RÄKNEÖVNINGAR

Ta med detta häfte till räkneövningstillfällena. Ta också med en fickräknare med log och trig. Lösningarna börjar på sidan 11.

Elementär akustik

1. Beräkna skillnaden i ljudhastighet mellan tropikerna +40 ºC och svensk höst +0 ºC. Ange svaret i procent.

2. Hur förhåller sig partikelhastigheten v till ljudhastigheten c? Ställ upp formeln och förklara med ord.

3. Ett typiskt värde på Z_0 i luft är 400 Ns/m³. Hur stor är partikelhastigheten om ljudtrycket är 1 Pa (effektivvärden)? Jämför med ljudhastigheten.

4. Vågtalet är en frekvens i rummet snarare än i tiden, närmare bestämt ”rumsvinkelfrekvens”. En LP-skiva av vinyl har diametern 30 cm. Över vilken frekvens börjar skivan få betydelse som akustisk reflektor?

5. Om ljudtrycket är 3 Pa, vad är då ljudtrycksnivån? Antag den vanliga definitionen av referensnivån.

6. Intensiteten J från en rundstrålande källa i fri rymd är 10 μW/m² på 5 meters håll. Beräkna
   a) ljudintensitetsnivån L_J
   b) den av källan utstrålade effekten W (sid 3-6)

7. Hur stor effekt behövs i slutförstärkaren, om ljudnivån på 25 meters håll ska vara 85 dB? Antag att högtalaren är rundstrålande, står nära marken, och dess verkningsgrad är 1%.

8. Publiken på en fotbollsmatch vrålar när det görs mål. 4000 personer hejar på hemmalaget, och 1000 personer hejar på bortalaget.
   a) Hur många dB starkare blir vrålet för hemmalaget?
   b) Låter detta som mer eller mindre än dubbelt så starkt?

9. En oktav är en musikalisk beteckning på frekvensförhållandet 2:1. Denna term är vanlig inom ljudtekniken. Över hur många oktaver sträcker sig det hörbara frekvensområdet 20 Hz … 20 kHz ? Ange svaret med två decimaler.

10. Beräkna effektivvärdet för en signal med toppamplituden ±10 Pa, om vågformen är
    a) en sinusvåg,
    b) en symmetrisk fyrkantvåg,
    c) en symmetrisk triangelvåg.

Hörsel

11. Vid vilken ljudnivå måste en ton på 50 Hz presenteras, om den ska låta lika stark som en ton på 1000 Hz som presenteras vid 30 dB ljudnivå? Vad blir tonernas hörnivå i fon?

12. Orkestermusik har mest energi i området omkring 500 Hz. Om man repeterar tre timmar per dag, vilken skulle vara den högsta ihållande ljudnivå som ger en tillåten bullerdos enligt arbetarskyddsnormen?

13. Man har en störton på 200 Hz med en ljudnivå om 90 dB. Hur stark måste då en mätton vid 500 Hz vara för att inte maskeras?

---

14. **Exempel på tentamensuppgift**.
För en experimentell radioteater ska du framställa en binaural inspelning (endast för återgivning i hörlurar) som ger illusionen av att en talare står 45 grader till höger om lyssnaren. Råmaterialet är en ljudfil med en högklassig monoinspelning av talaren, gjord i studio utan rumsklang. Verktyget är ett ordinärt flerkanaligt ljudredigeringsprogram med mixning och några enkla filter.
a) Huvudets ljudskugga har i verkligheten en lågpass-karakteristik som är litet mer komplicerad än ett första ordningens lågpassfilter, men det är den enda filtertyp som finns i ditt ljudredigeringsprogram. Ungefär vilken brytfrekvens bör väljas på detta filter? Motivera. (3 p)
b) Beskriv steg för steg hur du manipulerar signalen för att åstadkomma ett så illusoriskt resultat som möjligt. Endast direktljudet behöver simuleras. (5 p)
c) Regissören vill nu ge intryck av att lyssnaren och talaren står utomhus på hård plan mark, på 4 meters avstånd från varandra, utan andra väggar eller föremål i närheten. Antag att huvudena är 1,5 m över marken. Beskriv steg för steg hur du simulerar markreflexen. Tips: Rita strålgången. (4 p)
d) Tror du att det spelar någon roll om man lägger till markreflexen innan eller efter man gör om monoinspelningen till stereo; och hur skulle du göra? Motivera. (3 p)

Rumsakustik

15. Beräkna efterklangstiderna vid 125, 500 och 2000 Hz i ett rektangulärt rum med tegelväggar och med betong i tak och golv.
Rummets dimensioner är $l_x = 3{,}0$ $l_y = 4{,}7$ $l_z = 2{,}5$ [m].

16. En tom sal med måtten 8 × 7 × 3 meter har en efterklangstid på 1,6 sekunder vid 500 Hz.
    a) Vad blir efterklangstiden om man monterar upp tunga draperier med en area på 10 m^2 som hänger fritt i rummet, så att båda sidorna exponeras?
    b) Vad blir efterklangstiden om dessutom 40 vuxna studenter sitter som publik i salen?
    c) Vad är efterklangsradien i den tomma salen?
    d) Vad är efterklangsradien i salen med både draperier och studenter?
    e) Hur långt från en talare kan man anse ha goda lyssningsförhållanden i fallet med både draperier och elever?
    f) Skvalmusik spelas upp i en högtalare i den tomma salen och ger då en genomsnittlig ljudintensitetsnivå på 78 dB i det diffusa fältet. Hur mycket akustisk effekt strålas då ut av högtalaren?
    g) Vad blir diffusa ljudintensitetsnivån från högtalaren i föregående uppgift när draperierna är monterade?

17. En rektangulär hytt ska användas för akustisk inspelning av en elbas (med egen förstärkare+högtalare) på en musikstudio. Hytten har invändigt måtten $3 \times 4{,}3 \times 2{,}3$ m.

a) Beräkna frekvenserna för de tre lägsta rumsresonanserna i hytten. Antag $c = 340$ m/s.
b) Var i rummet finns trycknoder där man kan placera högtalaren för att i möjligaste mån undvika att excitera dessa resonanser? Rita.

18. Akustikerlärlingen Johan har genom en mätning kommit fram till följande rumsakustiska storheter i ett vardagsrum, vars volym är 50 m³ . Ett av resultaten är fel med mer än 10%.

$T = 0.82$ s (efterklangstiden)
$A = 11.43$ m² (ekvivalenta absorptionsarean)
$r_r = 0.47$ m (efterklangsradien)
$f_s = 225$ Hz (Schröders gränsfrekvens)

(a) Vilket mått är fel, och vilket värde borde det ha?

(b) Johan har tillgång till en effektkalibrerad ljudkälla med sinus och brus, en ljudnivåmätare, en kurvskrivare till nivåmätaren, och en startpistol med knallskott. På vilka sätt kan han ha använt dessa för sin mätning?

Placering av mikrofoner och högtalare

19. **Kamfiltereffekt och mikplacering**
Om en stark reflex t.ex. via golvet når mikrofonen strax efter direktljudet, kan interferensen mellan direktljud och reflex bli hörbar. För vissa frekvenser blir nivån 6 dB högre, för andra kan ljudet släckas ut nästan helt.

(a) Givet ett hårt golv, en höjd h över golvet för både källa och mikrofon, samt ett avstånd l mellan källa och mikrofon, ställ upp det uttryck som behövs för att beräkna de ”tysta” respektive de mest förstärkta frekvenserna. Rita strålgången så blir det lättare.
(b) Rita upp en skiss av frekvensgången (nivå som funktion av frekvens), med maxima och minima på rätt ställen, om $l = 4$ m och $h = 1{,}5$ m .
(c) Med bara *en* reflekterande yta så kan man aldrig få total utsläckning, eftersom reflexen har gått en längre väg, och därför är något svagare än direktljudet. Men kan man få total utsläckning om man har *flera* reflexer?

Flera ljudkällor

Bakgrund: (jfr också avsnitt 2.3.2 samt 12.2.11 i kompendiet) Betrakta fallet med en högtalare nära ett oändligt plant golv, dvs i s.k. fri halvrymd. Vi får då endast **en** spegelkälla. Spegelkällans bidrag till den totala ljudnivån beror av i vilken mån direktljudet och det reflekterade ljudet är **korrelerade** med varandra.

Eftersom det reflekterade ljudet är detsamma som en fördröjd version av direktljudet, blir frågan därför hur mycket **signalen liknar sig själv** som den var innan fördröjningen. Man brukar använda en korrelationskoefficient, som kan variera från +1 (positivt korrelerad, i fas) till 0 (okorrelerad) till –1 (negativt korrelerad, i motfas). För musik och tal, som hela tiden varierar, kan vi oftast anta att korrelationen är nära 0, om bara fördröjningen motsvarar flera våglängder. Detsamma gäller dock inte för periodiska testtoner.

