

Akusztika

Dr. Wersényi György
SZE

- Időpontok:
 - szept 29-30,
 - okt 13-14,
 - nov 17-18,
 - dec 1-2.
- szerda: 13:30- kb. 17:00, csütörtök: 8:30-12.
- Összesen 4 alkalom * 9*45 perc
- Számonkérés: írásbeli teszt és gyakorlati munka
- Letöltések (pdf):
<http://vip.tib.sze.hu/~wersenyi/index.html>

Tematika

- A hallás folyamata. Teremakusztikai alapfogalmak, visszaverődések szerepe, távolság és irányhallás. Hangképzés, a beszéd és a hangok fizikai jellemzői. Hanghullámok és rezgés tan.
- A dinamikus hangszóró felépítése, működése. Mikrofonok (dinamikus, kondenzátor, szalag) felépítése, érzékenysége, iránykarakterisztikái. Fejhallgatók (dinamikus, mágneses) átvitele.
- Rögzítők. Analóg, digitális, optikai eszközök. Mágnesszalagos analóg és digitális rögzítők működése, felépítése.
- A stúdió felépítése. Felvétel, lejátszás, montírozás. A keverőasztal elemei: szintszabályozók, iránykeverők, szűrők, kivezérlés-mérők, effektek (zengés, visszhang, kórus).

Bevezető, ismétlés

Az átviteli út



A hang

- A hang gázokban és folyadékokban longitudinális nyomáshullám (hangnyomás).

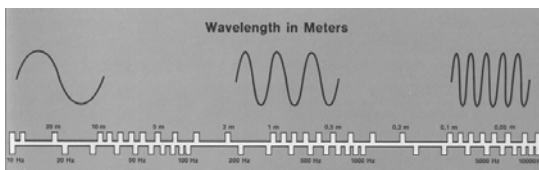
Sűrűség-hullám



- A közeg részecskéi egymásnak ütdve adják tovább az energiát (sűrűsödések és ritkulások).
- Terjedéshez szükség van valamilyen közegre (vákuumban nem terjed a hang) mert csak a rezgésállapot terjed, nem a részecske
- Léteznek fizikai mennyiségek, melyekkel a hangteret leírjuk, megmagadjuk.

Frekvencia, hullámhossz

- Frekvencia: másodpercenkénti rezgések száma [1/s], [Hz]
- 1 kHz = 1000 Hz = 10^3
- Hullámhossz: egy periódus méterben mért hossza [m]
- $\lambda = c/f$, ahol c a terjedési sebesség, f a frekvencia.
Következmény: más közegben más hullámhosszú ugyanaz a frekvenciájú hullám.



Hangnyomás (amplitúdó)

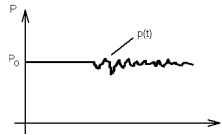
- $p = f/A$ a hangnyomás [Pa] [N/m^2]
ahol f a levegőrészecskék által kifejtett erő az $A=1 \text{ m}^2$ felületre.

$p(t)$ időfüggvény,

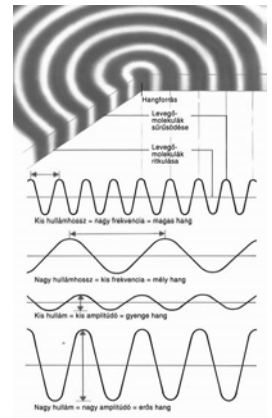
P_0 atmoszféranyomás $\sim 10^5 \text{ Pa}$

A hangnyomás skalár (nem vektor) mennyiség, a hangtérre jellemző.

1 Pa hangnyomás nagy érték?



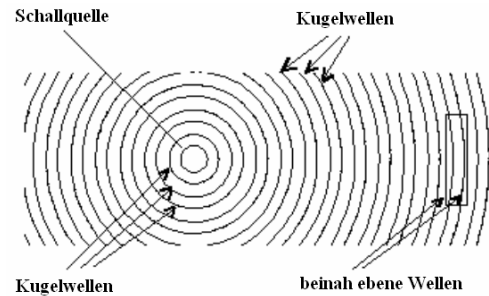
- A magas hangok irányítottabbak, de nem terjednek olyan messzire (villám!)
- A mélyhangok hangszóróval nehezen sugározhatók le



Hangintenzitás

- Időegység alatt felületegységen áthaladó (hang)energia $I = \text{intenzitás}$ [W/m^2]
- Az intenzitás vektormennyiség: van iránya is.
- Az intenzitás ún. teljesítmény jellegű mennyiség (a hangnyomás négyzetével arányos).
- A hangintenzitás értéke $1/r^2$ szerint csökken a hangforrástól távolodva (r a távolság). A (hang)nyomás azonban csak $1/r$ -szerint változik.
- Ez csak ideális ún. gömbhullámú szabadtéri terjedésnél igaz.
- Gömbhullám, síkhullám?

Gömbhullám és síkhullám



A hang sebessége

- A hang terjedési sebessége függ a közeg anyagától, hőmérsékletétől, sűrűségétől.

$$c = \sqrt{\frac{1,4P_0}{\rho}}$$

ahol P_0 a 10^5 Pa atmoszféranyomás, ρ pedig a levegő sűrűsége: $1,3 \text{ kg/m}^3$.

Ebből $c = 328 \text{ m/s}$.

Ettől azonban lényegesen is eltérhet a valóságos érték, különösen a hőmérséklet függvényében változó. Szobahőmérsékleten (20°C) a **344 m/s** átlagos értékkel számolhatunk, ha más nincs megadva.

A hang sebessége

- Terjedési sebesség függ
 - a közegtől
 - hőmérséklettől
- Levegőben 0 fokon esetén 332 m/s (1200 km/h)
+1 fok = $+0,6 \text{ m/s}$
- Egyéb példák:
 - Hélium 927 m/s
 - 15 fokon víz 1437 m/s
 - acél 5000 m/s
- A hang lassabb sűrűbb és gyorsabb keményebb anyagban (erősebb rugók, erősebb belső kötések)
- A rezgésállapot terjed, nem a részecskék!
- Mechanikai sűrűség $\neq$ akusztikai sűrűség
- Szuperszónikus: nagyobb, mint 1 Mach
- Mérés:
 - Ágyúlövés- és fellvillanás
 - 1636-ban: 448 m/s , 1738-ban: $337,18 \text{ m/s}$



A logaritmus és a decibel

- A hangnyomásnak és az intenzitásnak is létezik dB-ben megadott szintje. Nagyon kell ügyelni arra, hogy ezeket ne keverjük össze egymással.
- A hangnyomásszint:

$$P = 20 \cdot \log(P/p_0) \quad [\text{dB}]$$
 ahol $p_0 = 20 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} = 20 \text{ } \mu\text{Pa}$.
- Az intenzitásszint:

$$I = 10 \cdot \log(I/i_0) \quad [\text{dB}]$$
 ahol, $i_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

A hangnyomásszint vonatkoztatási értéke p_0 nem ugyanaz, mint az atmoszféranyomás P_0 értéke! A hangnyomásszint angolul Sound Pressure Level, rövidítve SPL.

Mire jó logaritmus és a dB?

- A logaritmikus lépték használata nagyon elterjedt az akusztikában:
 - az érzékelés, a hallásunk logaritmikus érzékenységgű, az ún. szubjektív hangosság érzet a mennyiségek logaritmusával arányos.
 - a minimum és maximum határok nagyon nagyok frekvenciában és amplitúdóban is, ezért a logaritmikus skálázás könnyebb.
 - a számolás egyszerűbb a mennyiségek összeadásával, kivonásával, mint szorzással és osztással, pld. erősítők esetén.

- Példa:
- $\log 100 = 2$, mert $10^2 = 100$.

Három feszítéserősítőt kapcsolunk egymás után, az első tízszeresére, a második nyolcszorosára, a harmadik kétszeresére erősíti a bementére jutó feszültséget.

$$x10 = +20\text{dB} \quad (20 \cdot \log 10 = 20 \text{ dB})$$

$$x8 = +18\text{dB}$$

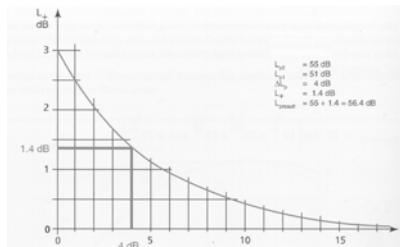
$$x2 = +6\text{dB}$$

$$x160 = +44\text{dB}$$

- Az alábbi értékeket célszerű megjegyezni:
 +3dB a kétszeres teljesítményhez tartozik
 +6dB a kétszeres feszültséget (vagy nyomást), azaz a négyszeres teljesítményt jelenti

Hangnyomásszintek összegzése

- 55 dB + 51 dB nem 106 dB, csak 56,4 dB!
- két azonos hangnyomásszintű hang összegzésekor az eredő +3 dB-el nő:
 - $10 \text{ dB} + 10 \text{ dB} = 13 \text{ dB}$ vagy $100 \text{ dB} + 100 \text{ dB} = 103 \text{ dB}$.



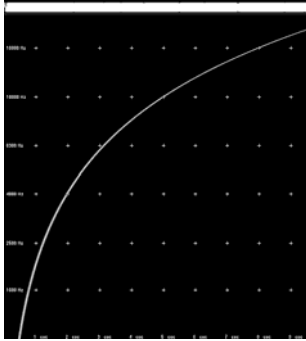
- A frekvenciatengelyt is logaritmikusán ábrázoljuk. A legfontosabb felosztások a következők:
 oktáv = $2x$ -es frekvencia
 dekád = $10x$ -es frekvencia
 terc(sáv) = $1/3$ oktáv (one-third octave).
- Az egy oktávval feljebb lévő hang az alaphang kétszerese. Pld. tipikus oktávsváros felosztás az 1, 2, 4, 8, 16 kHz bejelölése a frekvenciatengelyen, amelyek között a lineáris távolság ugyanannyi.
- A dekádós lépték még nagyobb: 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz stb.
- A tercsváros felosztást tipikusan zajszintmérés és analízis során használjuk, vagy a zenében. Az angol kifejezésből adódóan „harmadoktávsvárosnak” is nevezik, hiszen egy oktáv három terciből áll.

Demo

- You tube: sonic boom, sound barrier
- Zenészakusztika videók, Star wars videók
- Műszaki akusztika
 - Audiogram (csillapodás, kiemelés)
 - Lineáris sweep
 - dB lépcsők

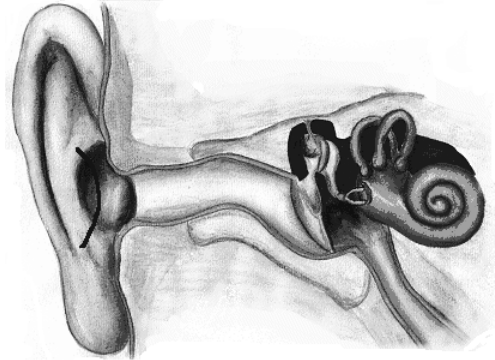
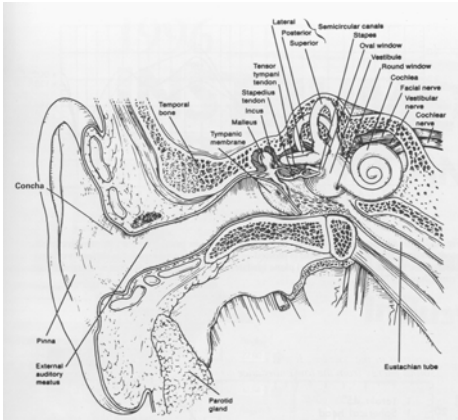
Példa

- Linear Sweep
20 Hz – 20 kHz

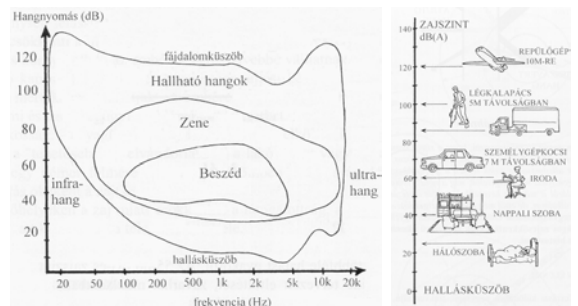


Hallás

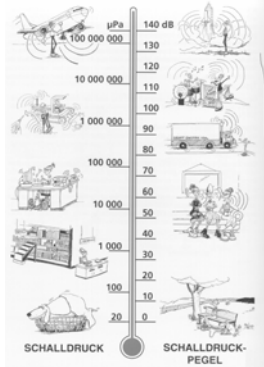
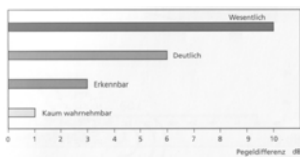
- Agy + fülek
- Hallásküszöb, fájdalomküszöb (130 dB dinamika)
- 20-20 kHz, öregséggel romlik
 - Infrahang és basszus fontos: rezgések, csonthallás szubjektíve „jól szól”
- Irányhallás: a fül és a felsőtest hatása, idő- és szintkülönbség a dobhártya jelében.
 - Mediális vs. horizontális sík
 - HRTF függvények (műfejek)
 - VAD, virtuális valóságok



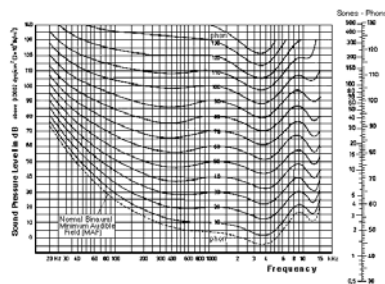
A hallástartomány



Pa és dB szintek



- Szubjektív/objektív leírások?
- A szubjektív hangosságérzet számszerűsítésére vezették be a *hangrősség* fogalmát. Ennek alapján egy tetszőleges hang hangrőssége annyi *phon*, ahány dB a vele azonos hangosságérzetet keltő 1 kHz-es szinuszhang hangnyomásszintje.



