlhed er, som nævnt den hastighed, hvormed de forskellige drivere gradvis ind- eller udkobles omkring delefrekvensen. Disse ind- og udkoblingers stejlheder udtrykkes i dB pr. oktav. Den mest benyttede filtertyper er Butterworth (plancher nr. 32, 33 og 34), hvis flanker er symmetriske ved delefrekvensen med stejlheder pr. oktav på 6 dB (1. orden), 12 dB (2. orden), 18 dB (3. orden) og det lidt sjældne 24 dB (4. orden). Desuden anvendes hybride filtre, der f.eks. kan være sammensat af et 6 dB's og et 18 dB's filter og derfor er asymmetrisk ved delefrekvensen. Hybride filtre bør altid sammensættes af enten ulige eller af lige orden, f.eks. 1. og 3. eller 2. og 4.

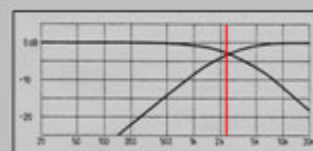
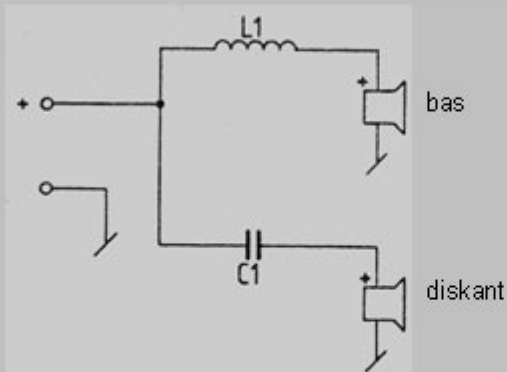
Andre filtertyper der principielt fungerer som Butterworth, men med anderledes prioriteringer af fase-linearitet, frekvens-linearitet, impulsbearbejdning m.m. Filtertyperne Chebyshev, Linkwitz-Riley og Bessel har hver deres foretrukne område, som vil være for omfattende at beskrive her i artikelserien.

Kombinationer af filterkomponenter: Kombinationen af spoler og kondensatorer og disses respektive værdier bestemmer filtrets delefrekvens og flankestejlhed. For hver gang der indføres ét element i signalvejen (spole eller kondensator) øges den frekvensafhængige dæmpning med ca. 6 dB pr. oktav, hvilket tillige medfører en ændring af fase-lineariteten. Eksempler på benyttede kombinationer ses på plancherne nr. 32, 33, 34 og 35.

Symboler for filterkomponenter:

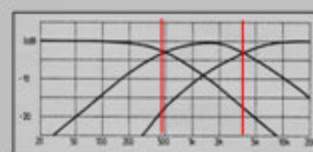
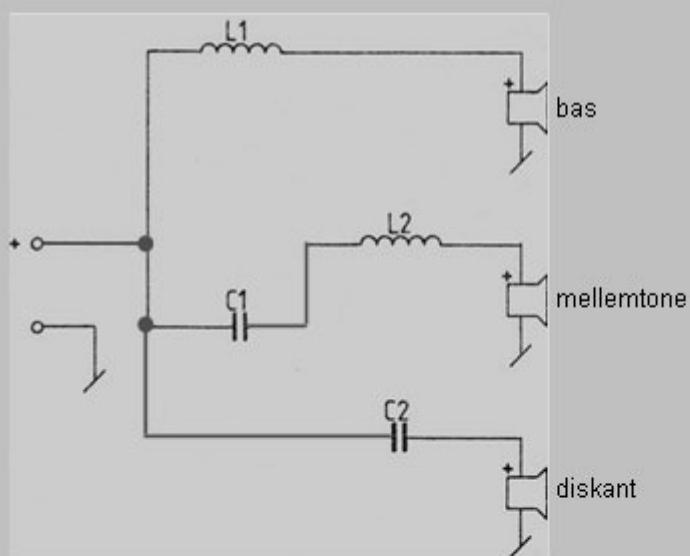


DELEFILTRE : TOVEJS & TREVEJS, 6 dB PR. OKTAV



Frekvenskarakteristik for tovejs
— Delefrekvens

Diagram tovejs, 6 dB pr. oktav
(Butterworth)