Om källan och spegelkällan är mycket nära varandra (i förhållande till våglängden!), blir reflexens fördröjning mycket liten, och korrelationen blir nära +1.

För *helt okorrelerade* signaler ska *effekterna* adderas, medan för *helt korrelerade* signaler ska *trycken* adderas. *Delvis* korrelerade signaler måste behandlas mer ingående, men det gör vi inte i denna kurs.

20. **Nivå från flera ljudkällor**

(a) Om ljudnivån med en viss ljudkälla väljs till referens, 0 dB, hur hög blir då ljudnivån om flera likadana men okorrelerade ljudkällor tillkommer? Beräkna för fallen med 2, 3, 4, 5, 8 och 10 ljudkällor.

(b) Om ljudnivån med en viss ljudkälla väljs till referens, 0 dB, hur hög blir då ljudnivån om flera likadana och helt korrelerade ljudkällor tillkommer? Beräkna för fallen med 2, 3, 4, 5, 8 och 10 ljudkällor.

21. **Inverkan av högtalares placering i rum**

(a) Förklara varför man får störst nivåökning i basområdet, när en högtalare ställs intill väggen, riktad mot rummets mitt (två orsaker).

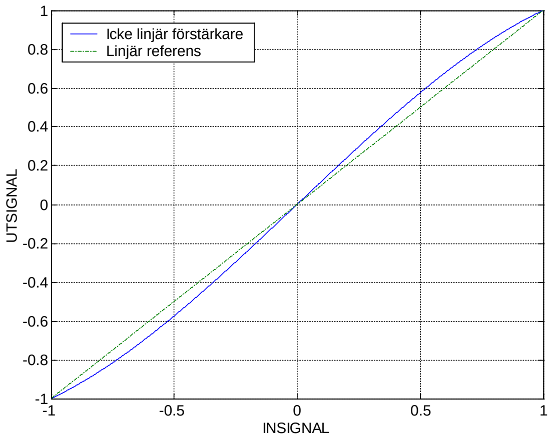
(b) Beräkna ljudnivåökningen när en rundstrålande högtalare ställs mycket nära en, två och tre väggar som är vinkelräta mot varandra.

Om vi har mer än tre väggar (sex väggar är vanligast) så blir det väldigt många spegelkällor. De flesta är dock så långt isär att korrelationen mellan dem blir liten för vanliga signaler. Men i små rum eller för låga frekvenser eller för stationära signaler har spegelkällorna alltid betydelse.

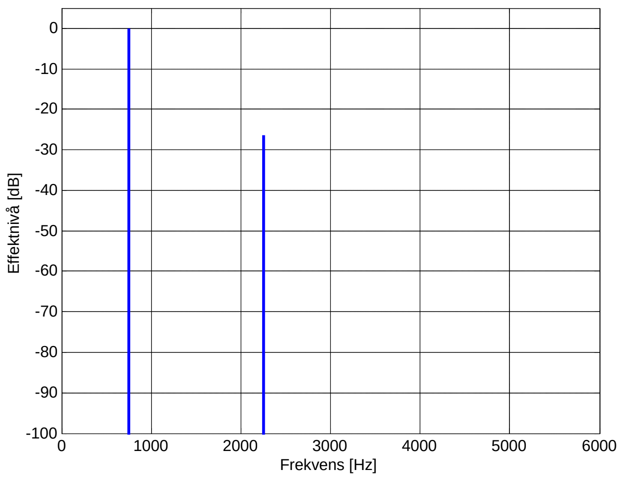
Signalers representation och distorsion

22. **Distorsion**

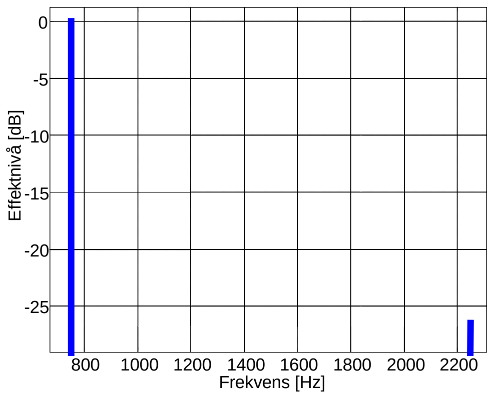
En sinuston går igenom ett litet förstärkarsteg för ljud. Förstärkaren är dock inte helt linjär. Figuren till höger visar förstärkarens beteende: Utsignal som funktion av insignal. Vore förstärkaren linjär så skulle insignalen vara direkt proportionell mot utsignalen.



När insignalen utnyttjar hela området från –1 till 1 fås följande effektspektrum för utsignalen (dvs. effekten som funktion av frekvensen). (Figur nedan)



FÖRSTORING:



a) Vilken är insignalens frekvens?

b) Vilken typ av distorsion rör det sig om? Motivera.

c) Distorsionen d hos en distorderad sinuston (en summa av sinustoner $1\ldots n$) kan beräknas med formeln

$$d = U_d / U_{tot} = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2} \Big/ \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2}$$

där U_n är amplituden för delton nummer n. Distorsion anges av konvention som ett förhållande mellan spänningar. Beräkna distorsionshalten i förstärkarens utsignal. Ange svaret i procent.

c) Beskriv hur nivåerna för de två topparna i effektspektrum ändras om vi minskar insignalens amplitud till en tiondel. Någon beräkning behövs ej, men motivera svaret.

23. I en ljudstudio har man gjort en inspelning med flera instrument på separata kanaler. Inspelningen sparas digitalt på hårddisk. D/A-omvandlarna arbetar med en samplingsfrekvens på 96 kHz samt en upplösning av 24 bitar. Inspelningen krävde 15 kanaler. Hur många byte/s går åt vid inspelningen?

24. Om vi vill säkerhetskopiera multikanalsinspelningen till en vanlig CD-skiva, hur lång inspelning får då ungefär plats i ovanstående fall på en vanlig CD-skiva. Antag att alla kanalerna används hela tiden, samt att en CD-skiva rymmer 650 Mbyte.

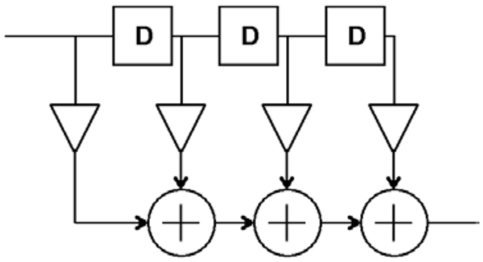
25. Vad är den teoretiska skillnaden i signal-störförhållande (SNR, i dB) mellan ett 16 bitars-system och ett 24 bitars-system?

26. En sinuston med frekvensen F skall samplas. Rita en tänkbar följd av sampelvärden om samplingsfrekvensen är (a) 5F (b) 2F (c) F (d) 0,6F (e) 0,5F

a) Rita så många perioder som behövs för att följden ska repetera.

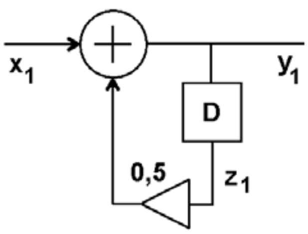
b) Hur kommer den resulterande samplade vågformen att låta i respektive fall när den spelas upp?

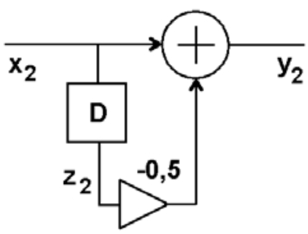
27. Ett filter gör en medelvärdesbildning av 4 på varandra följande sampel.



Om filtret matas med en sinussignal med toppvärdet 1, hur stark blir då signalen ut från filtret om signalens frekvens är 0 Hz, $f_s/8$, $f_s/4$, $3f_s/8$, eller $f_s/2$. Skissa filtrets tonkurva.

28. a) Räkna ut impulssvaret för nedanstående två filter:



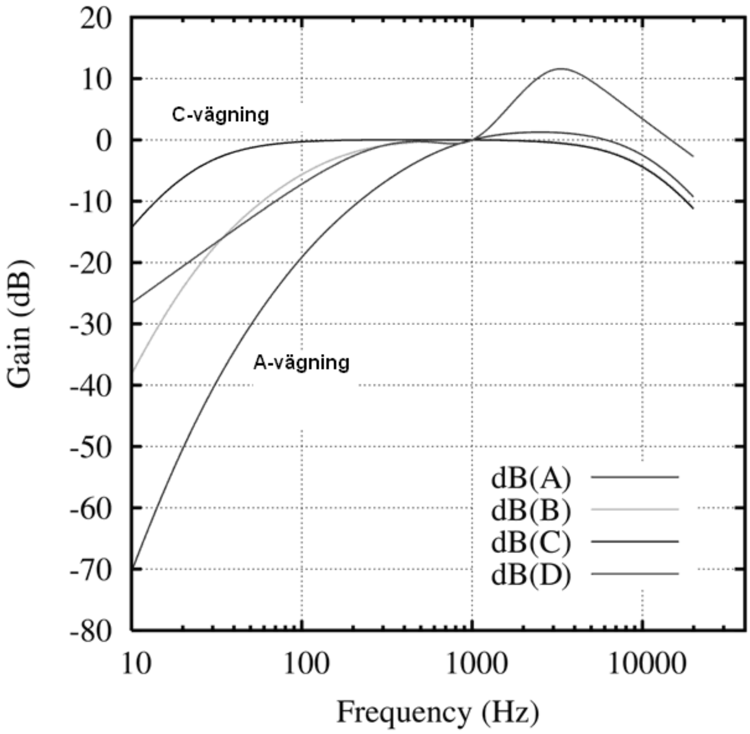


b) Om man kopplar de två filtren efter varandra, vad blir det då för impulssvar? Spelar ordningen någon roll?