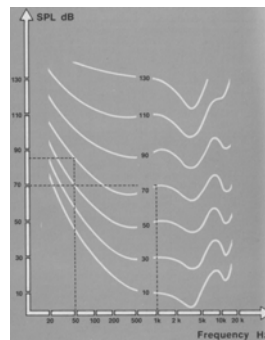
- Az egyidejűleg megszólaló hangok eredőjének meghatározására vezették be a *hangosságot*, melynek jele N és mértékegysége a *sone*. A kiszámítás módja, ha a hangrősség meghaladja a 40 phont:

$$N = 2^{\frac{L_N - 40}{10}}$$

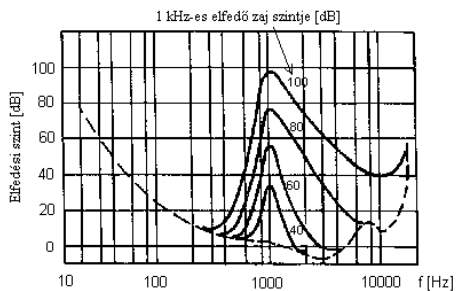
- Eszerint 10 phon hangrősség-növekedésnek kétszer akkora hangosság felel meg. Amennyiben a különféle hangok nem közeli frekvenciájúak, akkor a sone-ban kifejezett hangrősségeik összegezhetőek (1 sone + 1 sone = 2 sone, és ez kétszer olyan hangos hangot jelent, míg 40 phon + 40 phon = 80 phon nem). A 40 phon hangrősség 1 sone értékű.

Phon, sone, dB...

- +10 phon = 2x
sone = 2x olyan
hangos
- Mennyi ez dB-ben?

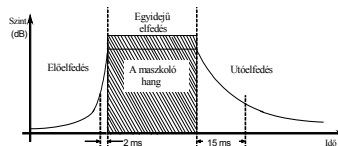


Hangelfedés a frekvenciában



Elfedés az időben

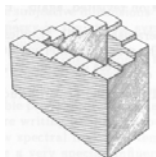
- Időben is van elfedés: előre és utólag is!
- Előre nagyon rövid, oka: hangosabb hang gyorsabban terjed.
- Kihasználás: MP3 és társai, mindkét elfedést (lásd később).



- Sheperd-skála (paradoxon):
- A végtelenségig emelkedőnek vagy csökkenőnek tűnő hang vagy hangpárok, de valójában az utolsó megegyezik az elsővel.
- Ugyanaz a hang, négy oktáv távolságra, azonos időben lejátszva, eltérő hangerősséggel egymásba átfolyatva.



Java demo



McGurk-effektus: mást hallunk csukott szemmel és ha nézzük a szájat.



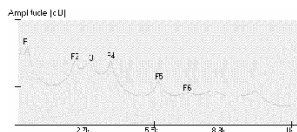
A hasbeszélés hatása

98% „da-da”-t hall, de a d-hang csak audio-vizuális illúzió. Valóságban „ba-ba”-t hallunk, de a szájat figyelve „ga-ga”-t látunk.



A beszéd

- Legfontosabb akusztikai hangjel
- Energiájának 90% 4000 Hz alatt van
- Alaphang + felharmonikusok (mgh) vagy zajszerű hangok
- Formáns: adott mgh-ra jellemző helyi maximum(ok) a spektrumban
- 10 kHz felett egyénre jellemző részek
- A beszéd redundáns, hibajavítással bír
- Beszéderthetőség mérhető
- A beszéd teljesítmény átlaga kb. 20μW, a kiabálás elérheti a 100mW-ot. A dinamikatartomány (a leghalkabb suttogástól a leghangosabb kiabálás aránya) kb. 50 dB.



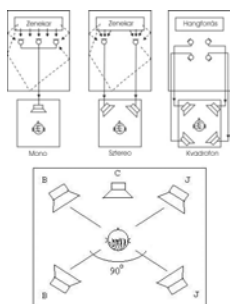
Koktélparti effektus

- Sok beszélőnél is ki tudjuk nyerni a számunkra fontosat
- Síkban, élőben, két füllel
- Gépek nem igazán tudják utánunk csinálni
- Demonstrációs fájlok:
 - Hiányos beszéd, koktélparti



A hangtér előállítása

- Hangszórókkal vagy fejhallgatóval
- Felvétel: mikrofonokkal.
- Mono = 1 csatornás, nincs benne irányinformáció.
- Manapság: sztereó vagy 5.1 (sokcsat.)

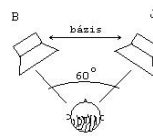


- A sztereó jel mono kompatibilis. Két elterjedt jelöléssel:
 S (Stereo, Seite) = $B - J$, az ún. különbségi jel, amit rádiózásban modulálásra használunk fel.

M (mono, Mitte) = $B + J$, az összeg jel.

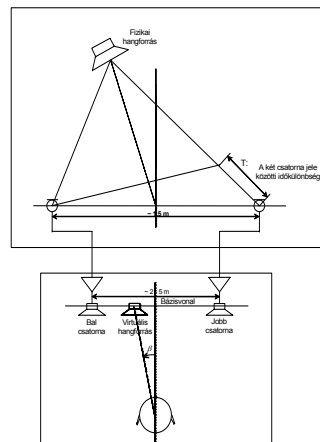
- A kettő matematikailag egyenértékű és egymásba átszámítható, egymással kiváltható.
- A két hangszóró közötti részt *bázis*-nak hívjuk. Helyes polarizáció esetén a hang mindig a bázisban marad.
- Kisfrekvencián (600 Hz alatt) ellenfázisban kötött hangszóróval ki is kerülhet innen. Ha ellenfázisban kapcsolunk be egy vagy két hangszórót, az zavart okoz a térérzetben, ezért nagyon ügyeljünk a helyes polarításra!
- Közepes frekvenciánál (600 – 1500 Hz) diffúz térérzet keletkezik, ami az irányinformáció elvesztését jelenti.
- Magas frekvenciák még ellenfázis esetén is a bázisban maradnak.

SM, XY sztereó

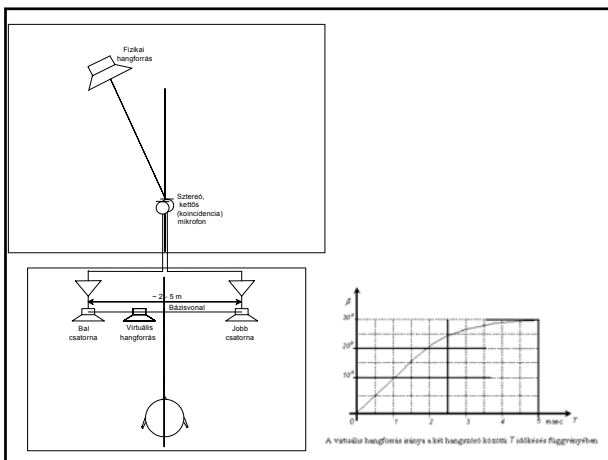


Intenzitásos és időkülönbséges sztereofónia

- Régen két lehetőség állt rendelkezésre (elvi szintű tárgyalás):
- Az ún. *időkülönbséges sztereofónia* alapja, hogy a két fülbe a jel **nem azonos időben** érkezik be (de azonos hangerősséggel). A forráshoz (most feltételezzünk egy darab hangforrást) közelebbi fülbe előbb fog a hang beérkezni.
- Ha az időkülönbség túllép 1-10 ms-ot, már csak egyetlen forrást fogunk hallani akkor is, ha a másik (hangszóró) szintje akár 6-10 dB-el is hangosabb (érdemes otthon kipróbálni, hogy közelitünk az egyik hangszóróhoz, és egy idő után már csak azt fogjuk hallani, a másikat nem).
- 50 ms felett visszhangot fogunk érzékelni (echoküszöb).

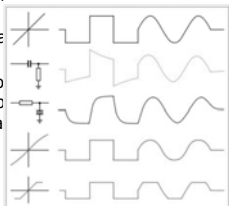


- Az ún. *intenzitásos sztereofónia* során a fülébe azonos időben érkezik két jel, amelyek hangerőssége, **hangintenzitása különböző**, azt fogjuk közelebbinek hallani, amelyik hangosabb.
- Két mikrofont egy pontban (koincidencia mikrofon) helyezünk el, de a nem gömbi iránykarakterisztikákat adott nyílásszögűre állítjuk, akkor a mikrofonok ezen érzékenységből adódóan létre fog jönni a térzet (S-M jelleggel).
- Fontos, hogy ilyenkor (mivel a két mikrofon egy pontban van, tehát időkülönbség nem léphet fel), a térzetet a két csatorna közti intenzitás különbségből fog adódni, aminek fizikai oka a mikrofonok iránykarakterisztikája!
- Két hangszóró esetén 2 dB különbség már érezhető, 20 dB pedig teljes eltolódást okoz a hangosabbik irányába.
- A valóságban a két jelenség a fülünkben egyszerre lép fel: a közelebbi hangforrás hangosabb is lesz és egyben hamarabb is érkezik be a fülbe a hangja.
- Manapság sokcsatornás felvételtől keverik ki a sztereót.



Átviteli jellemzők

- HiFi: 50 Hz-15 kHz, 0,1% torzítás
- Átviteli sáv: ± 3 dB-es pontok között van, de néha csálnak és 6 dB-hez adják meg.
- Dinamika: leghalkabb és leghangosabb a kisebb-egyenlő a jel/zaj viszonynál.
- A harmonikus torzítás (THD, total harmonic distortion) effektív értékének és az alapértékének a hányadosa %-ban megadva vagyunk!



Demo (1. alkalom vége)

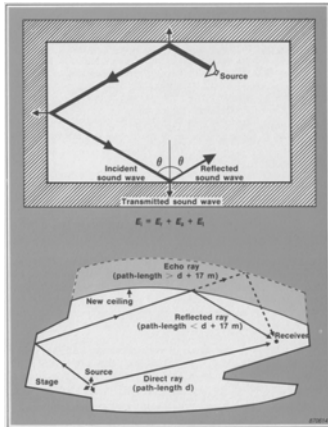
- Különböző zajok
- Torzítások, szinuszt-négyszög
- Maszkolások
- Kóktélperti effektus (beszéd)
- Videó: stúdióban (DT videó)

Hangterjedés

- Három alapvető jelenség: refrakció, diffrakció és reflexió.
- A refrakció magyarul elhajlás.
A hang, ha különböző sűrűségű anyagok határára érkezik, a sűrűbb anyag felé hajlik el.
- A diffrakció az „árnyékba hatolás” jelensége
A hang az útjába kerülő tárgyat annak méretétől valamint a frekvenciától függően megkerüli.
- A reflexió a visszaverődés (ld. teremakusztika)
A hangenergia egy része visszaverődik, egy kisebb része áthatol az akadályon, egy legkisebb része pedig a sűrűlési veszteség hatására, hő formájában felszabadul.

Reflexió

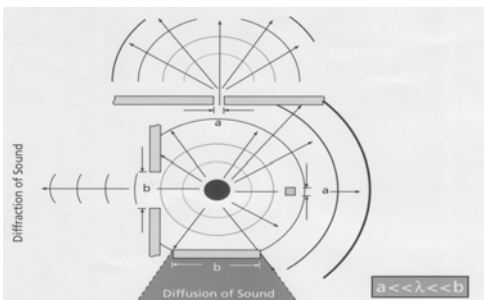
- Reflexió előfordulhat sűrűségváltozás határán is (levegő vs. betonfal)
- A *visszhang* a reflexió speciális esete. Kb. 50 ms az a határ, amit echóküszöbnek nevezünk, ehhez minimum 17 méter távolság szükséges a forrás és a visszaverő felület között.
- A visszhang az eredeti hang és annak késleltetett, csillapított verziójának a fülbe érkezése.
- Ha ez az időkülönbség jóval meghaladja az 50 ms-t, nem visszhangot fogunk érzékelni, hanem két különböző hangforrást; ha lényegesen kisebb nála, akkor pedig egy „zengőbb” hangérzetet.
- Nagyobb termek tervezésénél igyekeznek tartani, hogy a forrás és a hallgató között sehol ne legyen meg a 17 méteres útkülönbség lehetősége



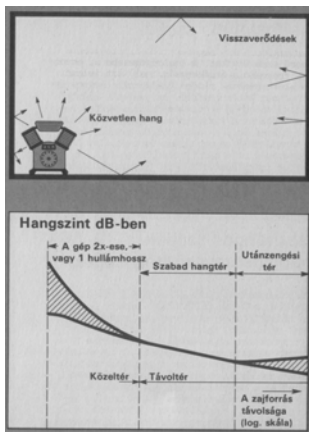
Diffrakció és refrakció

- A diffrakció és a reflexió mértéke attól függ, mekkora a hullámhossz (λ) a geometriai méretekhez képest.
- Az akusztikában „kicsi” tárgy mindig a hullámhossz (a frekvencia) függvénye és *ahhoz képest* értendő
- Kis tárgy esetén (pld. a seprűnyél) a diffrakció nagy, a reflexió kicsi. Nagy tárgynál fordítva: a diffrakció gyengül, a reflexió nő.