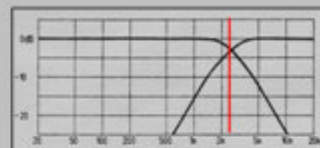
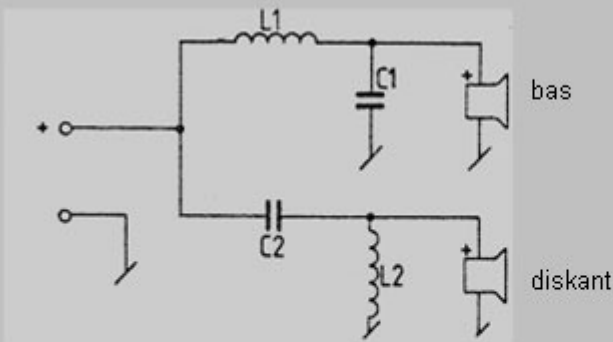
Frekvenskarakteristik for trevejs
— Delefrekvenser

Diagram trevejs, 6 dB pr. oktav
(Butterworth)

6 dB (1. Orden) filtre har en summeret, total lineær frekvenskurve, en egenskab denne filtertype er alene om, men det har sin pris i form af ikke særlig stejle afskæringer, hvilket stiller meget store krav til benyttede drivere (frekvensforløb og belastningsevne). Filtret er nok mere teoretisk end egentligt anvendeligt i praksis. I diagrammerne er spoler mærket "L" og kondensatorer er mærket "C".

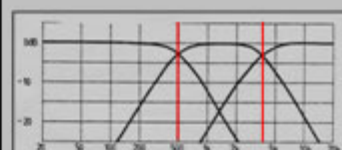
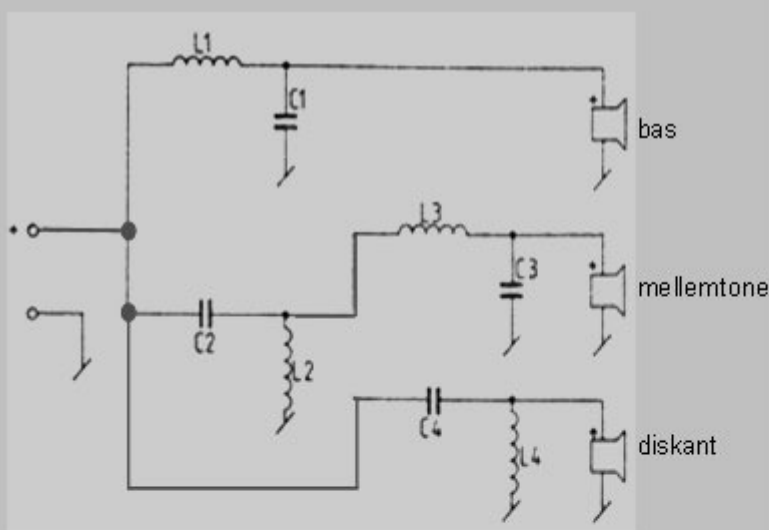
Planche nr. 32.

DELEFILTRE : TOVEJS & TREVEJS, 12 dB PR. OKTAV



Frekvenskarakteristik for tovejs
— Delefrekvens

Diagram tovejs, 12 dB pr. oktav
(Butterworth)



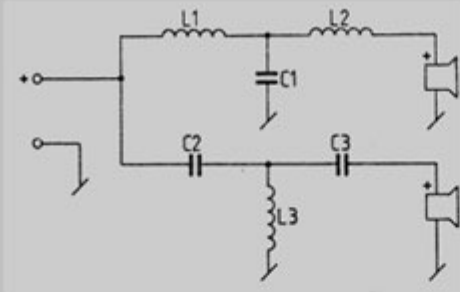
Frekvenskarakteristik for trevejs
— Delefrekvens

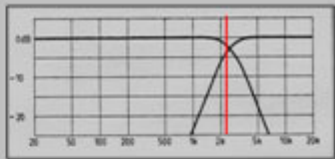
Diagram trevejs, 12 dB pr. oktav
(Butterworth)

12 dB (2. ordens) filtret kombinerer de værste fejl og er uden de store lydmæssige fordele. Filtrets summerede frekvenskurve er lang fra lineær. Alligevel ses filtret ofte benyttet, idet det er relativt nemt og billigt at producere, taget i betragtning at filtret giver en god beskyttelse af drivere og tilstrækkelig afskæring ved delefrekvensen. I diagrammerne er spoler mærket "L" og kondensatorer er mærket "C".

Planche nr. 33.