Ljudnivåmätning

29. A-vägning

Ett medelspektrum av ljudet i en fabrikslokal hade två tydliga toppar: en vid 20 Hz och 88 dB, och en annan vid 1200 Hz och 72 dB. Ungefär hur mycket visar en nivåmätare om den är inställd på A-vägning resp. C-vägning?



30. **Ekvivalentnivån** (Tentamensuppgift från 2007 - hela extentor finns på kursens hemsida)

Bakgrund: Risken för hörselskador anses vara proportionell mot den totala *energi* som örat utsätts för, alltså *effekt* × *tid* (eller, om effekten varierar, integralen av effekten över tiden). Om buller-nivån varierar under en mätning så förenklar man därför till ett enda mätetal genom att ange den s.k. *ekvivalentnivån*, L_{eq} . Den beräknas genom att ta *medelvärdet av intensiteten* över det givna tidsintervallet, och sedan uttrycka den erhållna medelintensiteten som en nivå i decibel. Ekvivalentnivån blir på så vis den konstanta nivå som skulle ha resulterat i samma totala energi som den varierande nivån. Märk att L_{eq} alltså *inte* är tidsmedelvärdet av intensitets*nivån*, som ger ett annat resultat.

Ekvivalentnivå	Medelnivå
$L_{eq} = 10 \cdot \log\left(\dfrac{\frac{1}{T}\int_0^T J(t)dt}{J_{ref}}\right)$	$\overline{L}_J = \dfrac{1}{T}\int_0^T L_J(t)dt$

Uppgift: Inspektören från hälsovårdsnämnden har ålagt en discoägare att minska ekvivalentnivån på dansgolvet från 110 till 99 dB. Discoägaren tänker då (felaktigt) att detta är en minskning med 10%, och han lägger därför in 2 minuters tyst drinkpaus, var tjugonde minut—utan att ändra volymen på ljudet under de 18-minuters perioder som musiken pågår.

a) Beräkna med hur många decibel L_{eq} minskar, om man gör som discoägaren. Discomusikens nivå kan antas vara konstant. (3 p)

b) Beräkna hur mycket paus (i procent av hela tiden) som man egentligen måste lägga in för att L_{eq} verkligen ska minska till 99 dB, om ljudanläggningen fortfarande spelar med 110 dB när den spelar. (3 p)

c) Enligt skyddsnormerna, hur länge får man dagligen vistas på dansgolvet om ljudnivån vid 500 Hz är 110 dB? (2 p)

d) Om man trots allt skulle räkna ut tidsmedelvärdet av intensitetsnivån (”medelnivån” i tabellen ovan), skulle detta ge ett högre eller lägre värde än ekvivalentnivån? Motivera, eventuellt med ett exempel. (2 p)

Ledning: Ingen integralkalkyl behövs för att lösa uppgiften. Utnyttja att decibel uttrycker förhållanden.

---

31. Vilket ger högst ekvivalentnivå? Beräkna.

(1) En larmklocka som på det givna avståndet ger intensitetsnivån 96 dB, om den ljuder tolv sekunder var tjugonde minut,
(2) Ett ihållande bakgrundsbuller med 74 dB i korttidsmedelvärde.

Fler sammansatta problem

Dessa problem är representativa för tentamensuppgifterna, de brukar ge ca 10 p på tentan.

Uppgift 32. **På hög nivå.**

(a) Osannolikt svaga ljud: beräkna den ljudtrycksnivå som råder när ljudtrycket är $2 \cdot 10^{-6}$ Pa.
(b) Osannolikt starka ljud: Tryckförändringar i det statiska atmosfärstrycket, normalt ca 1010 hPa, orsakas av hög- och lågtryck i vädret, mellan extremerna 970 och 1050 hPa. Om man ser dessa tryckförändringar som ett extremt lågfrekvent ljud, vad är då dess ljudtrycksnivå? Antag en sinusformad variation.
(c) Visa, med hänvisning till relevanta relationer ur kompendiet, att de tunna diagonala strecken för den av källan avgivna effekten har rätt läge, rätt lutning och rätt inbördes avstånd (fig 2-3 i boken).

Uppgift 33. **Mysteriet med den vandrande talaren.**

(a) När hörseln lokaliserar en ljudkälla sker det på flera sätt. Dels bestäms ljudets infallsriktning mot lyssnaren (A), dels avgör hörseln om det uppfattade ljudet är ett direktljud eller en reflex (B). Har precedenseffekten att göra med (A) eller (B)? Motivera.
(b) Vilken av *del*figurerna på sidan 3-14 i kompendiet är mest relevant för att beskriva inverkan av en panoreringsratt på en mixer? Motivera.
(c) För en radioteaterproduktion ska du skapa en illusion av att en talare börjar tala helt nära lyssnaren, och sedan gradvis förflyttar sig allt längre bort i en stor tom hangar. Talarens röst finns studio-inspelad i mono med konstant nivå och utan efterklang. Diskutera i detalj vilka ljudmanipulationer som skulle kunna bidra till illusionen.

Uppgift 34. **Ljud eller oljud på dagis.**

a) Kvinnliga förskollärare är påtagligt överrepresenterade bland dem som söker hjälp vid landets talvårdskliniker för röstproblem. Röstforskare har funnit att förskollärare talar eller ropar under upp till 25% av tiden under en arbetsdag från 08.00 till 16.00. Till forskningsresultaten hör också att det genomsnittliga taltonläget (grundtonsfrekvensen) under denna tid är 25% högre än i normal samtalston. *Beräkna ungefär hur många gånger under hela arbetsdagen stämbanden slår ihop hos en kvinnlig förskollärare, under de givna betingelserna.*

b) Ljudnivån på ett visst dagis varierar med aktiviteten (lek, rast, lunch), men är i genomsnitt 78 dB, med den huvudsakliga energin vid frekvenser runt 500 Hz. *Kan denna miljö utgöra en fara för de vuxnas hörsel, enligt bullernormen för arbetarskydd?*

c) Allrummet på ett dagis i ett äldre stenhus befinns ha för hög ljudnivå. Personalen menar att barngruppen har blivit för stor, med 20% fler barn än det var tänkt från början. Akustikkonsulten menar istället att det är rummets inredning det är fel på. Genom att byta till bättre akustik-plattor i taket kan man sänka ljudnivån med 3 dB, hävdar hon. *Skulle nya plattor innebära en större förbättring än att återställa barngruppens storlek? Motivera, under antagandet att barnens röstlägen* **inte** *påverkas av åtgärderna (egentligen påverkas de, men det blir så krångligt då).*

Uppgift 35. **Rumsakustik**.

Vid planeringen av en konferens för 240 deltagare befarar man att den kala gamla aulan som ska användas för en av sessionerna kanske har för lång efterklangstid. Salens volym är knepig att uppskatta direkt p g a av dess oregelbundna form. Dock lyckas man konstatera att dess efterklangstid sjunker från 2,7 (tom aula) till 2,3 sekunder när 40 personer finns i salen.

(a) Beräkna salens volym

(b) Hur kort blir efterklangstiden när alla 240 anländer?

(c) När väldigt många kommer in, minskar ju faktiskt salens akustiska volym också något. Gör ett rimligt antagande om människokroppars volym och beräkna huruvida denna effekt kan vara något att bry sig om i detta fall.