- Diffrakciónál az akadály összemérhető méretű a hullámhosszal. Ha az akadály kisebb, a jelenség elhanyagolható, ha nagyobb, akkor árnyékolás lép a helyébe. Akkor következik be, ha a hang lyukon halad át. Ha az kicsi, akkor a lyuk pontforrásként viselkedik, ha túl nagy, akkor zavartalanul átváramlik



1. Fal kis nyílással
Egyenes, gömbhullámú terjedés lép fel a nyílás után is. A nyílás új pontforrásként működik, azaz „elfelejti” honnan jött. Csak kis energia jut át a nyíláson, a nagy része annak faláról visszaverődik.
2. Fal nagy nyílással
Ekkor az energia nagy része átváramlik és síkhullám jelleggel terjed tovább a nyílás másik oldalán. A reflexiók a „tükörforrásból” jönnek.
3. Kis méretű korong (akadály)
A kis méretű akadályt a hang kikerüli (diffrakció), kicsi a hangárnyék és a reflexió is.
4. Nagy méretű korong
Ebben az esetben a hangárnyék és a reflexió is nagy, a diffrakció azonban csökken.

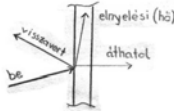


Zajszintmérés

- Környezeti, munkahelyi zaj stb.
 - A -6dB-es „szabad térben” kéne mérni, ha létezik egyáltalán
- Hatóság = ÁNTSZ
- Szabványok!
- Munkahelyi előírások: fülvédő ajánlott/kötelező?
- Drága műszerek

Teremakusztika

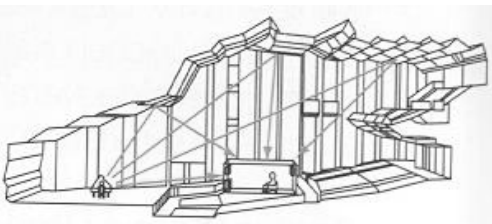
- A teremakusztika a termék akusztikájával, hangzásával foglalkozik.
- A tervezés során a cél egyrészt a jobb hangzás, másrészt a hangszigetelés/hanggátlás: zajmentesség ki- és befelé
- Egy akadályba (fal) ütköző hanghullám egy része visszaverődik, kisebb része áthatol azon, a legkisebb része pedig hő formájában melegíti azt.
- Az alfa elnyelési tényező (0-1) közötti szám.
- A terem mellett az épület rezgései is fontosak (ld. Nemzeti Színház és a déli vasúti híd)



Diffúz/zengő tér

- A sok visszaverődés diffúz hangteret hoz létre.
- Ebben nincs kitüntetett hangterjedési irány és bármely térfogategységben azonos az energiasűrűség.
- Az energia eloszlása tehát egyenletes, amennyi egy adott térfogatba beáramlik, annyi ki is, a hangnyomás időátlaga helyfüggetlen.
- Zengő szoba mérési célokra (alfa mérésére – ld. később)

- Ha a λ hullámhossz jóval kisebb a fal felületénél, a beesési- és visszaverődési szögekre, a hangutak kiszámításához alkalmazhatók a fénytörési törvények (geometria akusztika, sugárkövetés)
- 50 ms-nál található a visszhang-küszöb (ez kb. 17 méteres távolságnak felel meg), e felett visszhangot fogunk érzékelni.
- A visszhang káros jelenség, rontja a beszédérthetőséget és a hangzást is. A jó hangzáshoz visszaverődésekre is szükség van.

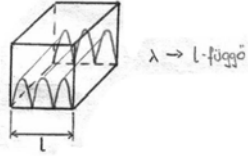


Egyéb felületek

- Kupola?
- Paraboloid tükör fókuszálása (lásd diódsi antennamúzeum)
- Új Wembley stadion VIP páholy-ablakait 5 fokkal elforgatták, hogy ne legyen rossz akusztikájú rész.
- Csörgővisszhang üres panellakásban (téglalap)

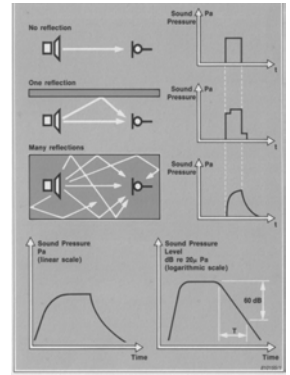
Energia és módusok

- A hangenergia egy pontban a direkt és a visszavert hullámok energiájának az összege. Ez lehet erősítés és kioltás is (interferencia).
- A terem komplex rezonátor, természetes rezgő módusokkal.
- A terem természetes módusai (rezonanciái) helyi maximumokat és minimumokat hoznak létre, amelyek a geometriai alaktól és mérettől és a hullámhossztól függ.
- A konkurensekn, időben eltolódva megjelenő módusok hozzák létre a diffúz teret.



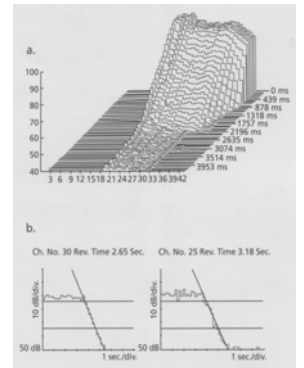
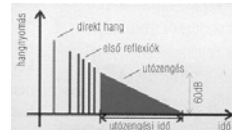
Az utózengési idő

- A legfontosabb paramétere egy teremnek az **utózengési idő** (reverberation time), jele a τ .
- Az az időtartam, ami alatt adott, kezdeti hangnyomásszint szint 60 dB-t esik (1000-ed részére csökken a nyomás).



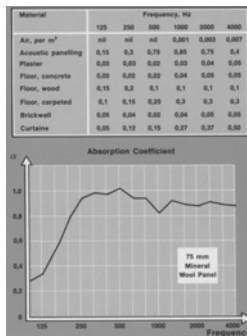
- Az utózengési időről elmondhatjuk, hogy
 - τ nagy, ha sok a reflexió (pl. fürdőszobában)
 - τ kicsi, ha kevés a reflexió (pl. bútorok között)
 - τ frekvenciafüggő: kis frekvenciánál hosszabb (nehezebb elnyelni)
 - τ határozza meg a terem felhasználhatóságát
 - a nagy τ rontja a beszédérthetőséget és a zene élvezhetősége is csökken
 - zenéhez kb. $\tau_{\max} = 1...3$ s szükséges
 - a stúdió 1 s alatti utózengési idővel rendelkezik, koncerttermek 1-2 s közöttivel, nagyobb templom belső tere 3 s-nál hosszabb idővel is rendelkezhet
 - diagrammal is megadhatjuk értékét

- A betáplált hangenergia egy teremben fokozatos elvész, ezért ha ott állandó energiaszintet akarunk tartani, akkor a veszteségeknek megfelelően azt állandóan pótolni kell.
- Ha ez a betápláló forrás leáll, az energia exponenciálisan esni kezd.
- Echogram:



Mérés, számítás

- Számítás:**
 - Sabine,
 - Eyring formulák
 - Számítógépes programok!
- Mérés:**
 - zajjal
 - vagy impulzussal
- Elnyelési tényező mérése?



Doppler effektus

- Doppler-effektus: a mozgó források frekvenciaváltozása
- A jelenség hangszóróknál is meg van, különösen, ha egy utas a hangsugárzó, és azonos membránnak kell lesugározniya mély és magas frekvenciákat is. Ilyenkor a nagy teljesítményű kis frekvenciás mozgás mintegy „modulálja” a kisfrekvenciás hullámokat azzal, hogy előre-hátra mozog, miközben sugároz.

$$f_{ij} = \frac{c \pm v_m}{c \pm v_f} f$$

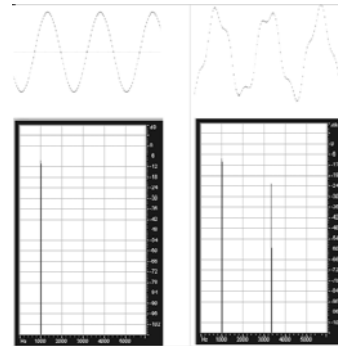
- Ahol f a kisugárzott frekvencia, v_f a forrás, v_m a megfigyelt sebessége. A képletben szereplő + és - jelek használatához azt vegyük figyelembe, hogy közeledéskor nő a frekvencia, tehát azt az előjelet kell választani, ami növeli a frekvencia értékét.

Fourier-tétel és sorfejtés, a spektrum fogalma

- A különböző frekvenciájú jelek eredője egyértelműen felbontható komponenseire
- Végtelen sokáig integrálunk és végtelen tagból áll elméletben
- Elektronikusan: FFT (Fast Fourier Transform)
- Ha az összetett rezgés összetevői egymás egészszámú többszörösei (zenénél), akkor a legkisebbet *alaphangnak*, annak egészszámú többszöröseit *felharmónikusoknak* nevezzük, melyek száma a tizet is meghaladhatja
- Lehet a spektrum folytonos (integrál) vagy digitális, periodikus jel esetén vonalas (szumma)

- Doppler hangban:
 - Trafipax
 - Radar (lopakodó vadászgép?)
 - Sonar (Ultrahang)
- Doppler fényben:
 - Vöröseltolódás a kozmológiában

Az 1000 Hz, 1000+3330 Hz jel idő- és frekvenciatartománybeli képe



- „Receptkönyv”, ami visszafelé is képes analizálni a kimenet alapján meghatározza a bementi komponenseket.
- Átvitel? Szűrési feladatok? Linearitás/torzítás?
- A legalapvetőbb művelet (komplex a spektrum, de ez most nem annyira fontos), kölcsönösen egyértelmű megfeleltetés az idő- és a frekvenciatartomány között.
- Egyéb: korreláció, kovariancia, cepstrum analízis

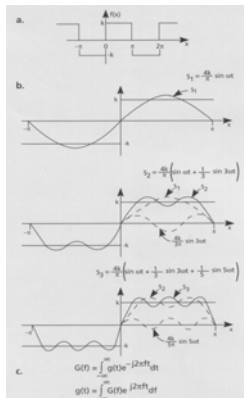
Linearitás

- Lineáris átviteli út: nincs torzítás
- Az átvitt jel formája, időbeni lefutása csak egy konstansban térhet el az eredeti bemenő jeltől. Ha ez egynél nagyobb, erősítőről beszélünk, ha kisebb, csillapítóról.
- Olyan frekvenciájú jel nem jöhet ki belőle, ami nem ment be.
- Nem lineáris átvitelnél új komponensek is megjelennek, amik az eredeti jelben nem voltak benne. Ilyenkor az átviteli utat leíró átvitel függvényben bizonyosan találhatók hatványozó tagok.
- Lineáris átvitel = konstanssal való szorzást és időkéscsúszást megengedett.



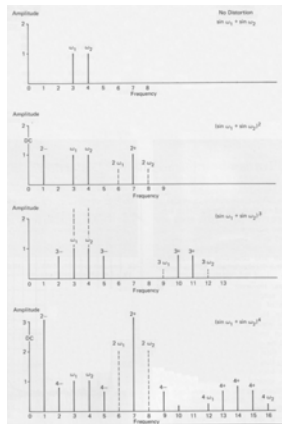
- Egy periodikus jel (a) leírható szinuszos és koszinuszos függvények végtelen összegeként
- Ennek a folyamatnak az első három elemét mutatja a (b) ábra, miként közelíti a sorfejtés az eredeti négyyszögjelhez
- A négyyszögjel spektruma fejből ismert: páratlan felharmónikusok (torzítás vizsgálatok!)

harmonics: 1



- Egésszámsú többszörösei adott frekvenciájú komponensnek: harmonikus torzítás

- Lehet nem harmonikus is
- HiFi THD 0,1%
- Néha direkt torzítunk (gitár)



Átviteli függvény

- Adott vagy mérjük
- A frekvenciában értelmezett („mit enged át”)
- **Impulzusválasz** transzformáltja
Gyors mérés de kicsi a jel-zaj-viszony
- **Fehérzajjal** is lehet mérni.
Nagyobb jel-zaj-viszony, de több idő.
- Legjobb jel-zaj-viszony: szinuszos mérés.
Végtelen ideig tartana.
- **Sweep-jel:** végigpásztázza az egész frekvenciatartományt rövid ideig tartó szinuszjelekkel.