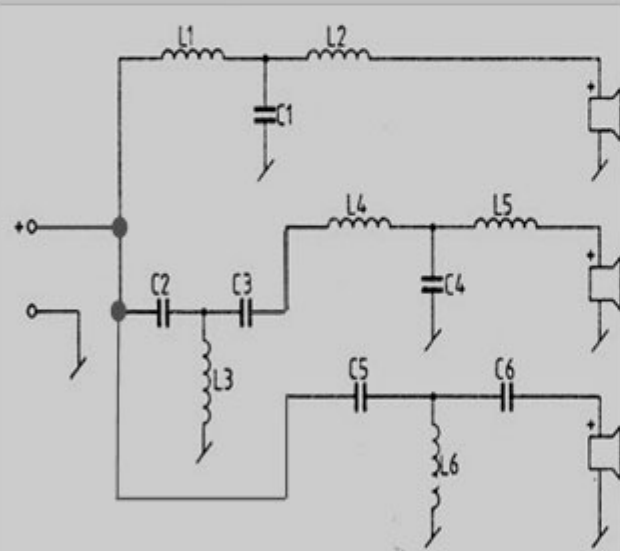
DELEFILTRE : TOVEJS & TREVEJS, 18 dB PR. OKTAV

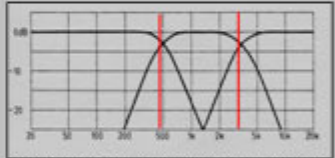




Frekvenkararakteristik for tovejs
— Delefrekvens

Diagram tovejs, 18 dB pr. oktav (Butterworth)





Frekvenkararakteristik for trevejs
— Delefrekvens

Diagram trevejs, 18 dB pr. oktav (Butterworth)

18 dB (3.ordens) filtret har meget stejle afskæringer, hvilket beskytter diskant-drivere meget effektivt og samtidig forhindrer membranopbrud i bas-drivere.

Filtrets summerede frekvenskurve er tæt på lineær og et godt alternativ til 6 dB filtret. Det skal dog understreges at der indgår mange komponenter i konstruktionen, hvilket gør produktionen mere omstændig og hæver prisen betragtelig.

I diagrammerne er spoler mærket "L" og kondensatorer er mærket "C".

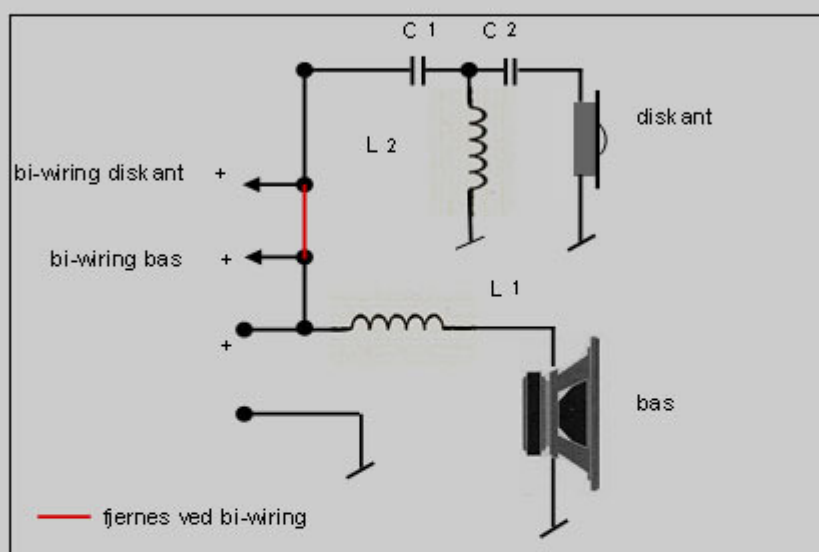
Planche nr. 34.

En ofte benyttet filtertype er den asymmetriske, hvor ud- og indkoblingen sker med 6 dB og 18 dB pr. oktav. Filtret er mindre problematisk med hensyn til faseforløb og linearitet og har samtidig en brat flankestejlhed til diskantdrivere, hvilket giver lav forvrængning og god beskyttelse mod afbrænding. Til gengæld stiller filtret krav til bas-mellemtonehøjttalerens naturlige afslutning af mellem og høje frekvenser, sammenlignet med et symmetrisk 18 dB-filter.