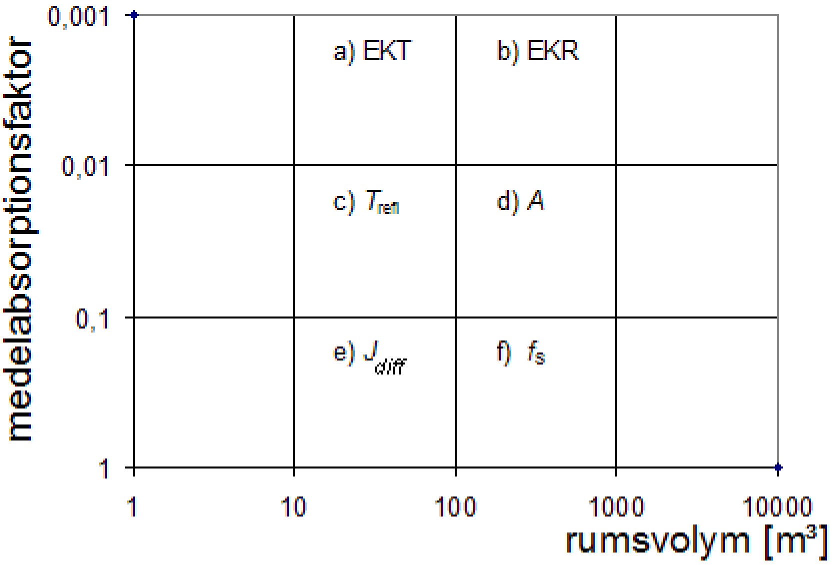
(d) Om man i den fullsatta salen vill spela ljudexempel med 75 dB ljudnivå på åhörarplats, hur många akustiska watt måste den rundstrålande högtalaren på podiet då kunna avge?

Uppgift 36. **Rumsakustik**

Rita av diagrammet nedan och rita sedan in enkla, raka pilar som visar i vilken riktning följande storheter ***ökar***, dvs någon av → ↗ ↑ ↖ ← ↙ ↓ ↘ . Skriv också en *kort* motivering för varje svar, med gjorda antaganden om så behövs (t ex att större rumsvolym V också medför en större total väggyta S .)

Efterklangstiden EKT

a) Efterklangsradien EKR
b) Genomsnittliga tiden T_{refl} till första ordningens reflexer (dvs ljud som har studsat precis en gång)
c) Ekvivalenta absorptionsytan A
d) Den diffusa intensiteten J_{diff}
e) Schroeders gränsfrekvens f_S



LÖSNINGAR

Uppgift 1.

$$c = 331.4 \cdot \sqrt{\frac{T}{273}}$$

$$\frac{c_{TROPIKERNA}}{c_{HÖST}} = \sqrt{\frac{273+40}{273}} \approx 1.071$$

SVAR: Skillnaden i ljudhastigheten är 7,1%.

Uppgift 2.

$$Z_0 = \frac{p}{v} = \rho_0 \cdot c \Rightarrow v = \frac{p}{\rho_0 \cdot c} \; .$$

”Partikelhastigheten är proportionell mot ljudtrycket och omvänt proportionell mot både ljudhastigheten och luftens densitet”.

Uppgift 3.

$$v = \frac{p}{Z_0} = \frac{1\left[N/m^2\right]}{400\left[Ns/m^3\right]} = 2.5 \cdot 10^{-3}\; m/s$$

SVAR: Partikelhastigheten är $2.5 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Uppgift 4.

Vågtalet k,

om kr << 1 akustiskt litet, våglängden >> föremålet
om kr >> 1 akustiskt stort, våglängden << föremålet
r = 0,15 m *kr* = 1 (Rund skiva, våglängden =omkretsen)

1. *k* = 1/r
2. *k* = ω/c=2π *f*/c⇒ *f* =kc/2π
[1&2] ⇒ f=c/2πr = 340/(2π*0.15) ≈ 360 Hz

SVAR: Skivan börjar få betydelse som akustisk reflektor vid 360 Hz.

Uppgift 5.

Eftersom det är tryck vi jämför så ska vi multiplicera logaritmen med 20:

$$L_p = 20 \cdot \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{3}{2 \cdot 10^{-5}}\right) = 103.5dB$$

Svar ljudtrycksnivån är 103.5 dB

Uppgift 6.

$$J = 10^{-5} W/m^2$$

$$a)\quad Lj = 10 \cdot \log\left(\frac{J}{J_{ref}}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{10^{-5}}{10^{-12}}\right) = 70dB$$

$$b)\quad S = 4\pi \cdot r^2 = 4\pi \cdot 25m^2$$

$$W = J \cdot S = 10^{-5} \cdot 10^2 \cdot \pi \approx 3.14mW$$

Här handlar det om ett förhållande mellan intensiteter (effekt/ytenhet), således ska logaritmen multipliceras med 10.

Svar: Ljudintensitetsnivån är 70 dB, och källan strålar ut en effekt av 3.14 mW.

Uppgift 7.
Vi antar att ljudet sprider sig likformigt över en halvrymd, dvs att högtalarna står på marken.

$$L_j = 10 \cdot \log\left(\frac{J}{J_{ref}}\right)$$

$$J = J_{ref} 10^{\frac{Lj}{10}} = 10^{8.5-12} = 10^{-3.5} W/m^2$$

$$S = \lceil \text{Halvsfär} \rceil = 2 \cdot \pi \cdot r^2 = 1250\pi\ m^2$$

$$W = J \cdot S = 1250\pi \cdot 10^{-3.5} = 1.24W$$

$$W_{in} = \frac{W_{ut}}{\eta} = 1.24/0.01 = 124W$$

SVAR: Slutsteget behöver leverera 124 W.

Uppgift 8.
a) Källorna är icke koherenta, dvs har inte samhörande frekvens och fas. De ska därför adderas på effektbasis. En fördubbling av effekten motsvarar ca 3 dB. Två fördubblingar ger ca 6 dB. SVAR: Hemmalagets vrål blir 6 dB starkare

b) Det låter mindre än dubbelt så starkt, se avsnitt 2.4.

Uppgift 9.

En oktav motsvarar en fördubbling av frekvensen. Logaritmlagarna ger ${}^{a}\log x = {}^{b}\log x \,/\, {}^{b}\log a$

$$20 \cdot 2^n = 20000$$

$$n = {}^{2}\log \frac{20000}{20} = \frac{{}^{10}\log 1000}{{}^{10}\log 2} \approx 9.97$$

SVAR: Knappt 10 oktaver ryms inom det hörbara området.

Uppgift 10.
a)

$$\sqrt{\frac{1}{t}\int_0^t |10\sin(t)|^2 dt} = \left[t = \frac{\pi}{2}\right] = \sqrt{\frac{2 \cdot 100}{\pi}\int_0^{\pi/2} \underbrace{\sin^2(t)}_{\frac{1-\cos(2t)}{2}} dt} = \sqrt{\frac{2 \cdot 100}{\pi} \frac{t + \sin(2t)}{2}\Bigg|_0^{\pi/2} dt} = \sqrt{\frac{200}{\pi}\frac{\pi}{4}} = \frac{10}{\sqrt{2}}$$

Svar: Effektivvärdet är **10/√2 Pa** för sinusvågen.

b) $$\sqrt{\frac{1}{t}\int_0^t |10|^2 dt} = \lceil t = 1 \rceil = \sqrt{100} = 10$$ Svar: Effektivvärdet är **10 Pa** för fyrkantvågen.

c) $$\sqrt{\frac{1}{t}\int_0^t |10t|^2 dt} = \lceil t = 1 \rceil = 10\sqrt{\int_0^1 t^2 dt} = \frac{10}{\sqrt{3}}$$ Svar: Effektivvärdet är **10/√3 Pa** för triangelvågen.

Uppgift 11. ca 57 dB ljudnivå, 30 phon hörnivå.

Uppgift 12. ca 94 dB.

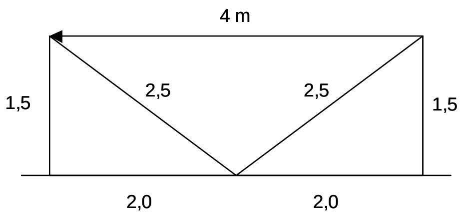
Uppgift 13. 40 dB

Uppgift 14. Exempel på lösning: Simulering av en binaural inspelning

(a) **Huvudets radie r kan uppskattas till ca 0.1 m, $k = 2\pi f / c$, $kr = 1$, ger**
$f = c\,k / 2\pi = 340 \cdot 10 / 2\pi = 540$ **Hz**
500 Hz duger som närmevärde.

(b) **En binaural inspelning består av två kanaler som ska levereras helt åtskilda, i hörlurar, till vänster och höger öra.**
1. Kopiera talsignalen till en ytterligare kanal. Vi har nu det som ska bli Vänster och Höger signal i varsin kanal.
2. Lågpassfiltrera Vänster vid 500 Hz enligt ovan. Vänster är nu ”skuggad av huvudet”.
3. Simulera löptidsskillnaden mellan öronen t ex genom att fördröja Vänster med 0,5 ms (ur figur 2-21 övre vänster). Man kan förslagsvis infoga 0,5 ms tystnad i början av Vänster kanal.
4. Höj nivån på Höger med 4 dB och sänk nivån på Vänster med 4 dB (ur figur 2-21 nedre höger, för talsignal).
5. [Finess, ej krav] Filtreringen av Vänster ger i sig en viss nivåsänkning. Mät den och kompensera för den.