Demo

- Adobe Audition wave-editor
 - Zaj és szinusz generátor, négyszögjel
 - Zene
 - Spektrum, Spectrogram
 - Effektek (késleltetés, kórus, FFT filter stb.)

Analóg technika

- Analóg technika, ahol az észlelt jelet időben és amplitúdóban egyaránt „folytonosan” kezeljük, rögzítjük.
- „Nincs benne elvi hiba”.
- Érzékeny nagyon a zajokra, zavarokra. Ún. „alakhű” átvitelre van szükség.
- Nincs benne semmiféle hibajavítás.
- Másoláskor a minőség romlik, nem létezik két egyforma másolat.
- Számítógépen és optikai rögzítőkön (CD, DVD) nem tárolható és használható.
- Át kell-e térni a digitális technikára?

A digitális technika

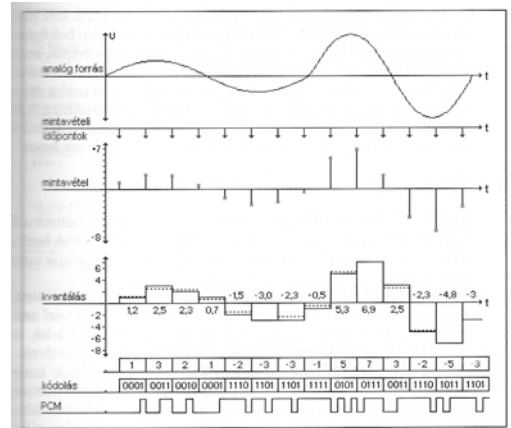
- Digitális technika célja:
 - Nem a minőség javulása
(lehet rosszabb az analógnál)
 - Elvi hiba is van benne (kerekítés miatt)
 - Reprodukálhatóság! Minőségkonzerválás!
 - Analóg-Digitális átalakítás után rögzítés és/vagy átvitel, majd a végén Digitális-Analóg átalakítás.
 - Nem cél az alakhű átvitel, csak döntéskor kell jól dönteni. **Hibajavítás mindig része!!!**
 - Copy? Master? Clone?

Analóg-digitális átalakítás (1)

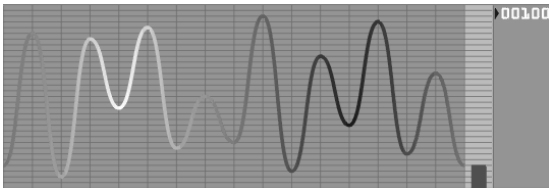
- Mintavétel (sampling): az analóg jelből mintát veszünk adott időközönként. Így **időben diszkrét** mintasorozatot kapunk, amely számsorozat (még) végtelen sok tizedestörtből áll.
- Mintavételi törvény: az analóg jel legnagyobb frekvenciájú tagjánál legalább kétszer gyorsabban kell mintát venni, ekkor a jel a számsorozatból visszaalakítható.
- Ahhoz, hogy rögzíthessünk, ezeket az értékeket kerekíteni kell.

A/D átalakítás (2)

- A kerekítés során a fenti értékeket a legközelebbi lépcsőre kerekítjük. Ezzel véglegesen elvesznek, tehát veszteséget, vissza nem állítható hibát okozunk.
- A kettő együtt működik, és a cél az, hogy ezeket a hibákat már ne vegyük észre, ne lássuk meg a képen, ne halljuk meg a hangban.
- A túl finom felbontásra nincs szükség (96/24)



Az analóg jel digitális leírása



D/A átalakítás

- A folyamat végén a digitális jelet analóggá kell visszaalakítani (az erősítő és a hangszóró számára).
- Ehhez egy egyszerű szűrő szükséges.
- A folyamat bonyolultabbá is válhat a minőség javításának érdekében.

Bitsebességek

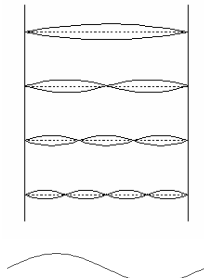
- CD hang: $44100 \times 16 \times 2 = 1,4$ Mbps.
(stúdióban 48 kHz is van)
 - 20 Hz – 20000 Hz, nagy dinamika (kb. 16x6 dB)
 - PCM (és még 2x ennyi egyéb adat!)
- Beszédtávítél (telefon):
 - Redundancia, hibajavítás, beszédérthetőség paraméter
 - 8 bit x 8 kHz = 64 kbps
 - 300-3400 Hz

Zenei hangkeltés

- Hangszerek: vonós (húros), fúvós, membrános (ütős), ének (elektronikus-test nem fontos).
- Vonós: megfeszített hurok pengetése megfelelő üregű testen kiképezve.
- Fúvós: légoszlopok rezgése, fújással gerjesztjük és szabályozzuk a légoszlop magasságát.
- A precíz kialakítás fontos: a fémtölcser alakja, felülete; a hegedű teste, anyaga, lakkrétege. A különböző hangszerek felépítése színezi a hangot.
- Membrános: nem tonális, más a kotta is

A megfeszített húr

- A megfeszített húr arra törekszik, hogy a lehető legrövidebb legyen, vagyis egyenes "szeretne" lenni.
- A húr hajlékony, nem csak egyszerre tud rezegni az egész, hanem részleteiben is.
- A közönséges módon megpengetett húr hangjának vannak természetes **felhangjai**. Nem vesszük észre őket, mert jól harmonizálnak az alaphanggal, annak felharmonikusai.
- Transzverzális hullámok: vastagság, megfeszítés, hossz.



- A rezgő húr hangmagassága függ tehát a feszítéstől, a hosszától és hosszegységre eső tömegtől (sűrűségtől, vastagságtól). A hosszabb húr alacsonyabb hangot ad ki, a frekvencia fordítottan arányos a hosszal:

$$f \propto \frac{1}{l}$$

- A lazább húr szintén mélyebb hangot ad ki, a frekvencia a megfeszítés négyzetgyökével arányos:

$$f \propto \sqrt{T}$$

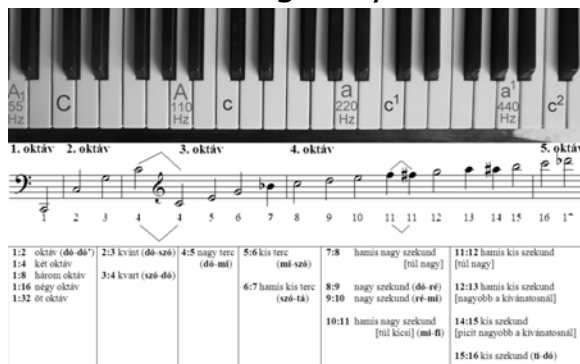
- A sűrűbb, „nehezebb”, vastagabb húr mélyebb hangot ad ki, a frekvencia fordítottan arányos a sűrűség négyzetgyökével:

$$f \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$$

Hangközök és a fizika

- Ha a frekvenciák aránya 1:2 akkor ez a két hang egy OKTÁV hangközt alkot. Az oktáv a zeneelmélet legfontosabb hangköze, alapegysége. Az oktáv hangközt alkotó hangok nagyon jól szólnak együtt, hasonlítanak egymásra.
- A 2:3 arányú hangköz neve: KVINT. Ez a második legfontosabb hangköz. Ez is nagyon jól szól együtt. A hegedű szomszédos húrjait kvint hangközökre hangolják.
- A 3:4 arányú hangköz neve: KVART. Egy kvint meg egy kvart összesen egy oktavot tesz ki. Kvart hangközre hangolják a nagybőgő és a basszusgitár húrjait, illetve egy-egy hangköz kivételével a lant és a gitár húrjait is.
- A 4:5 arányú hangköz a NAGYTERC, az 5:6 pedig a KISTERC. A két hangköz összege egy kvint.
- Kotta: tempo (időzítés), hangok, hangerősség ("élenken")

Felhangarányok



2. alkalom vége

- Demók:
 - Videók
 - Hangok

Akusztikai eszközök

- Átalakítók
 - Mikrofonok
 - Hangszórók
- Kábelek
 - Analóg fajták
 - Digitális (SPDIF, HDMI, USB?): koax vagy optika
- Erősítők
 - Analóg vagy digitális „szorzó” (ritkán)
 - Méret, tömeg? Teljesítményerősítő mindig analóg.
- Rögzítők
 - Analóg vagy inkább manapság már digitális.

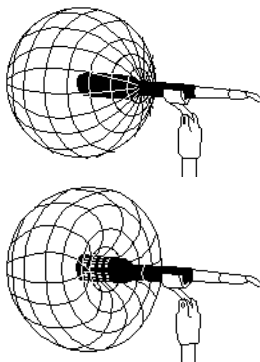
Mikrofonok

- A mikrofonok jellemzésére az érzékenységet, az érzékenység frekvenciamenetét és az iránykarakteristikát szokás megadni.
- Az *érzékenység* az egységnyi hangnyomás hatására leadott feszültséget jelenti. (mV/Pa)
- A *frekvenciamenet* az érzékenység frekvenciafüggését jelenti.
- Az *iránykarakterisztika* a beérkező hanghullámok irányától való érzékenységfüggést fejezi ki.

Átvitel és irányfüggés

- Az *átviteli függvény* az érzékenység frekvenciamenete. Az érzékenység adja meg, hogy egy mikrofon adott hangnyomásra (a membránján) mekkora kimenő feszültséggel válaszol.
- Minél nagyobb ez az érték, annál jobb a mikrofon.
- Minél nagyobb a membrán felülete, annál nagyobb az érzékenység, hiszen több hanghullámot tud „befogni”, de egyben jobban zavarja is a hangteret.
- Az iránykarakterisztika a legfontosabb paraméter, az átviteli függvény térbeli változást írja le: különböző irányokból milyen a vétel erőssége (mint egy antennánál). Általában szintfelületekkel ábrázoljuk, ahol az azonos vételi pontokat kötjük össze, hasonlóan a térképeken, ahol az azonos magasságú pontokat kötjük össze.

- Kisfrekvencián kevésbé irányítottak a mikrofonok, míg nagyobb frekvencián egyre jobban.
- A gömbkarakterisztika mérési célú általában.
- A legjobban kedvelt kis mértékű irányítottaságú karakterisztika a vese (kardioid). Ezek szemből maximális, oldalról és hátulról csökkentett érzékenységűek.
 - Hiper, szuper...
- Létezik még a nyolcas karakterisztika, de ezt manapság ritkán alkalmazzák.
- Speciális: puskamikrofon
- Gyakran 2D síkmetszeti ábrán adjuk meg (szintfelületek, mint a térképeken).



Dinamikus mikrofon

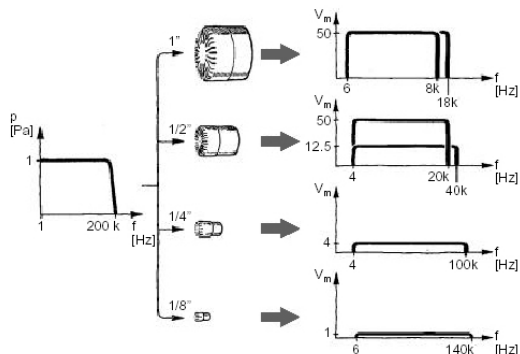
- A *dinamikus* mikrofonok kevésbé jó minőségűek, mint a kondenzátor mikrofonok.
- A dinamikus hangszóró inverze: a hangnyomás által megmozgatott membránhoz csatlakozott lengőcséve az állandómágnescső részeként mozgásba jön a légrésemben. Ennek hatására feszültség indukálódik benne, a membránmozgással arányosan.
- Olcsók és tápfeszültséget sem igényelnek.
- Hangosítási célra még megfelelő, de stúdiófelvételre már kevésbé, mérési célokra pedig egyáltalán nem.

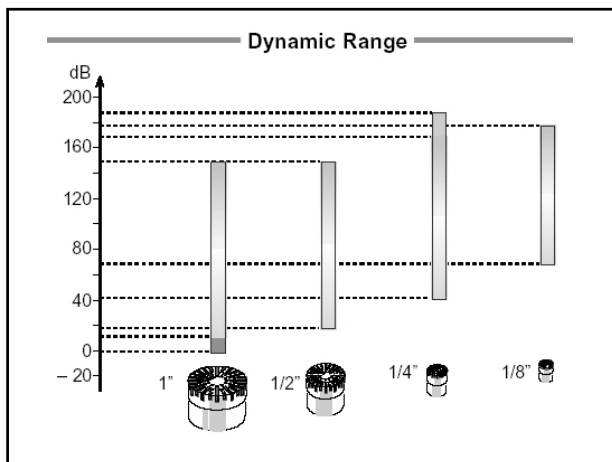
Kondenzátor mikrofon

- Elve, hogy a membrán (fémfólia) és az ún. alsó fegyverzet mögötte egy lötyögő fegyverzetű kondenzátort alkot, melynek légrése változik a membrán mozgásának hatására.
- Ezáltal a kondenzátor kapacitása is (a távolsággal fordítottan) arányosan módosul.
- Egyenfeszültséget igényelnek (ún. előfeszítést vagy pre-polarizációt).
- Erősítőt is igényel (pre-amp, előerősítő).
- Hangstúdióban inkább ilyeneket használunk, mérésre pedig mindig.