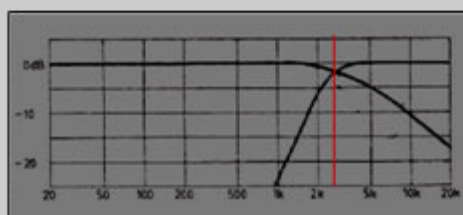


HYBRID DELEFILTER, TOVEJS, ASYMMETRISK, 6/18 dB PR. OKTAV

Eksempel på bi-wiring



Hybride filtre er sammensatte af to filtertyper med forskellige flankestejlheder. Et godt eksempel er 6/18 dB -filtret, der er sammensat af de to filtertype, der har det bedste faseforløb og samtidig tilgodeser en god beskyttelse af diskantenheden. Hybride delefiltere er velegnet i tovejs konstruktioner, men kan ikke anbefales i trevejs konstruktioner.



Frekvenskarakteristik for tovejs 6/18 pr. oktav

— Delefrekvens

Planche nr. 35.

Husk! Computersimulerede filterberegninger er udelukkende et udgangspunkt for filterets konstruktion, - efterfølgende justeringer er nødvendige for et optimalt resultat og det optimale er subjektivt!

Serie- og parallelforbindelser af filterkomponenter kan anvendes når komponenternes standardværdier ikke passer til den beregnede værdi.

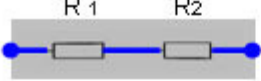
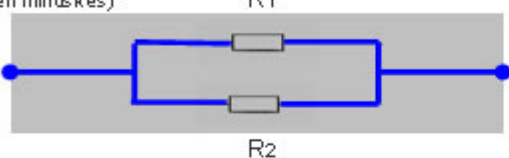

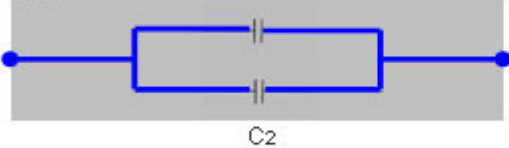


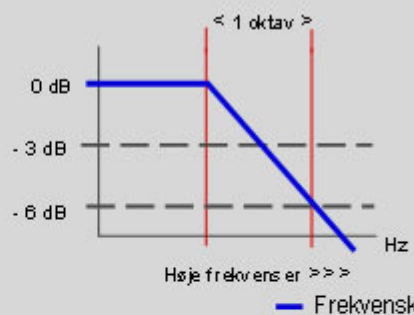
MODSTANDE		
SERIEFORBINDELSE (modstanden øges)	DIAGRAM 	BEREGNING $R1 + R2 = R_{tot}$
PARALLELFORBINDELSE (modstanden mindskes)	DIAGRAM 	BEREGNING $\frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}} = R_{tot}$
KONDENSATORER		
SERIEFORBINDELSE (kapaciteten mindskes)	DIAGRAM 	BEREGNING $\frac{1}{\frac{1}{C1} + \frac{1}{C2}} = C_{tot}$
PARALLELFORBINDELSE (kapaciteten øges)	DIAGRAM 	BEREGNING $C1 + C2 = C_{tot}$
SPOLER		
SERIEFORBINDELSE (induktionen øges)	DIAGRAM 	BEREGNING $L1 + L2 = L_{tot}$
<p>Ved induktionsreduktion reduceres spolens vikleantal til den ønskede induktion. (måleinstrument påkrævet).</p>		

Planche nr. 36.

Spoler:

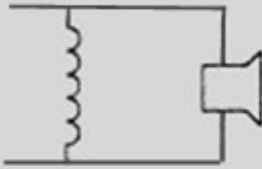
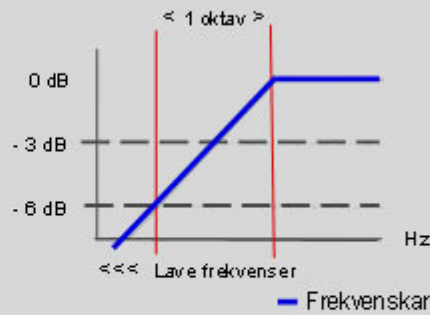


Spole serie-forbundet med driver

En seriespole dæmper de høje frekvenser med 6 dB pr. oktav. Antallet af viklinger bestemmer delefrekvensen, jo flere viklinger, des lavere delefrekvens. Vikleantallet kan reduceres og erstattes med en pulverkeme*, der øger induktionen**, men samtidig resulter i en lavere mætningsgrad ved større effekter. Tråden er af kobber og dens tykkelse og antal viklinger er bestemmende for spolens modstand. Modstanden skal være så lille som mulig for at undgå tab. Seriespoler benyttes sammen med bas- og mellemtonedriver og bør have en tykkelse på mindst 0,8 - 1 mm i serie med basdrivere og mindst 0,5 mm i serie med mellemtonedriver.