(c)



Nu ska vi mixa in en signal till, nämligen markreflexen. Den är en kopia av originalet men ska vara lite svagare och senare eftersom den ska ha gått 5 meter istället för 4, se de s k egyptiska trianglarna ovan (med proportionerna 3:4:5). Antag att den hårda marken inte absorberar något alls. (Förlusten genom absorption mot marken är i nog alla fall försumbar jämfört med avståndsökningen.) Ljudtrycket är omvänt proportionellt mot avståndet, så reflexens amplitud ska multipliceras med 4/5 (eller minskas i nivå med 1,9 dB). Vägskillnaden är 1 meter vilket motsvarar 3 ms fördröjning. Detta ska anbringas var för sig på både Vänster och Höger.
(Man kan också tänka sig att sänka den totala ljudnivån litet för att simulera fyra meters avstånd, men vi vet inte på vilket avstånd originalet är inspelat och vi har ingen ljudtryckskalibrering av originalet.)

(d) **Nej, det blir nog väldigt lite skillnad, som i så fall skulle bero på att reflexen kommer snett nedifrån istället för rakt från sidan. Det blir samma löptidsskillnader och i stort sett samma ljudskugga för reflexen som för direktljudet. Det är därför antagligen smartare att först lägga på en reflex på den ursprungliga talsignalen i mono, och sedan simulera binaural stereo. Annars måste man ju tillverka även reflexljudet i stereo och sedan mixa ihop det med direktljudet i stereo.**

Uppgift 15.

bredd	3 [m]
längd	4,7 [m]
höjd	2,5 [m]
Volym	35,25 [m^3]

area *S* [m^2]		absorptionsfaktor *alfa* 125 Hz	500 Hz	2000 Hz
28,2	tak och golv, betong	0,01	0,02	0,02
23,5	(långväggar)			
15,0	(kortväggar)			
38,5	alla väggar, tegel	0,02	0,03	0,05

Absorptionsytor	*S*alfa* 125 Hz	500 Hz	2000 Hz
tak och golv	0,282	0,564	0,564 [m^2]
väggar	0,77	1,155	1,925 [m^2]
Total absorptionsyta	1,052	1,719	2,489 [m^2]

		125 Hz	*500 Hz*	*2000 Hz*
T_{60}	0,16*V/A	5,36	3,28	2,27 [s]

Uppgift 16.

a) $V_{RUM} = 7 \cdot 8 \cdot 3 = 168 m^3$

Tom sals absorptionsyta => $A_{TOM} = \dfrac{0.16 \cdot V_{RUM}}{T} = \dfrac{0.16 \cdot 168}{1.6} = 16.8 m^2$

Antag nu det enklaste fallet, att draperierna exponerar hela sin yta utan att skärma av någon vägg i rummet. Absorptionsyta för tunga draperier $A = \alpha \cdot S = 0.5 \cdot 20 = 10 m^2$

Ny total absorptionsyta $A = 16.8 + 10 = 26.8 m^2$

Ny efterklangstid $T = \dfrac{0.16 \cdot V}{A} = \dfrac{0.16 \cdot 168}{26.8} \approx 1.0 s$

b) Varje person har absorptionsytan 0.3 m^2 (Se sida 3-4 i kurslitt.)=> A=0.3*40=12 m^2

Ny total absorptionsyta $A = 16.8 + 10 + 12 = 38.8 m^2$

Ny efterklangstid $T = \dfrac{0.16 \cdot V}{A} = \dfrac{0.16 \cdot 168}{38.8} \approx 0.7 s$

c) Efterklangsradien $r_r = \sqrt{\dfrac{A}{16\pi}} = \sqrt{\dfrac{16.8}{16\pi}} \approx 0.58 m$

d) Efterklangsradien $r_r = \sqrt{\dfrac{A}{16\pi}} = \sqrt{\dfrac{38.8}{16\pi}} \approx 0.88 m$

e) Sida 3-7 –Taluppfattbarhetsprov 3.5 ggr efterklangsradien. => 3.1 meter.

f)

$$J_{DIFFUS} = \frac{4W}{A}$$

$$J = J_{ref} 10^{\frac{Lj}{10}} = 10^{-12+7.8} = 10^{-4.2} W / m^2$$

$$W = \frac{J_{DIFFUS} \cdot A}{4} = \frac{10^{-4.2} \cdot 16.8}{4} = 0.27 mW$$

0.27 mW akustisk effekt utstrålas från högtalaren.

g)

$$J_{DIFFUS} = \frac{4W}{A} = \frac{4 \cdot 0.27}{26.3} = 40.3 \mu W / m^2$$

$$Lj = 10 \cdot \log 40.3 \cdot 10^6 = 76 dB$$

Med draperierna blir ljudintensitetsnivån 76 dB.

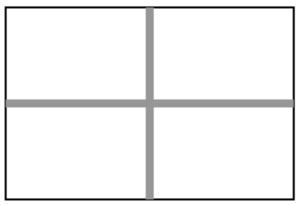
Uppgift 17.

$$f_{x,y,z} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{3}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{4.3}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{2.3}\right)^2}$$

De tre lägsta frekvenserna hittas för (n_x n_y n_z) = (0 1 0) , (1 0 0), (1 1 0) vilket motsvarar 40 Hz, 57 Hz samt 69 Hz.

b) Vi söker en eller flera platser i rummet som utgör en trycknod i alla tre moderna. (0 1 0) är moden som svarar mot en halv våglängd längs rummets längsta dimension (4,3 m) Den har en trycknodlinje som delar rummet i två halvor på längden, 4,3 / 2 m. (1 0 0) har en trycknodlinje som delar rummet i två halvor på bredden, 3/2 m. Moden (1 1 0) har två trycknodlinjer som sammanfaller med de två första. För att undvika två av resonanserna kan man ställa bashögtalaren var som helst på de mittlinjer som är parallella med rummets väggar. För att undvika alla tre måste högtalaren ställas i mittpunkten.

Sett uppifrån:



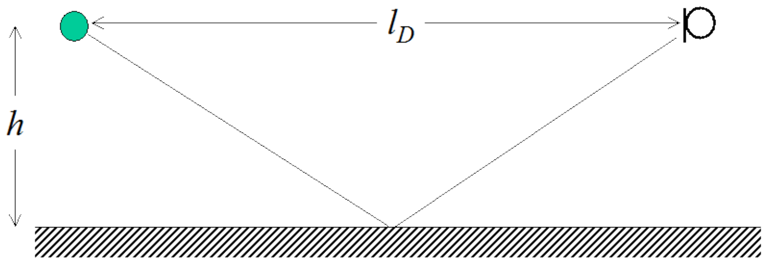
Uppgift 18.

a) Genom att sätta in värdena i bokens formler upptäcker man så småningom att värdet för *T* ska vara 0,7 s istället.

a) Med en effektkalibrerad källa och en ljudnivåmätare kan man använda sambandet *J* = *4W/A* för att räkna ut *A* . Alternativt kan man uppskatta efterklangsradien genom att se hur långt ut från ljudkällan som ljudnivån slutar falla. Med knallskott och kurvskrivare kan man mäta efterklangstiden direkt ur lutningen på den avklingande nivåkurvan.

b)

Uppgift 19.



a) När skillnaden Δl i väg mellan direkt och reflekterat ljud är lika med n hela våglängder får vi förstärkning. När Δl är en halv våglängd kortare får vi (nästan) utsläckning.

Vi har allmänt att $f = \dfrac{c}{\lambda}$, samt i detta fall att $\lambda = \dfrac{\Delta l}{n}$, och får därför

$$f_n = \frac{n \cdot c}{\Delta l} \qquad \text{respektive} \qquad f_n = \frac{\left(n - \frac{1}{2}\right) \cdot c}{\Delta l}$$

Vi söker uttrycket för Δl . Låt l_R vara vägen för den reflekterade vågen. Pytagoras' sats ger

$$l_R = 2\sqrt{\left(\frac{l_D}{2}\right)^2 + h^2}$$

och eftersom $\Delta l = l_R - l_D$ får vi

$$f_n = \frac{k_n \cdot c}{\left(2\sqrt{\left(\frac{l_D}{2}\right)^2 + h^2} - l_D\right)}$$

där $k_n = n$ för förstärkning och $n+½$ för utsläckning, $n \subset [\, 0, 1, 2, 3, ...[$

Fallet $n = 0$ gäller 0 Hz ("låga frekvenser") med +6 dB "nära" golvet.

b) Insättning av $l = 4$ och $h = 1,5$ i uttrycket för Δl ger $\Delta l = 1$ m . Med $c = 340$ m/s erhålls maxima på multiplar av 340 Hz och minima på 170 + n·340 Hz .