Frequency Range and Sensitivity





Hangszórók

- A *dinamikus* hangszóró
- Az állandó mágneses mágneskör légrésében található a lengőcséve, ami a membránhoz csatlakozik. Ez tengelyirányban mozog. A mágneskörhöz rögzített kosár tartja a rimet. A kivezetéseken a tekercsbe áramot bocsátunk. Tengelyirányú erő keletkezik. Az erő mozgásba hozza a membránt és ezáltal hanghullámokat kelt.
- Kisebb minőségi igényekre (AM rádió) elegendő egy hangszóró. A teljes hangfrekvenciás sávot több - két vagy három - különböző frekvenciasávra tervezett hangszóróval lehet lesugározni.

- A legnagyobb probléma a hatásfoka:

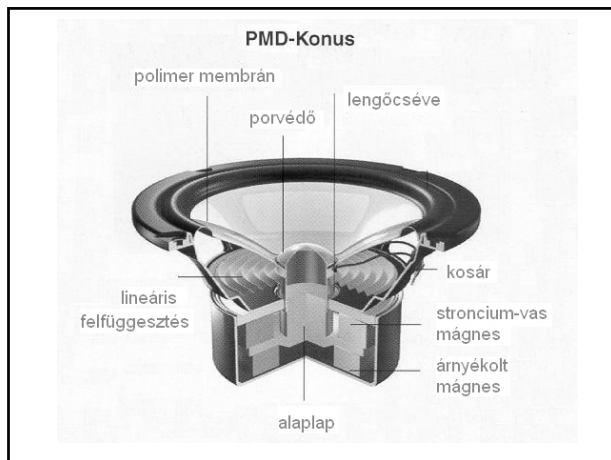
$$\eta = P_{\text{akusztikai}} / P_{\text{elektromos}} \cong 1 \dots 2\%$$
- Ez nagyon alacsony, a befektetett villamos teljesítmény alig 1-2%-a alakul akusztikus teljesítménnyé!
- A hangszóróknak megadott üzemi paramétere a „maximális megengedett villamos teljesítmény”, amit feltüntetnek. Ez mondja meg, hogy mekkora villamos teljesítmény kapcsolható a kapcsaira anélkül, hogy az tönkremenne. Egy 100 Wattos hangszóróból akkor jön ki 1 W hangteljesítmény, ha valóban ráadunk 100 Wattot a kapcsaira.
- A hasznos akusztikai teljesítmény a valós veszteségi mechanikai ellenálláson vehető le, ez a sugárzási impedancia.

$$P_{\text{akusztikai hasznos}} = ?$$

Paraméterek

- A *terhelhetőség* adja meg Wattban a kapcsokra adható maximális villamos teljesítményt.
- Az *átviteli tartomány* a fenti megismert átviteli függvény -3 dB-es pontjai között értelmezett. A dinamikus hangszóró alapjában felüáteresztő-jellegű, és csak az alsó törésponti frekvenciát adjuk meg.
- A *névéleges impedancia*: az 1 kHz-en mutatott impedancia abszolút értékének 4, 6, 8, 16 Ω-ra kerekített értéke.
- Az impedancia az erősítővel összhangban kell legyen. Abból nem származik probléma, ha a hangszóró impedanciája nagyobb az erősítő által igényeltéhez képest, pusztán a hangerőszabályzót kell feljebb tekerni ugyanakkor a hangerősséghez. Fordított esetben azonban veszélyeztetjük az eszközöket, hiszen a hangszóróra könnyen túlfeszültség juthat, ha ellenállása kisebb az előírtnál.
- A hangszórók, mivel korlátozott tartományban sugároznak, nem alkalmasak a teljes 20 Hz-20 kHz-es tartomány lesugárzására. A többutas hangsugárzók ezért rendszerint két vagy három hangszórót tartalmaznak, esetleg reflexnyílással. A hangsávot általában egyszerű, passzív elemekből álló analóg váltószűrővel választják szét, és vezetik rá az egyes „utakra”.

- A kónusz-sugárzók általában kis teljesítménnyel dolgoznak, ezért gyakran a mélysugárzókból kettőt is beleraknak a dobozba a teljesítmény növeléséhez.
- A magas frekvenciákhoz dóm-sugárzókat (kalotta) használnak, jellemzően fémből készült, merev felfüggesztésű, szemmel nem látható módon rezgő membránt alkalmaznak.
- Közepes frekvenciákhoz?



Seidenkalotte

selyem membrán

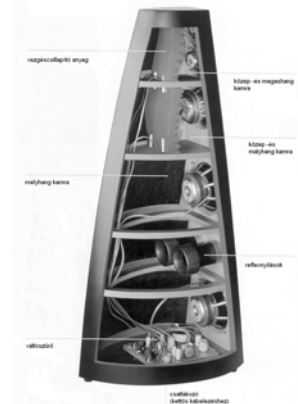
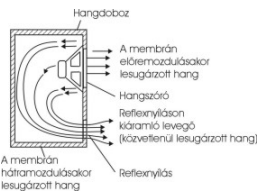
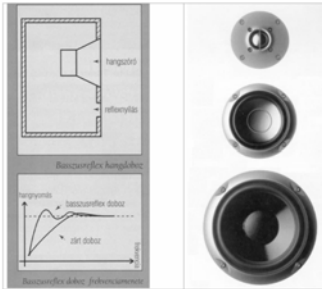
lengőcséve

stroncium-vas
mágnes

alaplap

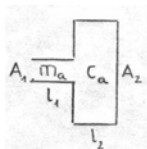
árnyékolt mágnes

- A magas frekvenciák lesugárzása nem probléma, könnyedén tudunk 50-100 kHz magasságban sugárzó eszközt gyártani.
 - De kell ez? Halljuk?
 - A 20kHz feletti felhangok levágása okozhat visszahatást a hallható tartományra (?)
- A mélyeknél a helyzet sokkal nehezebb (mélynyomó), nagy méret, hatalmas dobozok, nagy felületű membrán és több reflexnyílás is található rajtuk.
- Tipikus alsó határfrekvenciájuk 80-120 Hz környékén van, az 50 Hz-et is lesugározni képesek már a drágább kategóriába tartoznak.
- A szubjektív hangzásérzetet azonban drámaian javítja. (Rezgések érzékelése).
- Dobozba vagy „végtelen falba” építés az *akusztikai rövidzár* ellen.
- Nagyon gondos tervezést igényel a hangszórók megválasztása, elhelyezése, a doboz és a reflexnyílás kialakítása!
 - Reflexnyílás, ún. Helmholtz-rezonátor.

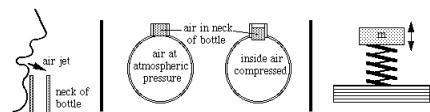


Helmholtz-rezonátor

- A Helmholtz-rezonátor olyan akusztikus rezgőkör, amely egy csőből és egy üregből áll, gyakorlatilag az LC-kör akusztikus megfelelője.
- Fontos tulajdonsága, hogy a rezonancia frekvenciájánál hangnyelző szerepe van, a bejövő hangok nem jönnek ki.
- „Fütyülős barack”
- A rezonátor hangolása a geometriai méretekkel történik.
- A rezonancia frekvenciát a Thomson-képlet analógiájára állítjuk elő:



$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{m_a C_a}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho_0 l_1 l_2 A_2}{A_1 \kappa P_0}}}$$

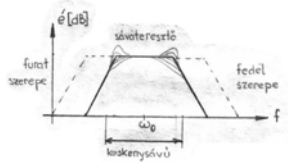


Akusztikai hálózatok

- Elektro-mechanikai-akusztikai „világ”
- A világok átjárhatók:
 - Tekercs-kondenzátor-ellenállás
 - Tömeg-rugó-ellenállás
 - Cső-üreg-ellenállás
- Számítások?
 - Cső: mindkét végén nyitott cső (együttmozgó légdugó)
 - Üreg: egyik végén zárt üreg (rugó)
 - Ellenállás pld. szövet a hangszóró előtt.

Dinamikus mikrofon akusztikus kompenzálása

- A mikrofonok membránja különösen érzékeny, arra csavaros fémháló-fedelet szerelünk.
- Elsődleges szerepe mechanikai védelem, másodlagos akusztikai.
- A fedélen lévő lyukak és „akadályok” a méretektől függően tömegként, akusztikus ellenállásként viselkednek, a legfontosabb a membrán és a fedél között keletkezett üreg.
- Eredőben a felső határfrekvenciát feljebb tolja, javítja az átvitelt. Kis frekvenciákon kiemelés a mágneskör megfűrésével érhetünk el, amely mélyfrekvenciás (akusztikus) rezgőkört fog létrehozni a tömeggel.



Exponenciális tölcsérsugárzó

- A hatások növelésének egyszerű módja, ha a hangszóró elé exponenciálisan táguló szájnyílású tölcsért helyezünk.
- A tölcsérs hangszóró dinamikus, csak a membrán nem önmagában sugároz, hanem egy szájnyíláson keresztül.
- Pld. megafonok és a szirénák, irányítottabb és nagyobb határfokú sugárzást tesznek lehetővé.
- Az elért hatások 25% körüli. (A torok és a szájnyílás felületének négyzetének arányában nő)
- Ezeknek az eszközöknek a célja nem a jó hangminőség.
- Az átviteli sáv megsínyli ezt a trükköt, a tölcsér hatására keskenyebb sávú sáváteresztő jellegűvé válik. Ezért nehéz érteni a megafonban kiabáló ember hangját.

Hangszórók beépítése

- A dinamikus hangszórót dobozba építjük, amivel erősen befolyásoljuk annak átviteli függvényét. A doboz feladata kettős: egyrészt mechanikai tartószerkezet, másrészt elszigeteli a membrán két oldalát egymástól. (Akusztikus rövidzár)
- Szokás még a mélyfrekvenciás átvitel növelésének érdekében reflexnyílást nyitni a dobozra.
- A fejhallgatók speciális, csak a fülre korlátozódó hangteret állítanak elő.

Fejhallgatók

- Két típus:
 - ritkábban használatos, nem stúdiótechnikai mágneses fejhallgató,
 - a hangátvitelhez alkalmasabb, jobb minőségű dinamikus.
- Utóbbi kis méretű dinamikus hangszórót tartalmaz.
- A mágneses fejhallgató átviteli sávja keskeny, ilyen van a telefonkagylókban.
- Átvitel? A hallójárat „kapacitív rugó”: ideális átvitel a mélyfrekvenciák felé. Rá kell nyomni a fejre! Az átviteli függvény tartalmazza a hallójáratot és a lezáró üreget is.
- Mérés?
 - Műfülűreg, műfej
 - Individuálisan?
 - Supra-aurális vagy kisméretű fülbe-illeszthető, bass-boost?
 - Speciális: a külsején mikrofon (a külső hangteret bent is hallható)
 - Vakok
 - Active Noise Control

Műfejes technika

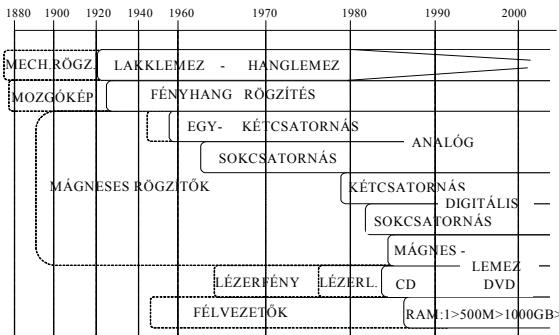
- Virtuális valóság szimulációja
 - Individuális?
 - Fejhallgató mérése és kiegyenlítése
- Mérőeszköz
 - Fejhallgatóhoz
 - Az emberi fül átviteli függvényeihez
 - Binaurális hangfelvételhez (?)
 - Szájszimulátor
- BME AKL forgóasztalos rendszer

Rögzítők

- A stúdiótechnika legfontosabb része a hang (és a kép) megfelelő minőségben történő rögzítése. Az ehhez szükséges felvevő berendezéseket rögzítőknek hívjuk.
- Léteznek mágnesszalagos analóg és digitális, merevlemez alapú vagy memóriakártyás, illetve optikai elven rögzítő lézerlemez rendszerek.