* Sammenpresset jernpulver.
** Spolers værdi angives som induktion og måleenheden er Henry (H). I delefiltre anvendes dog væsentlig mindre måleenheder som miliHenry (mH).





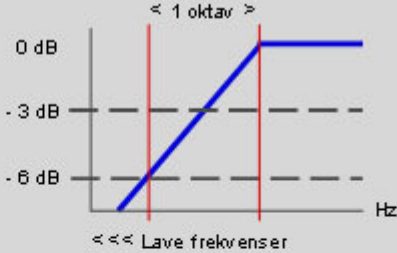
Spole parallel-forbundet med driver

En parallelspole dæmper de lave frekvenser med 6 dB pr. oktav. Antallet af viklinger bestemmer delefrekvensen, - jo flere viklinger, des lavere delefrekvens. Parallelspolens modstand har ikke væsentlig betydning, hvorfor trådens tykkelse er ukritisk og kan være helt ned til 0,2 - 0,3 mm. Parallelspoler benyttes sammen med mellemtone- og diskantdrivere.

Planche nr. 37.

Kondensatorer:



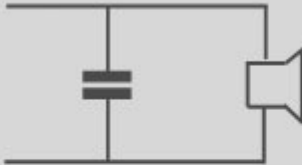


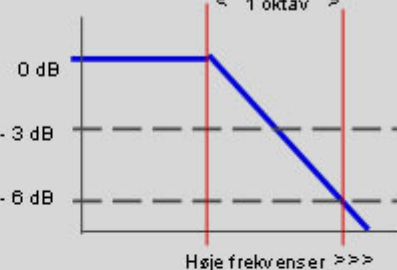
Kondensator serie-forbundet med driver — Frekvenskarakteristik

Seriekondensatorer dæmper de lave frekvenser med 6 dB pr. oktav. Delefrekvensen bestemmes af kondensatorens kapacitet*, - Jo større kapacitet, des lavere delefrekvens. Kondensatorer tåler en maksimal påført arbejds-spænding, beroende på hvilken effekt systemet skal belastes med. Typiske arbejds-spændinger er fra 50 volt - 250 volt.

Der findes flere kategorier af kondensator-typer, hvor bipolare glatfolie-kondensatorer benyttes i standard systemer og polykarbonat, polyester eller polypropylene benyttes i kvalitets-systemer. Seriekondensatorer benyttes sammen med mellemtone- og diskantdrivere.

OBS ! Polariserede elektrolytkondensatorer kan ikke benyttes.





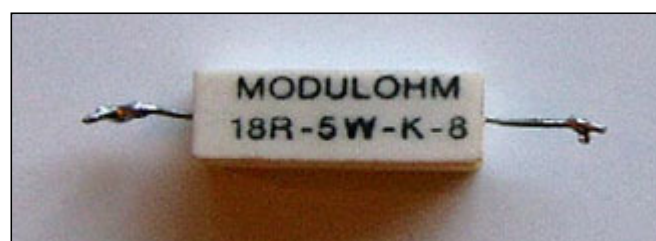
Kondensator parallel-forbundet med driver — Frekvenskarakteristik

Parallelkondensatorer dæmper de høje frekvenser med 6 dB pr. oktav. Delefrekvensen bestemmes af kondensatorens kapacitet, - jo større kapacitet, des lavere delefrekvens.

Parallelkondensatorer benyttes sammen med bas- og mellemtone-drivere.

* Kondensatorers værdi angives som kapacitet og måles som Farad (F). I delefiltre anvendes dog væsentlig mindre måleenheder som mikroFarad (µF).

Planche nr. 38.

Modstande:

Filtrets tredje komponenttype er modstanden, der udelukkende anvendes i korrektionskredsløb (se afsnittet). Modstandes værdi angives i Ohm og belastningsevnen angives i watt, der mindst skal modsvare dens belastning i et kredsløb, typisk 5-10 watt. Ohm's lov kan ses via HIFI4ALL.DK's Ordbog.