Trycken av det direkta och det reflekterade ljudet adderas vid mikrofonen. Eftersom det reflekterade ljudet har gått 5 m istället för 4 m, gör avståndslagen att det reflekterade ljudets tryck är 80% av direktljudets (komp. 1.5.1). Amplituden på maxima blir 100% + 80% relativt direktljudet ensamt.
Den totala nivån, relativt direktljudet ensamt, blir då 20·log(1,8) = +5,1 dB.
För minima ligger ljuden i motfas och amplituden blir 100% minus 80%. Den totala nivån blir 20·log(0,2) = -14,0 dB.

d) Eftersom trycken adderas, kan vi tänka oss att vi t ex har två väggar som ger två samtidiga reflexer, vardera med 50% av direktljudets amplitud, och i motfas. Då blir det 100-2·50 = 0% dvs helt tyst på vissa frekvenser enligt ovan.

Uppgift 20.

a) Om ljudkällorna är okorrelerade ska de adderas på effektbasis. Vi använder alltså faktorn 10 framför logaritmen och får 10·log(2), 10·log(3), 10·log(4), osv.

Svar: 3,01 4,77 6,02 6,99 9,03 10,00 dB .

b) Om ljudkällorna är helt korrelerade (endast amplituden kan skilja) ska de adderas på tryckbasis. Vi använder alltså faktorn 20 framför logaritmen och får 20·log(2), 20·log(3), 20·log(4), osv.

Svar: 6,02 9,54 12,04 13,98 18,06 20,00 dB .

Uppgift 21.

a) Vid låga frekvenser är högtalarna rundstrålande och nära väggen, jämfört med våglängden. Därför blir korrelationen hög mellan källan och spegelkällan. Vidare är högtalaren akustiskt stor vid höga frekvenser och därför inte rundstrålande. Diskanten går rakt fram och påverkas inte nämnvärt av väggen.

b) Varje ny vägg fördubblar antalet källor. Med en vägg har vi två källor (originalet och reflexen), med två väggar har vi fyra källor, och med tre väggar har vi åtta. Eftersom källorna är mycket nära varandra betraktar vi signalerna som korrelerade. Svaren finns då i lösningen till uppgift 6b: +6, +12 och +18 dB.

Uppgift 22.

a) 750 Hz (Överton=3*750=2250 Hz)
b) Harmonisk distorsion, tredjetonsdistorsion
c) $L_1 \approx 0$ dB, $L_3 \approx -26.5$ dB => $20\cdot\log_{10}(U_1/U_3) = 26{,}5 = L_\Delta$

$$\frac{U_1}{U_3} = 10^{\frac{L_\Delta}{20}}$$

$$d = U_d / U_{tot} = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2} \Big/ \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2} = \sqrt{U_3^2} \Big/ \sqrt{U_1^2 + U_3^2} = \sqrt{\frac{U_3^2}{U_1^2 + U_3^2}} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{\frac{U_1^2}{U_3^2} + 1}} = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{U_1}{U_3}\right)^2 + 1}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 10^{\frac{L_\Delta}{10}}}} \approx 0.0473 \approx 5\%$$

d) När IN-amplituden minskar kommer vi att använda ett mindre område av förstärkarens arbetsområde. Det lilla området kommer att bete sig mer linjärt än det stora området (se figuren överst i uppgiften). Därför kommer distorsionen att minska, dvs. nivådifferensen mellan grundton och överton kommer att minska.
Dessutom minskar den absoluta nivån eftersom insignalen har blivit 20 dB svagare. Således, grundtonen kommer att minska, men övertonen kommer att minska ännu mera.

En exakt beräkning visar att grundtonen minskar med 19 dB och övertonen med 60 dB.

EXAKT BERÄKNING: (Inte nödvändigt, men bra för förståelsen)
$UT(IN) = A \cdot IN - B \cdot IN^3 = A \cdot \sin(\omega t) - B \cdot \sin^3(\omega t) = (A - 3/4 \cdot B) \cdot \sin(\omega t) + B/4 \cdot \sin(3\omega t)$
$(A - 3/4 \cdot B) / (B/4) = 21 \Rightarrow 4A-3B=21B \Rightarrow A=6B$
Dessutom ger UT(1)=1 => A-B=1
6B-B=1 =>B=0.2 A=1.2

SVAR: $UT(IN) = 1.2 \cdot IN - 0.2 \cdot IN^3$
Amplitud = 1:
$1{,}2 \sin(\omega t) - 0{,}2 \sin^3(\omega t) = (21/20) \cdot \sin(3\omega t) - 0{,}05 \sin(3\omega t)$
Amplitud = 0,1:
$0{,}12 \sin(\omega t) - 2 \cdot 10^{-4} \sin^3(\omega t) = (0{,}12 - 1{,}5 \cdot 10^{-4}) \cdot \sin(\omega t) - 5 \cdot 10^{-5} \sin(3\omega t)$
Grundtonen minskar med en faktor $(21/20) / (0{,}12 - 1{,}5 \cdot 10^{-4}) \approx 8{,}76$ ggr => ≈19 dB
Övertonen minskar med en faktor 1000 => 60 dB

Uppgift 23. 96k*24/8*15=4.32 Mbyte/s. Svar: 4.32 Mbyte/s

Uppgift 24. 650/4.32/60=2.5077 min. En CD-skiva rymmer då 2½ minuts inspelning.

Uppgift 25. För varje bit vi lägger till, så får vi dubbelt så många kvantiseringsnivåer
=> Fördubblar det användbara amplitudområdet.
Fördubbling av amplitud motsvarar ca 6 dB.
8 bitars skillnad ger 8 fördubblingar => $8 \cdot 6$ dB = 48 dB.
Alternativ exakt lösning: $20 \cdot \log_{10}(2^{24}/2^{16}) = 48.2$ dB

Uppgift 26. Se figur på nästa sida.

Uppgift 27.

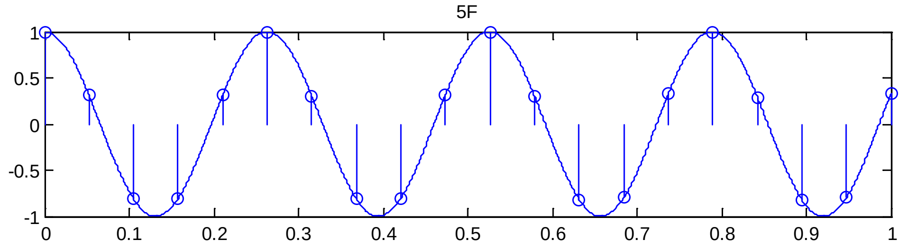
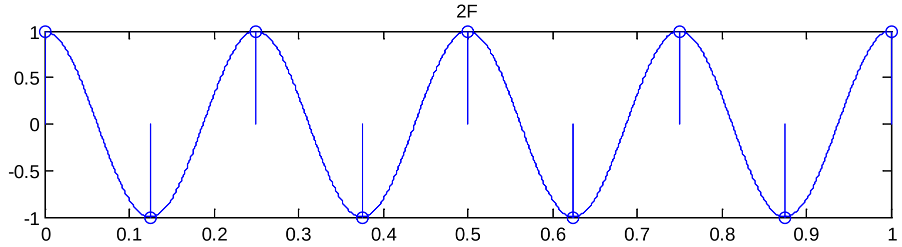
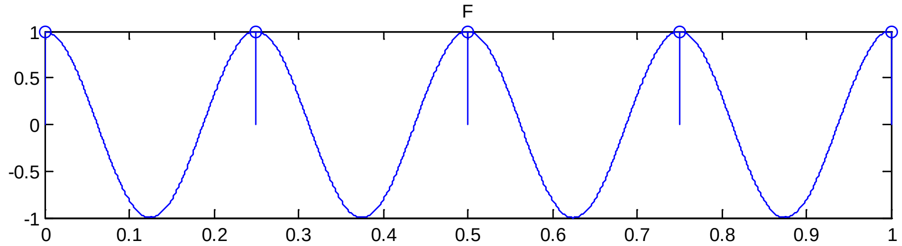
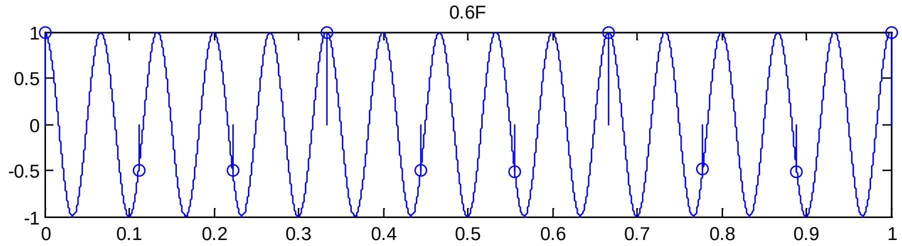
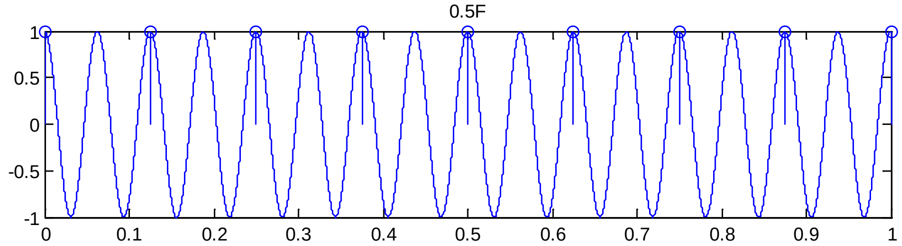
Innehållet i de tre fördröjningarna är okänt när beräkningen startar. Därför går det inte att räkna ut utsignalen förrän vi har kommit till fjärde samplet i insignalen.