Analóg	Digitalis	
Fonográf	-	Mechanikai
Hanglemez (bakeit)	-	
Sztereó magnó (38 vagy 19 cm/sec szalagseb.)	Nagyszámítógép	Mágnesszalagos
Sokcsatornás magnók	Álvideó (pseudo-video): SONY PCM UMATIC BETA	
-	Állófejes magnók (DASH)	
-	Forgófejes magnók: A-DAT R-DAT	
-	HDD (vincseszter), „nem lineáris rögzítők”	Mágneslemez
-	CD, DVD, MOD stb.	Lézerlemez (optikai)

Egy kis hangrögzítés történelem

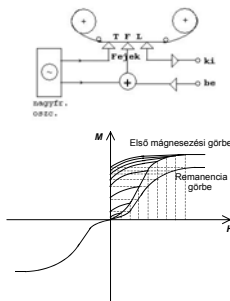


Korai analóg mágnesszalagos rögzítés



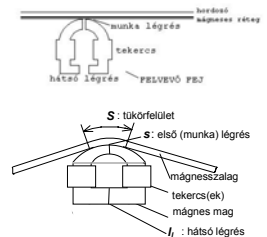
Mágnesszalagos rögzítés

- A fizikai elvet az alábbi eredő mágnesezési (indukciós) egyenlet írja le:
 $B = \mu_0(H+M)$.
- A H a mágnesező térerősség, az M a mágneszettség, azaz ami megmarad a szalag mágnesrétegében, miután az belekerült a H -térbe.
- Az M -függvény a H -térerősségtől függ, és ha ábrázoljuk az M - H síkon, akkor az ismert histerézis görbe első szakaszát kapjuk. Ez az $M=f(H)$ függvény az ún. *remanencia* függvény.
- Törlés: nagyfrekvenciás telítésvázérlés; de a torzítások miatt a felvételhez is hozzáadjuk.



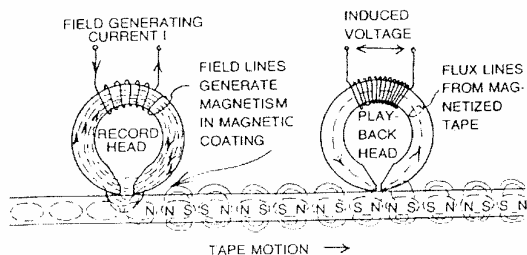
A fej-szalag kapcsolat

- Tükörfelületnek nevezzük (jele S) azt a felületet, ahol a magnófej a szalaggal érintkezik.
- A **törőfej** viszonylag nagy munkalégrésű (0,22 mm), vasból készült fej. A tekercsek rajta kis menetszármák, nagy áramúak.
- Ugyanez igaz a **felvevő** fejekre is, bár a munkalégrés kisebb (10 mikron körüli) és létezik egy hátsó légrés is (kb. 0,1 mm). A tekercsek a külső zavaró terek ellen nyújtanak védelmet.
- A **lejátszó** fejeken nincs hátsó légrés, a munkalégrés 1 mikron körüli. Tekercsei nagy menetszármák és kis áramúak. Olcsóbb eszközökben a felvevő és lejátszó fej egybe van építve.



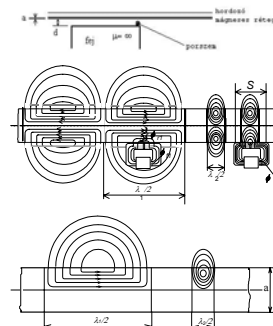
A tárolás elve

Felvétel, lejátszás



Lejátszás problémái

- A lejátszófej mérete nem végtelen nagy, így a kapcsolódás a szalaggal sem lehet végtelen nagy felületű ($S \neq \infty$). Nagyfrekvenciás határolás.
- A valóságban a rés felett nem nulla a távolság a mágnesréteggel és a mágnesréteg sem végtelen vastag. Nagyfrekvenciás határolás.
- Felüláteresztő jelleg: a frekvenciától függően, a nagyhullámhosszú (mélyfrekvenciás) erővonalak egy része megkerüli a nem végtelen nagyságú lejátszófejet. Ezek a fejen kívül zárodnak és nem kerülnek kiolvasásra.
- Önlevegésűzés: a rétegvastagsághoz képest kis hullámhosszú erővonalak nem lépnek ki (lusták). Így a fej ezt nem tudja kiolvasni.



- Digitális korszak – átmenet?
- Ál-videó rendszerek: videomagnót és szalagot használtak hangrögzítésre, digitális formában.
- Az első A/D-átalakító processzor a SONY PCM processzor volt, az akkoriban elérhető 44100 Hz-es mintavételi frekvenciával és 16 bites felbontással.
- Az állófejes magnók kora hamar leáldozott, a sávészélesség-igény miatt.
- A forgófejes rendszerekben a magnófej, „ellenforog” a szalag haladási irányának, ezzel növelve a kettőjük közötti relatív sebességet.
- Az R-DAT a digitális mágneses rögzítés stúdióban is elfogadott, veszteségmentes, CD-minőségű írható/törölhető formátuma.



- A mai világ a stúdióban szinte teljesen digitális és „nem lineáris”.
- A felvételkedészítés és lejátszás nem soros (lineáris) hozzáférésű, hanem párhuzamos.
- Nem kell a szalagot csévélni, hanem a merevlemezen tetszőlegesen, gyorsan lehet ugrani, ami növeli a munka gyorsaságát.
- A mai kor lehetővé teszi a hangfeldolgozáshoz szükséges háttérkapacitás és számolási igény otthoni elérését is, így ez már nem akadály.
- A végleges tárolás azonban optikai lemezekben vagy memóriakártyákban történik.

Harmadik alkalom vége

Digitális rögzítés

- A korábbi elvek igazak analóg és digitális rögzítésre is.
- A hibák másképp jelentkeznek, hiszen digitális rögzítéskor csak az a cél, hogy kiolvasáskor a bitek helyesen legyenek dekódolva. Az időfüggvény torzulásai mindaddig nem lényegesek, amíg ezt hibamentesen megtehetjük (nem elvárás az alakhűség). Az általános blokkvázlat az alábbi:

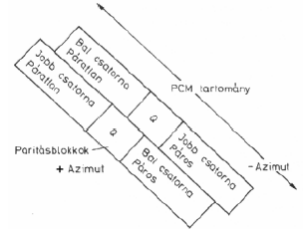


Hibák és javítás

- Egyszeri bithibák: véletlenül helyezkednek el, ellene pld. Reed-Solomon (RS) kód véd.
- „Börsztös” hibacsomó, ami ellen keresztát szövés (interleaving) szükséges az RS elé. Más Cd-n, más a szalagos magnókon és más kisugárzott jelek esetén!
- Ha nem lehet kijavítani: némítás vagy interpoláció (csak kép és hang esetén).

Hibajavítás szalagos esetben

- A hibajavítás itt is, ahogy az összes digitális szalagos felvételnél a páros-páratlan minták és a jobb-bal csatorna szétválogatásán alapul.
- Ez valósítja meg az interleaving-et, a burstös hibák elleni védelmet, mely az RS-kódoló után jön.
- Így létrejönnek bal-páros, bal-páratlan, jobb-páros és jobb-páratlan minták. Ha ezeket ügyesen „szórjuk szét”, akkor hatékony lesz az interpoláció a rendszerben.



Digitális mágneslemez rögzítés

- Két alapvető fajtája van: a veszteségmentes, hard-disk alapú professzionális felhasználás, illetve az általában veszteséges adattömörítést alkalmazó konzumelektronikai.
- Az előbbivel a sokcsatornás stúdiómegoldás és az otthoni (CD grabbelés)
- Utóbbi: MiniDisk (MOD)

MiniDisc (MOD)

- MiniDisc nem professzionális eszköz, a stúdiókhoz alkalmatlan (ellentétben az R-DAT-al), mert veszteséges adattömörítést alkalmaz.
- MP3-szerű, itt ATRAC-nak hívják az eljárást.
- Célja volt: hordozható (MiniDisc walkman) és könnyen felhasználható írható/törölhető eszközt adni a felhasználók kezébe.
- Nem professzionális és nem is életképes (nem kompatibilis, drága).
- Alternatíva: MP3 (CD-n vagy memórián).
- MOD a Magento-Optical-Disc rövidítése, magyarul a mágneses-optikai lemez. Az ilyen lemezek tulajdonsága, hogy a rögzítés a lemezen mágneses elven történik (doménekben), de a kiolvasás optikai úton, lézerrel történik. A lézer a beírás során is részt vesz a folyamatban. A MOD lemezt tehát úgy képzeljük el, mint egy kis floppy lemezt, amit lézerrel olvassunk ki.

Analóg és digitális soksávú rögzítés

- Kezdetben a sztereó felvételeket két mikrofonnal készítették.
- A többcsatornás rögzítés azt jelenti, hogy annyi csatornánk van, ahány mikrofonunk. Ez tipikusan 4, 8, 16, 24, 48 stb. csatornaszámok szoktak lenni.
- A szalagosokat lineáris editoroknak is nevezzük, hiszen a hozzáférés az adatokhoz, a csatornák egyes részeihez soros módon történik: oda kell csévélni a szalagot. Ez nagyon sok időbe telik és pontos időköz szinkronizációt igényel. Lineáris editor tehát lehet analóg és digitális is, de mindenképpen szalagos. A nem lineáris editorok ennél jobbák, ez a szinonimája a hard-disk alapú merevlemez rögzítőknek. A PC otthon is ilyen eszköz.
- Az ilyen felvevőknek (szalagos esetben) annyi lejátszó, felvevő és törőfeje van, ahány csatornán dolgozik. A hozzá tartozó szalag is lényegesen vastagabb a megszokottnál, mert párhuzamosan több csatorna fut.



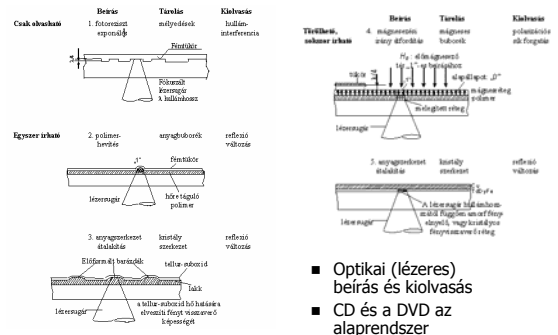
- Fostex 8 csatornás merevlemez rögzítő, 1.3GB SCSI HDD-vel



- A sztereó hangkép nem a felvétel során áll elő, hanem a hangmérnök keveri ki a keverőasztalnál a felvett csatornákból.
- A nagy előnye a dolognak, hogy nem kell egyszerre zenélni (rájátszás).
- Különösen az énekes szokott többször próbálkozni, és akár tucatszor is felénekli ugyanazt a számot, majd kiválogatják belőlük a legjobban sikerült részeket.
- Az utólagos korrekciós lehetőségek is szélesebbek: nem kell az egész felvételt, elég az adott sávokat változtatni, vágni, erősíteni, sebességet változtatni, effektekkel dúsítani.
- Van undo!
- A csatornaszámmal együtt a szalag szélessége is növekedett (4 sávhoz 1 collos szalag, 24 sávhoz már 2 collos kellett).
- Manapság merevlemezsek vannak.

- Harmadik alkalom vége
- Házi feladatok?
 - Emlősök, majmok egyéb állatok hallása, hallásküszöbe, frekvenciája
 - Gyerekek térhallása vakon
 - Tengerimalac teszt?
 - Fülkagyló „leragasztása”, gyurmával kitöltése, úszósapka használata térehalláshoz?

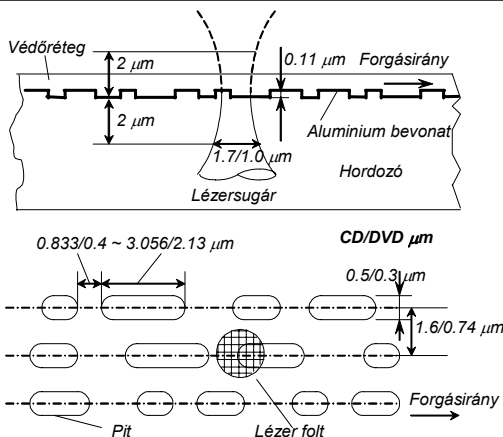
Lézerlemez rendszerek



- Optikai (lézeres) beírás és kiolvasás
- CD és a DVD az alaprendszer

Kiolvasás elve

- Hulláminterferencia
- A pit-ek a land-eknél $\lambda/4$ -el mélyebbek, így a visszavert hullámot hozzáadva a kiadottnak vagy erősítés vagy kioltás lesz.
- Az egész felület visszaverő, és a púposodást kell létrehozni.



CD

- Három folt: segédfoltok a sávkövetéshez, autofókusz.
- NRZI beírás: 1-es bit a pit és a land határán, 0-s bit a mélyedésben és a tetőn.
- 1,4Mbps nettó helyett hibajavítással, redundanciával 4,3Mbps-re nő.
- Hiba ellen: Reed-Solomon kód és keresztátszövés. (Szalagos esetben és digitális rádiózásban is van.)

Hiba esetén

- Kép és hang esetén: interpoláció
 - Lineáris (átlagképzés)
 - Betartjuk a Shannon-tételt!
 - Nagyfrekvenciás információ veszik el általa.
- Adat esetén nem lehet: CD-ROM-nél járulékos hibajavítás (640 MB csak a hasznos hely).
- Megéri a redundancia! Jól használható a CD a bakelithez képest.