Korrektionskredsløb:

I forbindelse med optimering af delefiltre kan korrektionskredsløb være nødvendige til at kompensere for afvigelser og unoder ved de anvendte drivere.

Dæmpeled: Ved valg af drivere i flervejssystemer, er basdriverens følsomhed aldrig højere end de øvrige drivere. Ved valget af mellemtone- og diskantdrivere er det vigtigt at deres følsomheder enten er den samme som - eller højere end bashøjttalerens følsomhed. Såfremt mellemtone- eller diskant-højttalerne har højere følsomhed end bashøjttaleren, må der indsættes et dæmpeled, så følsomheden bliver den samme (planche nr. 39).

Højttalersystemer kan have afgrænsede frekvensafsnit med et for lavt niveau, da dette ikke kan hæves, må man i stedet dæmpe de omkringliggende frekvensafsnit med korrektionskredsløb med deraf tab af følsomhed til følge.

Bashøjttalere bør ikke dæmpes elektrisk af hensyn til forstærkerens dæmpningsfaktor (evnen til at styre membranudsving). Helt kan dette dog ikke undgås, idet delefilterets seriespoler altid vil have en mindre modstand, der som tidligere nævnt bør være så lille som muligt. Bashøjttalerens følsomhed danner derfor altid udgangspunkt for det komplette højttalersystems følsomhed.

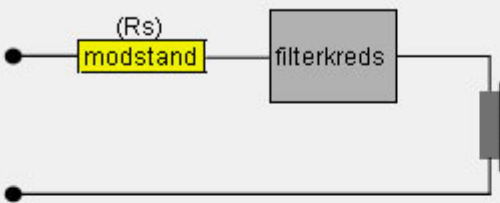
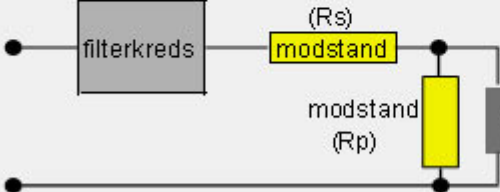
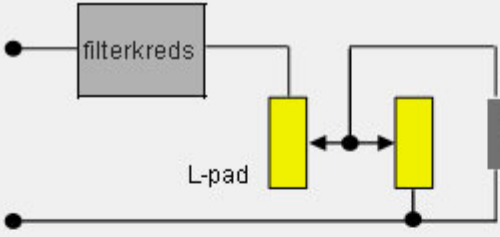
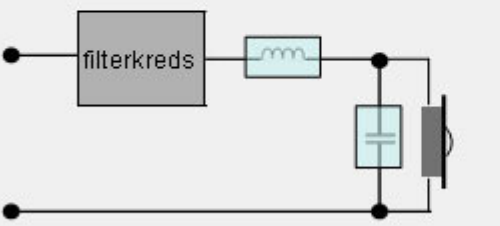
Dæmpeled for mellemtone- og diskant-højttalere	
	<p>En enkel måde at dæmpe på er med en seriemodstand R_s, der indsættes <u>inden</u> filterkredsen*.</p> <p>Den ønskede dæmpning i dB samt højttalerenhedens impedans indsættes i beregningsprogrammet.</p>
	<p>Indsættes dæmpeledet <u>efter</u> filterkredsen* skal dæmpeledet være impedansneutral for ikke at flytte filterets delefrekvens. Det betyder at dæmpeledet må udføres som en spændingsdeler (L-pad) med en seriemodstand (R_s) og en parallelmodstand (R_p).</p> <p>Den ønskede dæmpning i dB samt højttalerens impedans indsættes i beregningsprogrammet</p>
	<p>Ønskes en trinløs regulering af dæmpningen, kan en variable L-pad anvendes. L-pad'en er impedansneutral og skal derfor indsættes efter filterkredsen*</p>
Dæmpeled for øvre diskant	
	<p>En lidt for spids diskant kan dæmpes en anelse med et 6 dB-filter. Der kan anvendes <u>enten</u> en spole <u>eller</u> en kondensator (begge muligheder er vist på tegningen).</p> <p>Indsæt frekvensen hvor dæmpningen skal starte, f.eks. 10.000 Hz i filterberegning 6 dB pr. oktav. Filtret påvirker ikke fasen.</p>
<p>*Filterkreds angiver den del i højttalersystemets delefilter, der udelukkende kan henføres til enheden, der skal dæmpes.</p>	

Planche nr. 39 - indsættes i beregningsprogram.