Om vi först antar att förstärkarblocken har en förstärkning på 1 blir utsamplen summan av fyra på varandra följande sampel:

Sampel nr	0		$f_s/8$		$f_s/4$		$3 \cdot f_s/8$		$f_s/2$	
	In	Ut	In	Ut	In	Ut	In	Ut	In	Ut
0	1,0	?	1,0	?	1,0	?	1,0	?	1,0	?
1	1,0	?	0,7	?	0,0	?	-0,7	?	-1,0	?
2	1,0	?	0,0	?	-1,0	?	0,0	?	1,0	?
3	1,0	4,0	-0,7	1,0	0,0	0,0	0,7	1,0	-1,0	0,0
4	1,0	4,0	-1,0	-1,0	1,0	0,0	-1,0	-1,0	1,0	0,0
5	1,0	4,0	-0,7	-2,4	0,0	0,0	0,7	0,4	-1,0	0,0
6	1,0	4,0	0,0	-2,4	-1,0	0,0	0,0	0,4	1,0	0,0
7	1,0	4,0	0,7	-1,0	0,0	0,0	-0,7	-1,0	-1,0	0,0
8	1,0	4,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0
9	1,0	4,0	0,7	2,4	0,0	0,0	-0,7	-0,4	-1,0	0,0
10	1,0	4,0	0,0	2,4	-1,0	0,0	0,0	-0,4	1,0	0,0

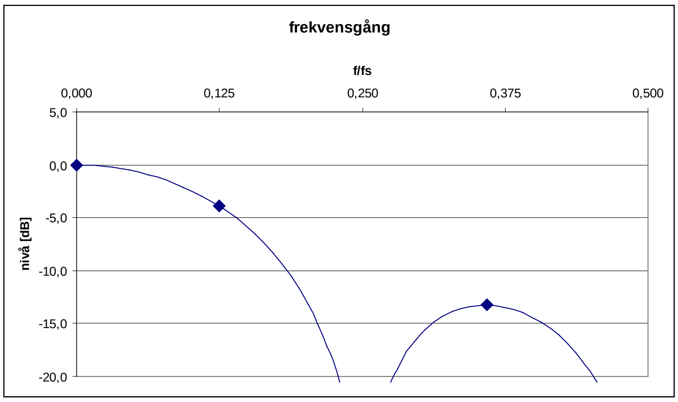
Eftersom filtret ska vara medelvärdesbildande, blir utsignalen ¼ av tabellvärdena.

(Uppgift 26, figur)

Låter lika.	
Ett gränsfall. Låter lika, men bara i det undantagsfallet att samplingen inträffar som i bilden.	
Låter inte alls. (0 Hz)	
Låter med en lägre frekvens. Observera att den nya tonen fortfarande är en sinus.	
Låter inte alls. (0 Hz)	

(uppgift 27, fortsättning)

Man ser att frekvensgången har nollställen vid $f_s/2$ och $f_s/4$. Däremellan är beloppet större än noll och starkare mot låga frekvenser. De exakta amplituderna kan bestämmas, men uppgiften var att *skissa* frekvensgången så vi nöjer oss med en figur liknande den nedan.

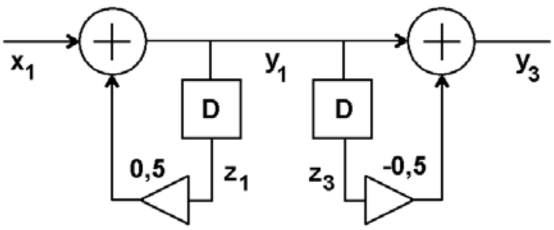


Uppgift 28.
Impulssvaren blir:

(a)	x1	z1	y1=x1+0,5·z1	
0	1	0	1+0,5·0 =	1
1	0	1	0+0,5·1 =	0,5
2	0	0,5	0+0,5·0,5 =	0,25
3	0	0,25	0+0,5·0,25 =	0,125
4	0	0,125	0+0,5·0,125 =	0,0625
5	0	0,0625	0+0,5·0,0625 =	0,003125

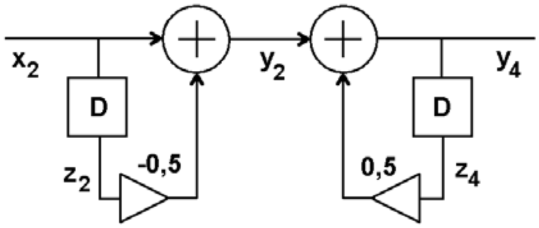
(b)	x2	z2	y2=x2-0,5·z2	
0	1	0	1-0,5·0 =	1
1	0	1	0-0,5·1 =	-0,5
2	0	0	0-0,5·0 =	0
3	0	0	0-0,5·0 =	0
4	0	0	0-0,5·0 =	0
5	0	0	0-0,5·0 =	0

(c)



	x1	z1	y1=x1+0,5·z1		z3	y3=y1-0,5·z3	
0	1	0	1+0,5·0 =	1	0	1-0,5·0 =	1
1	0	1	0+0,5·1 =	0,5	1	0,5-0,5·1 =	0
2	0	0,5	0+0,5·0,5 =	0,25	0,5	0,25-0,5·0,5 =	0
3	0	0,25	0+0,5·0,25 =	0,125	0,25	0,125-0,5·0,25 =	0
4	0	0,125	0+0,5·0,125 =	0,0625	0,125	0,125-0,5·0,25 =	0
5	0	0,0625	0+0,5·0,0625 =	0,003125	0,0625	0,0625-0,5·0,125 =	0

(d)



	x2	z2	y2=x2-0,5·z2		z4	y4=y2+0,5·z4	
0	1	0	1-0,5·0 =	1	1	1+0,5·0 =	1
1	0	1	0-0,5·1 =	-0,5	0	-0,5+0,5·1 =	0
2	0	0	0-0,5·0 =	0	0	0+0,5·0 =	0
3	0	0	0-0,5·0 =	0	0	0+0,5·0 =	0
4	0	0	0-0,5·0 =	0	0	0+0,5·0 =	0
5	0	0	0-0,5·0 =	0	0	0+0,5·0 =	0

Dvs impulssvaren för de två seriekopplade filtren är likadana. De är dessutom en impuls, vilket betyder att filtren råkar vara varandras invers; deras överföringsfunktioner tar ut varandra.

Uppgift 29.
Svar: A-vägning 72 dB. Toppen vid 20 Hz dämpas så kraftigt av A-vägningen att den kan försummas. C-vägning: 83 dB (88-5) – C-kurvan dämpar 5 dB vid 20 Hz, och toppen vid 1200 Hz är så mycket svagare att den kan försummas.

Uppgift 30.
Det svåra med det här problemet är att inse hur enkelt det egentligen är. Man behöver förstå sambanden mellan effekt, intensitet och energi, och att nivåer i dB uttrycker kvoter.

a) Totala energin och därmed också medelvärdet av intensiteten minskar till $\frac{18}{20}$ av vad de var innan. ΔL blir alltså $10\log\left(\frac{18}{20}\right) \approx -0{,}45\,\text{dB}$.
Svaret kan lämpligen avrundas: **0,5 dB lägre**.

b) Vi söker den faktor som motsvarar en minskning med 110-99 = 11 dB.
$10^{\left(\frac{-11}{10}\right)} \approx 0{,}079$ eller ca 8% . Man måste alltså ha paus **92% av tiden** för att få 11 dB minskning av ekvivalentnivån. Då blir tidsmedelvärdet av intensiteten 8% av vad den är om musiken spelar oavbrutet.

c) I kompendiets figur 3-11 ser vi att punkten 110 dB, 500 Hz ligger mellan kurvorna för <20 minuter och <5 minuter, och enligt texten är det kurvan närmast ovanför som gäller. Svaret är alltså **högst 5 minuter**.

d) Om man t ex har ett ljud som halva tiden ligger på 100 dB och halva tiden ligger på 90 dB så blir medelnivån 95 dB. Eftersom 10 dB minskning innebär att intensiteten sjunker med en faktor 10, så ändras medelintensiteten (jämfört med oförändrade 100 dB) med en faktor (*forts.*)

$$0,5+\frac{0,5}{10}=0,55\ .$$

ΔL blir då $10\cdot\log(0,55)\approx -2,6$ dB , och ekvivalentnivån blir 100-2,6=97,4 dB vilket är mer än 95 dB. Medelnivån är alltid **lägre** än ekvivalentnivån. (Därför hade den passat discoägaren bättre...)