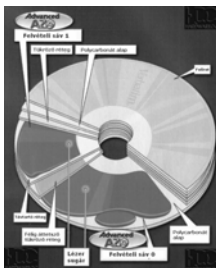
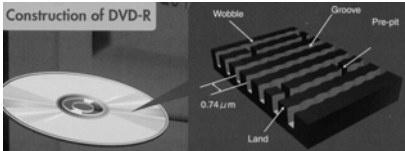
DVD



- A DVD rövidítés: Digital Versatile Disc (sokoldalú lemez), vagy az újabb a Digital Video Disc.
- A cél az volt, hogy
 - megtartsák a CD-nél megszokott 12 cm átmérőjű lemezt.
 - A DVD lejátszók kompatibilisek legyenek „lefelé”, azaz képesek legyenek lejátszani a CD-ket (gyárt és írottak), valamint a VCD (Video CD) lemezeket is.
 - Ráférjen legalább egy film, extra szolgáltatásokkal, melyek a videón nem lehetségesek (pld. több nyelvű hang, feliratok, közvetlen jelenetválasztás, extrák stb.)
 - Régiókódolt legyen és másolásvédelem.
- A probléma megoldás kettős volt: egyrészt a lemez technológiailag lett fejlettebb: sűrűbbek és vékonyabbak a pitelek, így eleve több adat kerülhet egy oldalra. Továbbá, két réteget hoztak létre, amely ismét megduplázza egy oldal adatmennyiségét.

- A kétrétegű lemezek „felső” rétege féligáteresztő jellegű, így arra a lézer nem csak ráfókuszálni tud, hanem át is haladni. A kiolvasás elve pontosan ugyanaz, mint a CD-nél, csak itt pontosabb fókusz és sávkövetés szükséges.
- Lehetőség van továbbá két oldalas/két rétegű lemezek gyártására is, azonban utóbbi nem terjedt el. Ennek oka, hogy technológiailag egyszerűbb és olcsóbb két darab egyoldalas lemezt elkészíteni, és „látványosabb” is.

Construction of DVD-R



	DVD		CD	Egység
	8 cm	12 cm		
Lemez: külső átmérő	80	120	120	mm
vastagság		0,6	1,2	mm
Barázda: belső átmérő	48	48	46	mm
külső átmérő	76 (70)	116 (110)	117	mm
szélesség		0,3 ?	0,5	µm
távolság		0,74	1,6	µm
Lézer hullámhossz	350-650		780	nm
Bit hosszúság (névl.)	0,13-0,146 ?		0,278-0,324	µm
Pit hosszúság min.	0,4 - 0,44		0,83 - 0,97	µm
max.	1,87 - 2,13		2,29 - 2,67	µm
Hibajavító kód	RS		RS	
	szorzat kód		szorzat kód	
Hibajavító redundancia	13		25	%
Kapacitás	1,4, 2,6, 2,9, 5,3	4,7, 8,5, 9,4, 17,0	0,65, (CD ROM), 0,8, (Zenei CD)	GByte
Csatorna moduláció	8/16		8/14	
Adat áram (netto)	11,08		1,41	Mbit/s
Adat áram (bruttó)	26,16		4,3218	Mbit/s
Lineáris barázda seb. ER	3,49		1,2 - 1,4 (*8-16-24)	m/s
KR	3,84		-	m/s
Visszaverődési áll. ER	70		70	%
KR	25 - 40		-	%
KR rétegek távolsága	40 - 70		-	µm

Tömörítés (MPEG)

- 5 GB sem elég a tömörítetlen adatok rögzítésére. Ne feledjük, hogy a színes kép sebessége 80-200 Mbps, a sztereó hangé újabb 1,4 és ekkor még nincs semmiféle hibajavító kódolás!
- A megoldás aztán az MPEG 1 és 2 kép- és hangtömörítési eljárás.
- A többletszolgáltatások: interaktív, animált (mozgó) menük, amelyeket a távkapcsolón át érhetünk el, összesen 8 különböző hangszáv (nyelv) és 32 felirat helyezhető el a szabvány szerint, melyek bármelyike lehet többcsatornás tömörített (Dolby Digital, dts) vagy lin. PCM. Változó képarányok (4:3, 16:9, anamorf szélesvásznú), gyermekzár, koncerteknél különböző kameraállások, karaoke opció és kiváló képminőség tartozik a lehetőségek közé.
- Az MPEG-2 egy kifinomult tömörítési technológia, amelyet a Motion Pictures Expert Group (Mozgóképek Szakértők Csoportja) fejlesztett ki. Számos algoritmust tartalmaz, amelyek a videóképeket ismétlődés és redundancia szempontjából vizsgálják. Ezzel lehetővé válik a lejátszáshoz szükséges adatok nagyságrendekkel történő csökkentése. Minden DVD lejátszó belsejében található egy MPEG-2 dekódoló chip, amely a film kitémörítéséről gondoskodik a lejátszás során.

A CD rendszer fejlesztése

- Három paraméter: csatornák száma, bitek és a mintavételi frekvencia (?)
- HDCD: 20 bites, de a normál lejátszó az idő 5-10%-ban csak 15 bites cserébe.
- 2.0 helyett 5.1
- 44,1 és 48 kHz helyett túlmintavételezés
- 16 bit helyett 24 bit
- 96/24-es rendszerek.

Előnyök

- Dinamika 16 bit x 6 dB=96 dB, teljes kivezérlés mellett, de átlagban csak 10-11 bit = 60-70 dB.
24 bit x 6 dB = 144 dB! (jobb a hallásnál)
- Túlmintavételezéskor
 - Szűrők meredeksége csökken (fázis jobb!)
 - Kvantálási zaj is javul (+6dB kétszereséskor)
 - Át lehet vinni 50-100 kHz-ig is a felhangokat.

Stúdióban

- Számítási műveletek miatt a bitszámok nőhetnek 24-32 bitre is, amit vissza kell bitítani: kvantálási zaj nő.
- Már régóta 96/24 vagy ún. „1-bites” DSD rendszerek vannak (utóbbi is le kell bitítani PCM jellé).
- 2x túlmintavételezés ÉS -1 bit kvantálás = állandó minőség. 64x esetben lehet egybites (és nem PCM) a jel!

BD vs. DVD

Parameters

Storage capacity (single-layer)
Storage capacity (dual-layer)
Laser wavelength
Numerical aperture (NA)
Protection layer
Data transfer rate (1x)
Data transfer rate (movie application)
Video compression

BD-ROM

25GB
50GB
405nm
0.85
0.1mm
36.0Mbps
54.0Mbps (1.5x)
MPEG-2
MPEG-4 AVC
SMPTE VC-1

DVD-ROM

4.7GB
9.4GB
650nm
0.60
0.6mm
11.08Mbps
10.08Mbps
MPEG-2

A BD lemezek maximális tudása 1920*1080 (1080p) pixel a képszabványban, mely a HDTV-t is felülmúlja, csak megfelelő megjelenítő és HDMI 1.3 kell hozzá. A legújabb a HDMI 1.4 ami 3D átvitelhez is jó és kétirányú kommunikációra („Audio return”).

HD hangformátumok

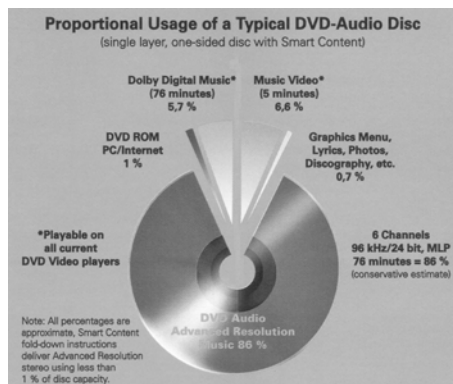
	HD DVD			Blu-ray Disc		
	Statusz	Maximális csatornaszám	Maximális adatátviteli sebesség	Statusz	Maximális csatornaszám	Maximális adatátviteli sebesség
DOLBY TRUEHD	Kötelezően választható	8	18 Mbit/sec	Opció	8	18 Mbit/sec
MLP LOSSLESS	Kötelezően választható	6	9,6 Mbit/sec	-	-	-
DOLBY DIGITAL PLUS	Kötelezően választható	7,1	3 Mbit/sec	Opció	7,1	1,7 Mbit/sec
dts-HD Master Audio	Opció	8	18 Mbit/sec	Opció	8	24,5 Mbit/sec
dts-HD High Resolution Audio	Opció	8	3 Mbit/sec	Opció	8	6 Mbit/sec

High definition audio

- A DVD Video és Audio alapja a DVD ROM. Ugyanaz a hordozó, csak eltérő mennyiségű és minőségű hang ill. képanyaggal.
- DVD-V: AC3 (Dolby Digital) 5.1 hangsáv kerül a lemezre, mely max. 448 kbit/s bitsebességet engedélyez.
- A DVD Audio esetén a hangsúly a hangon van. A szabvány szerint lehetőség van hat csatornán kihasználni a 96 kHz/24 bit felbontást az ún. Meridian Lossless Packing (MLP) veszteségmentes tömörítő eljárással, hasonlóan a WinZip elvéhez.
- Továbbá lehetőség van egy sztereó 24bit/192 kHz-es hang rögzítésére is. Lehetőség van az ún. "Scalable Audio" megoldásra, ahol a hat csatorna eltérő mintavételi frekvenciával dolgozik egy időben.

- Videoanyag is rögzíthető a korongra, de tekintettel a nagy hangadatra, ez általában rövid és inkább állóképek sorozata.
- Lehetőség a Real-time-text, amely vagy a lejátszó kijelzőjén vagy a monitoron (TV-n) jelenik meg, pl. kotta vagy dalszöveg.
- Az MPEG video itt legfeljebb egy videoklip hosszúságú lehet (esetleg Making of Video) és teljesen megfelel a DVD-Video szabvány előírásainak.
- A DVD Audio player mindegyike lejátszsa a DVD Video formátumú lemezeket is. A csak DVD Video lejátszók nem tudják a DVD Audio információt lejátszani.

- A DVD Audio nem védett régióköddel.
- A másolásvédelem első lépcsője a CSS-2 (Copy Scrambling System) illetve a SACD-nél is ismert vízjel. Ez egy el nem távolítható "származási azonosító", amely alapján másolatok sokasága után is visszakövethető az eredet.
- A vízjel nem akadályozza meg a másolást, de a másolatot illegálisnak tüntet(het) fel. A cél nem a saját célú másolások megakadályozása, hanem a nagyüzemi hamisítás.
- DVD AUDIO READY kell legyen minden eszköz!

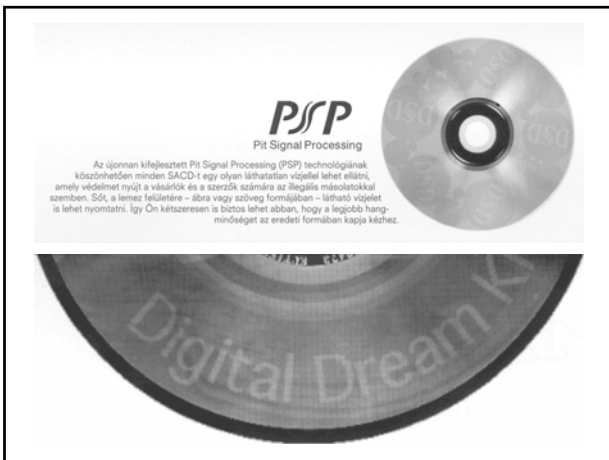
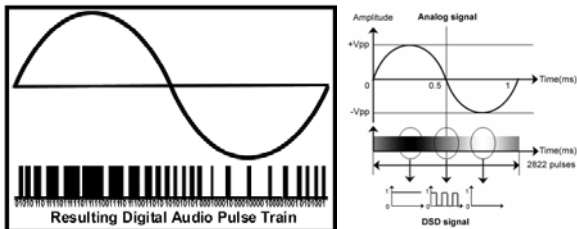


SACD

- A DSD felvételi eljárás (Direct Stream Digital) nagyon jó minőségű felvételt eredményez.
- A rögzítés közvetlenül a hangforrás után történik.
- Itt az analóg jelet 64-szeres túlmintavételezéssel 1-bites digitális jelle alakítják, de a PCM-el ellentétben nem hoznak létre multibites szavakat.
- A felvétel az eredeti 1 bites formátumban áll elő és eléggé érzékeny az átviteli útra és a csatornára.
- A mintavevő-tartó negatív visszacsatolás útján dönt a kimeneti bitről: ha egy mintavételi idő alatt a bemenő jel feszültsége nagyobb, mint a negatív visszacsatolásban érkező érték (ami az előző mintákból származik), a kimeneti bit 1 lesz. Ennek következménye lesz, hogy a pozitív hullámforma 1, a negatív 0 bitet eredményez, míg a zérust az alternáló 101010...sorozat reprezentálja.