computerberegninger

Impedanskorrektion (Zobel filter): Filter til at rette op på en højttalers impedanskurve. På planche nr. 40 ses en 8 Ohms bashøjtalers impedansforløb med og uden korrektion. Skemaet viser stigende impedans med stigende frekvens uden korrektion. Ved en typisk delefrekvens er impedansen væsentlig højere end de 8 Ohm, som det egentlige filter er beregnet til, hvorfor delefrekvensen ikke stemmer overens med den beregnede delefrekvens. Med et korrigerende kredsløb bestående af en seriekoblet modstand (R) med en kondensator (C) forbundet parallel over basenheden vil impedansen forblive på 8 Ohm i enhedens frekvensforløb som skitseret med den røde linie.

Indsættes i beregningsprogram: Højtalerens impedans (Ohm) og induktion (mH).

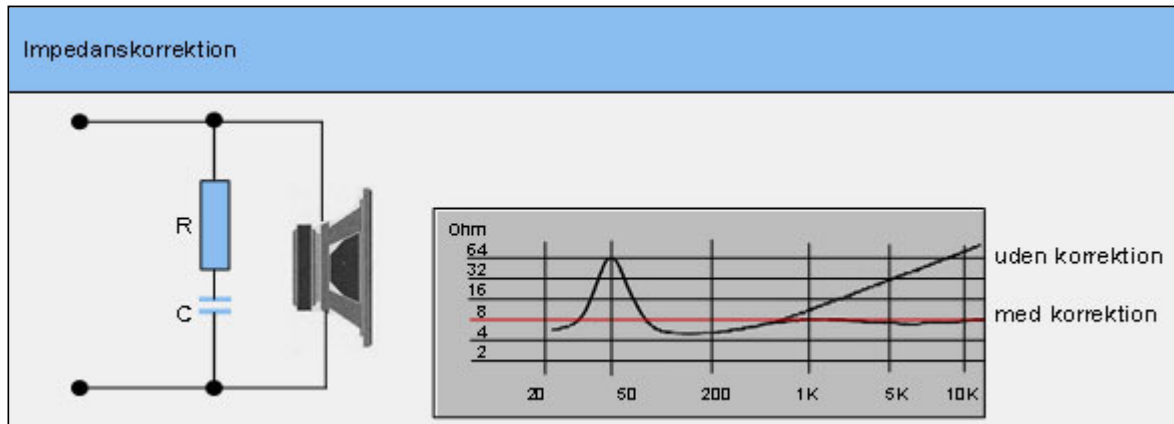
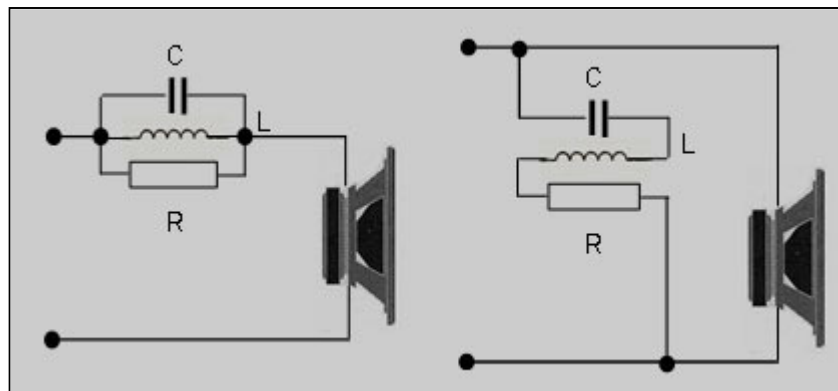


Planche nr. 40 - indsættes i beregningsprogram.



computerberegninger

Sugekredse (Notch-filtre): - benyttes til at dæmpe højttalerenheders resonansfrekvenser eller mindre "toppe" på frekvenskurven. Det skal understreges, at forudsætningen for beregning af sådanne filtre kræver ekspertise og måleudstyr, ligesom en del eksperimenter må forventes, såfremt resultatet skal blive godt. Et godt råd: Anvend ikke notch-filtre med mindre man er helt sikker på at ramme præcis med udførelsen ellers gør filtret mere skade end gavn!