Uppgift 31.

20 minuter är 20 × 60 = 1200 sekunder, så tolv sekunder är 1% av den tiden. Den ekvivalenta intensiteten blir då 1% av larmets intensitet när det ljuder.

10 log (0,01) ≈ -20 dB. 96 – 20 = 76 , vilket fortfarande är högre än 74 dB.

Svar: (1) ger högst ekvivalentnivå.

Uppgift 32.

(a) $$L_P = 20\cdot\log\left(\frac{p}{p_{ref}}\right) = 20\cdot\log\left(\frac{2\cdot 10^{-6}}{2\cdot 10^{-5}}\right) = -20\ \text{dB}$$

(b) Topp-amplituden p_{topp} = (1050-970)/2= 40 hPa.

Sinusformad svängning ger att effektivärdet är $\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot p_{\text{topp}}$.

$$L_P = 20\cdot\log\left(\frac{p}{p_{ref}}\right) = 20\cdot\log\left(\frac{40\cdot 10^{2}}{\sqrt{2}\cdot 2\cdot 10^{-5}}\right) = 163\,\text{dB}$$

(c) *Streckens lutning*: Trycket är omvänt proportionellt mot avståndet, tio gånger avståndet ska ge tio gånger mindre tryck eller –20 dB. Bekräftas genom mätning i figuren.

Streckens läge: enligt figuren ger 1μW på 1 m avstånd en ljudnivå om 49 dB. Antag att det är intensitetsnivån. Kontrollera intensiteten:

$$J = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{10^{-6}}{4\pi} = 7,96\cdot 10^{-8}$$

$$L_J = 10\cdot\log\left(\frac{J}{J_{ref}}\right) \approx \frac{8\cdot 10^{-8}}{10^{-12}} = 49\,\text{dB}$$

Streckens inbördes avstånd: från en diagonal till nästa ökar effekten tusen ggr, dvs $10\cdot\log(1000) = 30$ dB, vilket stämmer med figuren.

Uppgift 33.

(a) Precedenseffekten har med (B) att göra. Reflexer anländer alltid något senare än direktljudet och undertrycks av hörselsinnet. Det är det först anlända ljudet (det som har precedens) som vi varseblir.

(b) Panoreringsratten inverkar endast på signal*nivåerna* i vänster och höger kanal. Det är den vänstra delen av figur 3-21 (Subjektivt uppfattad infallsvinkel) på sidan 3-14 som är mest relevant.

(c) Ljudnivån för **direktljudet skall avta** med 6 dB för varje fördubbling av det skenbara avståndet. **Efterklangsljudet**s nivå skall vara konstant. **Diskanten i direktljudet skall sjunka** något litet snabbare än hela ljudets nivå (sträckdämpning). Golvet i en hangar är antagligen hårt och plant. En simulerad **golvreflex**, vars fördröjning och nivåskillnad relativt direktljudet blir allt *mindre* med ökande avstånd kommer därför att bidra till illusionen (**kamfiltereffekt**). En hangar är stor, även **hörbara ekon** kan förekomma.

Uppgift 34.

a) Kvinnors medelgrundtonsfrekvens (200 Hz × 1,25) i (8 timmar × 0,25) ger
   250 × 8 × 0,25 × 3600 = $\mathbf{1{,}8\times10^6}$
b) Figur 3-11, 78 dB vid 500 Hz ligger under riskgränsen. Svar: **nej**.
c) 20% fler barn innebär att nivån i snitt har ökat med 10×log(1,2)≈**0,8 dB**. Nya plattor skulle innebära en större förbättring. (I praktiken hjälper nog en minskning av barngruppens storlek mer, eftersom ”party-effekten” avtar och de enskilda barnens röstnivå sjunker.)

Uppgift 35.

$$T_0 = 0{,}16\frac{V}{A_0}$$

$$T_{40} = 0{,}16\frac{V}{A_{40}} = 0{,}16\frac{V}{A_0 + 40A_m}$$

Två fall med samma V men olika A. Vi vet *skillnaden* i A

$$\frac{T_0}{T_{40}} = \frac{A_0 + 40A_m}{A_0} = 1 + \frac{40A_m}{A_0}$$

$$A_0 = \frac{40A_m}{\frac{T_0}{T_{40}} - 1} = \frac{40\cdot 0{,}3}{\frac{2{,}7}{2{,}3} - 1} = 69m^2$$

och kan efter en stund lösa ut A_0

$$V = \frac{T_0\cdot A_0}{0{,}16} = \frac{2{,}7\cdot 69}{0{,}16} = \underline{1164m^3}$$

som i sin tur ger V

$$T_{240} = 0{,}16\frac{V}{A_0 + 240A_m} = 0{,}16\frac{1164}{69 + 240\cdot 0{,}3} = \underline{1{,}32s}$$

och nya värdet på T.

$$V_m = \frac{m_m}{\rho_m} \approx \frac{80}{1000} = 0{,}08m^3$$

Kroppens densitet ≈ 1000 kg/m³

$$240V_m = \underline{19{,}2m^3 << 1164m^3}$$

”på åhörarplats” ⇒ utanför r_r ⇒ diffus intensitet

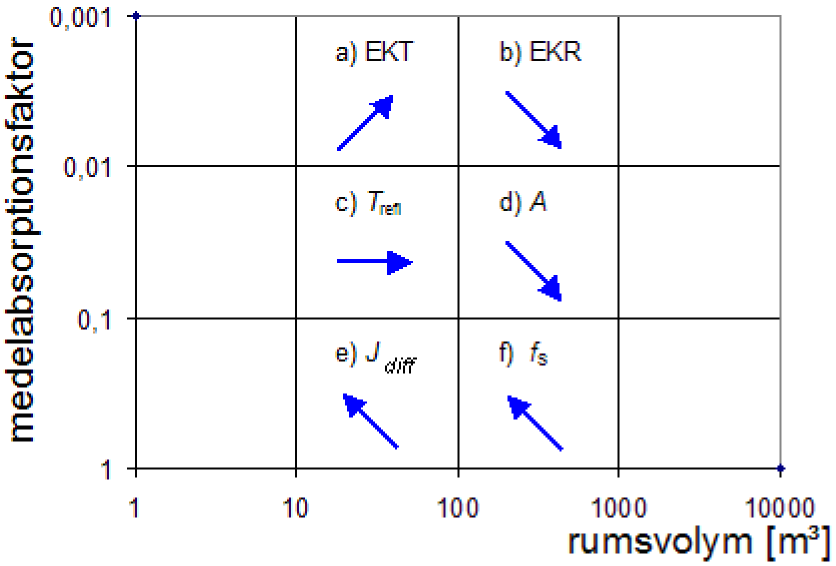
$$W = \frac{J\cdot A_{240}}{4} = \frac{10^{-12}\cdot 10^{75/10}\cdot(69 + 240\cdot 0{,}3)}{4} = \underline{1{,}1mW}$$

Uppgift 36.

För att reda ut sammansatta beroenden av rumsvolymen, konstaterar vi först, att om rummets volym V är proportionell mot rummets radie (eller sidolängd) i kubik R^3, så är väggytan (och under konstant α även absorptionsytan A) proportionell mot R^2. Vi får då proportionaliteterna nedan till vänster (här angivna med symbolen $\triangleright$).

$T = 0{,}16\dfrac{V}{A} \Rightarrow T \triangleright \dfrac{R^3}{R^2} \triangleright R$ $r_r = 0{,}056\sqrt{\dfrac{V}{T}} \Rightarrow r_r \triangleright \left(\dfrac{R^3}{R}\right)^{½} \triangleright R$ $r_r = \sqrt{\dfrac{A}{16\pi}} \Rightarrow r_r \triangleright \left(R^2\right)^{½} \triangleright R$ $f_S = 1900\sqrt{\dfrac{T}{V}} \Rightarrow f_s \triangleright \left(\dfrac{R}{R^3}\right)^{½} \triangleright \dfrac{1}{R}$	Dvs T och r_r ökar båda om rummets storlek ökar, medan f_S minskar. c) absorptionen påverkar inte löptiden e) $J_{absorberad}$: intensitet är effekt per ytenhet, dvs den totala arean spelar ingen roll. Märk också att $J_{absorberad}$ inte är riktigt samma sak som den diffusa intensiteten.

Kombinerat med beroendena av absorptionen i standardformlerna får vi då att
(a) EKT ökar när rumsvolymen ökar och absorptionsfaktorn minskar, alltså $\nearrow$. Och så vidare.



Om man istället antar att väggytan och volymen *inte* samvarierar, så måste man vara konsekvent i alla deluppgifter för att få full poäng. Många förvillas av att α ökar *nedåt* i figuren. I (e) får man poäng för $\swarrow$ om man konstaterar att för minskande volym så koncentreras en konstant käll-effekt på en mindre A. Annars $\downarrow$.