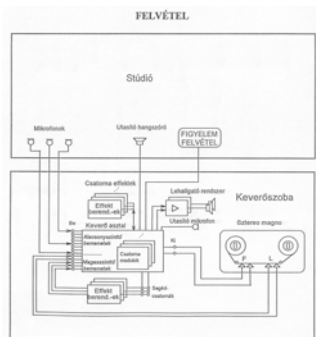
- A dekódoláshoz tehát elég egy egyszerű aluláteresztő szűrő.
- A bitsebesség 2 822 400 bps. A Super Bit Mapping Direct lehetővé teszi ennek 16 bites kompatibilis PCM-é alakítását, a maximális felminőség megőrzése mellett.
- Könnyedén konvertálható egyszerű szorzással és osztással minden szokványos PCM mintavételi frekvenciára.
- A DSD bitfolyamból (mivel 1 bites jelsorozat) az analóg jel "láthatóan" előállítható, ellenben a PCM jellel, ahol a digitális PCM jelből az analóg jel viselkedése nem rekonstruálható.
- PDM: pulzus sűrűség moduláció: a pillanatnyi jelváltozással arányos az 1-0-sorozat sűrűségével.

DSD jelfolyam (PDM)

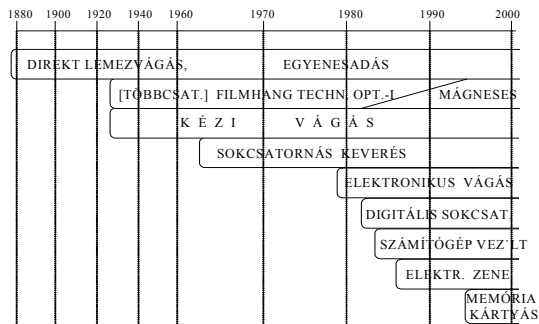


Stúdiótechnológiák

- A stúdió

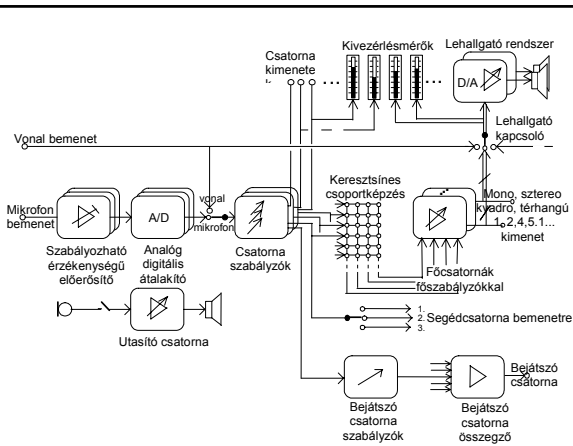


Stúdiótechnológia történelem



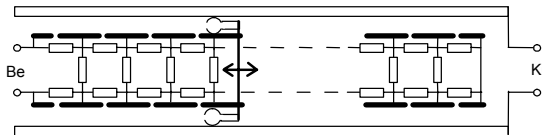
A keverőasztal

- A keverőasztal csatornamoduljai azok, amelyek különböző feladatokat látnak el a hangkeverés, mixelés során.
- Ez lehet egyszerű hangerősség-változtatás (szintszabályzó), lehet ún. iránykeverő, hangszínszabályzó, sávhatároló és szűrő, csúcshatároló vagy limiter. De ide tartoznak az effektek és a kivezérlésmérés is.

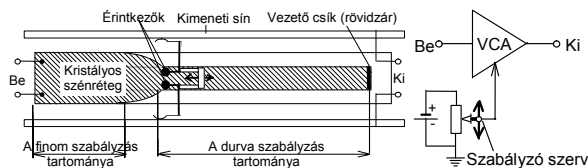


Szintszabályzó

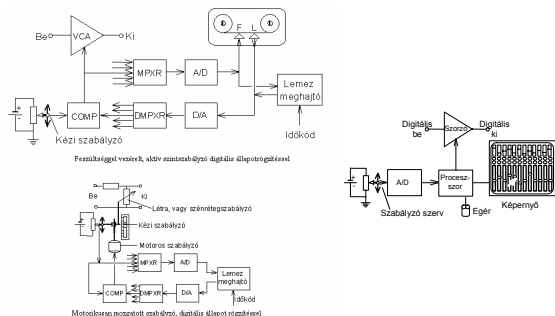
- *Szintszabályozásnak* nevezzük az egyes csatornák erősségének (hangerejének) beállítását.
- Ez tipikusan potméterekkel történik vagy grafikus felületen.
- A legkorábbi megoldás az ellenálláslánc (ellenállás létrahálózat) volt, amely diszkrét értékeket tett lehetővé egy csúszóérintkezővel.



- A fejlettebb csúszóérintkezős megoldás már nem ellenállásokat kapcsolt, hanem egy kristályos szénrétegen csúszott. Ez folyamatos és pontos szabályozást tett lehetővé.
- A következő lépcső a fejlődésben a feszültségvezérllet erősítők megjelenése volt. Ezek a VCA-k (voltage controlled amplifier) DC feszültséggel voltak vezérelhetők.



- Legmodernebb fajtájuk már digitális vezérlésű és az állapottárolás is megoldható. Egyes esetekben maga a potméter motorikusan mozgatható, így a kimentett állapot későbbiekben motorikusan automatikusan visszaállítható. Manapság a szabályozás számítással történik, közvetlenül a mintákon (digitális osztás, szorzás).

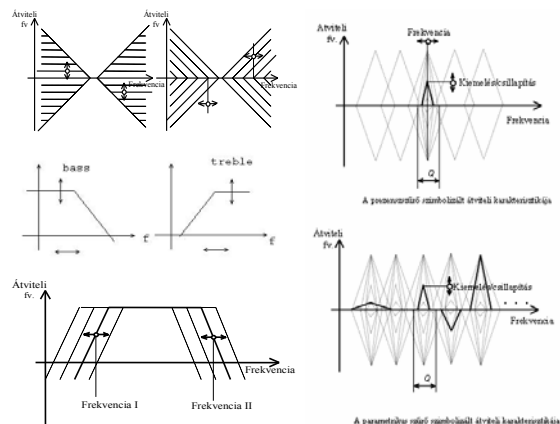
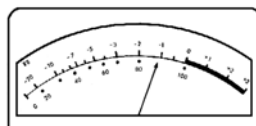


Hangszínszabályozás

- A *hangszínszabályzó* egyszerű elsőfokú szűrő. Aluláteresztő vagy felüláteresztő jellegű.
- A *sávhatároló* ugyanezt a célt szolgálja, törésponti frekvenciák, kiemelés állítható (másodfokú szűrők).
- A *prezensez-szűrő* szintén másodfokú, célja a beszélő egyéni jellegének kiemelése (prezensz = jelenlét). Ezek is sávszűrők, de egy adott beszélő, énekes felső formánsaira vannak hangolva, amelyek – láttuk a magánhangzók spektrumában – a beszélőre jellemzőek.
- *Parametrikus szűrő* többfrekvenciás prezensez-szűrő, a különbség csak annyi, hogy nem szabályozhatjuk a sávközépfrekvenciát (nem hangolhatjuk), hanem kész szűrőkészletből válogathatunk.
- A digitálisan FIR-szűrőkkel megvalósított *grafikus szűrők* „mindent” lehetővé tesznek, tetszőleges paramétert állíthatunk. Figyelni azonban kell a fázisviszonyokra, mert könnyen létrehozhatunk átlapolódó szűrőket, ezért az ilyenek kezelése nem egyszerű. Lehetőség van oktávásos, harmadoktávásos (tercsávás) szűrésre is.

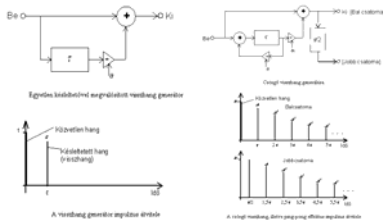
Kivezérlésmérők

- A legegyszerűbb kivezérlésmérő a VU-méter (Voltage Unit). Gyakorlatilag a mutatós műszert nevezték így, amely analóg és tisztán elektrodinamikus elven működik.
- Az átlagolás a mutató mechanikai tehetetlensége által valósul meg (annak tömegét kell növelni nagyobb időállandóhoz).
- Az átlagolási idő viszonylag nagy, 100-200 ms nagyságrendű, ezért a nagy „beütések” amplitúdócsúcsok nem látszanak (kiátlagolódnak).
- Kijelzőskor az átlagos energia tartományában mozog a műszer, ahol az átlagolás ideje a fenti.
- Manapság: LED-ekkel. Csúcs-szint tartás?



Effektek

- A legegyszerűbb effekt a *visszhang*. Ezt egy egyszerű előrecsatolt késleltetővel tudjuk realizálni, hiszen a visszhang nem más, mint az eredeti hang és annak késleltetett, kisebb amplitúdójú verziója. Ha tehát összegezzük az eredeti hangot, és annak T-vel késleltetett és a-val szorzott verzióját ($a < 1$), kész a visszhang-effekt. Ennek bonyolultabb, többszörös visszaverődések által létrehozott fajtája az ún. *csörgővisszhang*.



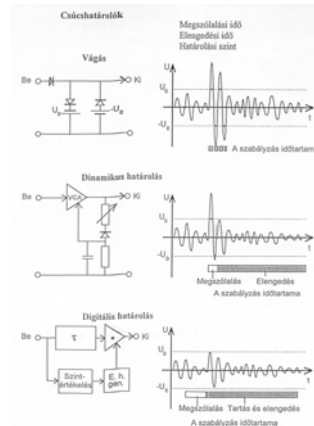
Csörgővisszhang

- A jól visszaverő, egymással szemben levő párhuzamos falak között ide-oda verődik a tapsolás hangja, és a visszavert hang szabályos időközönként éri el a fülünket.
- A csörgővisszhang impulzuszerű, sok nagyfrekvenciás összetevőt tartalmazó hangokkal hozható létre
- Küszöböljük ki az egymással szemben levő párhuzamos felületek okozta csörgővisszhangot. Ezt legegyszerűbben úgy érhetjük el, hogy a két felület visszaverő képességét nagymértékben eltérőre állítjuk be. Ha például a padlót szőnyeg borítja, a mennyezet és a padló között már nem alakulhat ki csörgővisszhang.

Egyéb effektek

- A *hangzásszínezés* az összefoglaló neve azoknak az effekteknek, melyek a hangzást „dúsítják”. Ilyen lebegtetés, elhangolás, fázislebegtetés, kórus, aural exciter (zengetés).
- Kórus-hatást úgy érhetünk el, ha periodikusan ismétlődő és változó késleltetéssel adjuk hozzá önmagához a jelet. Ettől fog úgy tűnni, mintha többen énekelnék azt. A periodikus késleltetést egy kisméretű oszcillátorral állítjuk elő.
- Zengetésnek* nevezzük a felharmonikusban dúsítást, amikor szűrővel leválasztjuk az eredeti jelből a felharmonikusokat, és azokat erősítve adjuk vissza az eredeti jelhez.

Csúcsatárolók



Lehallgató rendszer

- A lehallgató rendszer a stúdió egyik kritikus része, hiszen ezen hallgatjuk vissza a készterméket, itt dől el, milyen lesz a hangzás.
- Ide tartozik a hangszugárzó, az erősítő, a kábelek és a terem akusztikája. Ezt nevezzük monitorláncnak.
- Az erősítőknek is nagy teljesítménytartalékkal kell rendelkezniük. Nem csak a nagy teljesítményű lehallgatáshoz, hanem a torzítatlan tranziensek is igénylik ezt.
- Az aktív többutas rendszerek a legjobbak, ez tartalmazza az erősítővel egybeépített hangszugárzót, általában további (teljesítmény) erősítőt és aktív keresztváltót.
- A többutas megoldás mindenképpen előnyös, így a mélyfrekvenciák nem modulálják meg (Doppler hatás) a magasakat.
- Tény, hogy a kábelek okozhatnak hangzásbeli különbséget, de ennek szerepe nem olyan lényeges, mint amennyire misztifikálják.

- A lehallgató helyiség akusztikája a legnehezebben megragadható paraméter.
- Kevés párhuzamos felület lehet a szobában és sok hangelnyelő anyag.
- Az utózengetési idő beállítása és a reflexiók megszüntetése a cél.
- A közeltéri-monitor: közel tesszük a hangmérnökhöz, aki csak a direkt hangterjedéssel szembesül, így az akusztikai kialakítást megspóroljuk.
- Ezek általában nem adják vissza a teljes frekvenciasávot.
- A közeli falak és felületek hatását ugyancsak nem lehet kiküszöbölni, különösen a keverőpultba helyezett típusok magas hangjai verődnek vissza a pultból (ezért jobb a monitorokat a keverő mögé és nem rá helyezni).
- Arra is számítsunk, hogy a hangszóró környezetében lévő akadályokba beleszámít a felvételi és a lehallgatási szobát elválasztó üvegablak, ami a legrosszabb hatást okozza. Erdemest ezt elfüggyönyözní, eltakarni a keverőskor.
- Ennek ellenére sokan élnek ezzel a kompromisszummal, mert olcsó megoldás, de nagyon fontos a hangszugárzó minősége.