Venstre: Parallel notch-filter. Højre: Serie notch-filter - planche nr. 41. Se nedenstående henvisninger.



computerberegninger

Henvisning: www.lalena.com/audio/calculator/parallelNotch og www.lalena.com/audio/calculator/serieNotch

Valg af filtertype kan synes noget uoverskueligt, men jo mere indsigt man har i de forskellige filtertyper og deres funktion, des bedre er ens vurderingsgrundlag når der skal vælges filtertype. Valget af filtertype foretages efter valget af højttalerenheder og kabinetsystem er foretaget.

De sikre områder:

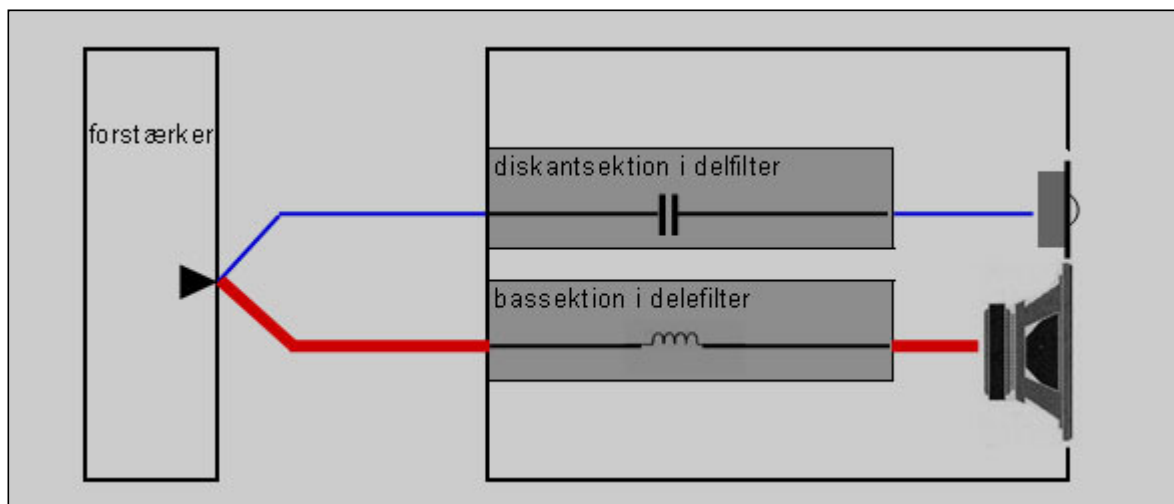
- Antal frekvensafsnit (tovejs, trevejs eller måske 2½-vejs).
- Impedans (bestemmes af højtalerenhederne).
- Antal højtalerenheder.
- Belastningsevne (watt).

De usikre områder:

- Filtrets flankestejlhed (6, 12, 18 eller 24 dB pr. oktav).
- Symmetrisk eller asymmetrisk.
- Faseforløb / linearitet.
- Ekstra korrektionskredsløb.
- Eventuelle sikringskredsløb.

Her er det de mange spørgsmål opstår uden endegyldige svar. I artikelseriens 8. del begynder eksperimenter med bl.a. delefilter, hvor der tages hul på de mange spørgsmål.

Bi-wiring: - består af flere separate kabler fra forstærker til højtaler, således at de anvendte kabler kan specificeres til respektive frekvensområder. Højtalerens delefilter har separat diskant- og bassektion. Eksempler ses på nedenstående diagram samt planche nr. 35. Systemet giver tilsyneladende ikke nogen målbar forbedring, - hvorvidt det kan høres beror på subjektive opfattelser.



Blokdigram til bi-wiring.

Aktive delefiltre: - har samme opgave som de passive delefiltre, blot med den forskel, at hvor de passive filtre opdeler frekvensafsnittene direkte ved driverne, opdeler de aktive filtre frekvensafsnittene inden effektforstærkerne, hvilket fordrer én effektforstærker pr. frekvensafsnit. Løsningen er noget mere kostbar end med den passive filterløsning, men der opnås en række fordele ved at anvende den aktive filterløsning, f.eks. kan drivere med forskellige impedanser og følsomheder benyttes. Forstærker(ne) placeres typisk i selve højtalerkabinettet, hvorved kabelføringen bliver kortest mulig og signaloverførselen herved optimal.

Copyright © Arne Rodahl 2007

Eftertryk og erhvervsmæssig udnyttelse uden forfatterens godkendelse er ikke tilladt.

Udskriften er kun til privat brug - anden brug kræver skriftlige aftale med HIFI4ALL.DK!

Copyright © HIFI4ALL.DK- Alle rettigheder forbeholdes.