

Hangtechnika

Hallgatói Jegyzet

*Dr. Márki Ferenc – Hangtechnika (BMEVIHIMA12)
c. tárgyának előadásai alapján*

*Készítette: Frankó Mátyás Krisztián
Rozslay Miklós jegyzetei, ill. saját jegyzetek alapján*

Lektorálta: Dr. Márki Ferenc

Módosította: Márki Ferenc, 2018. december 12.

Budapest, 2017. május

Bevezető a hangtechnikáról

A hangtechnika gyakorlói

Hangtechnikus

- Feladata: Drótot teker, majd hangosít
- Stúdióban nem igényel nagy szaktudást, tudja, mit kell tekerni, hova dugni, a legtöbben ennyit tudnak.
- Hallgat – fülét használja, nem igazán kell tudni, hogy miért olyan, amilyen. Mérőszám: hogy hogy szól.

Akusztikus

- Feladata: Hangrezgések terjedése, szimulálása, koncerttermek megtervezése
- Valamilyen mérnököt végez (gépész/villany általában)
- Megtanulja kiszámolni, megépíteni az akusztikus rendszereket
- Pl.: Autó zaja, az ajtó csukódásának hangja,

A hangmérnök

Az előző kettőt összekombinálja. (Ez lesz a tárgy irányvonala).

- Koncerttermet valszeg nem tervez, de látja/tudja, hogyan működik
- Tud hangrendszert összeállítani (de nem ő csörlőzi fel :)
- Mérnöki diplomával rendelkezik. Ugyanakkor: Magyarországon ilyen képzés nincs (Szakmában 90%-nak nincs ilyen végzettsége)

A hangmérnök „fegyverarzenálja”:

- A Rendszertechnika:
- Ha értjük, miért olyan, akkor tudunk komplexebbet/újat is tervezni. Ez az, ami kiemeli a hangtechnikussal szemben
- Akusztikai szaktudás (terem mitől szól, szomszédok hogyan ne őrjítsük meg, stúdió összerakása, stb). A cél az optimális hangosítás (érthető zene, környezet figyelembe vétele, stb)

Tematika

- 1) A teremben megszólaló hang
- 2) A hang érzékelése (pszichoakusztika)
- 3) A hangreprodukció
 - Hangsugárzók: HiFi/PA/Stúdió monitorok
 - Line array / hangoszlop / cluster
 - Aktív/passzív rendszerek
- 4) Átvitel/Rendszertechnika
 - Mikrofonok (hang -> elektromos jel)
 - Jelvezetés (hangtechnikában a rendszerek nagy része analóg és drótos – digitális kényelmesebb lehet, de drága)
 - Effektek
 - i. (elv nem számít, lényeg, hogy jól szóljon)
 - ii. Hangszínszabályozás, dinamikaküszöb, stb
 - keverők
- 5) Mobil hangosítás – sok mindent egyszerűbbé tesz, de lehet vele gond
 - Átviteltechnika
 - Tápellátás

Alapvető fizikai fogalmak

Hangnyomás– p , [Pa]

$$p = 10^5 [\text{Pa}] + AC (= DCtag + ACtag)$$

Mikrofonban: légköri nyomáskiegyenlítő nyílás (kicsi, lassú nyomáskiegyenlítődést tesz lehetővé, így DC-t nem vesz)

Részecskesebesség – v , [m/s]

Megadja, hogy a levegő részecskéi milyen sebességgel mozognak (nyilván statisztikailag a középértéküket).

Intenzitás – I , [W/m²]

$$I = p \cdot v$$

Hangteljesítmény - P_{ak} , [W]

(akusztikai teljesítmény) – P_{ak}

$$P_{ak} = \int I dA$$

Elektromos teljesítmény és Hangteljesítmény között a hatásfok adja a csatolást.

Akusztikai impedancia

$$Z_{ak} = \frac{p}{v}$$

(Akusztikában fontos, mi nem fogunk vele foglalkozni)

Referencia hangnyomás

átlagos ember által 1 kHz-en még éppen hallott értékhez közeli, kerekített érték. Tehát más szavakkal az átlagos hallásküszöb 1 kHz-en: $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Decibelskála

Az emberi hallás nem lineáris (hanem logaritmikus), ezért vezessük be a decibelskálát:

$$dB = 20 \cdot \log_{10} \frac{P_1}{P_2}$$

$$SPL = 20 \cdot \log_{10} \frac{p}{p_0}$$

(Ha SPL épp 0, akkor vagyunk a hallásküszöbnél.)

SPL [dB]	Példa
0	Hallásküszöb
~20-30	nagyon csendes szoba
~50	normál beszéd (1m-ről)
	Városi zaj
~70-80	klasszikus zenei koncert
~90	halk könnyűzenei koncert
~105	nagy koncertek (sziget)
120-130	fájdalomküszöb (de ez erősen személyfüggő)

(ez 6 nagyságrend!)

Logaritmikus azonosságok

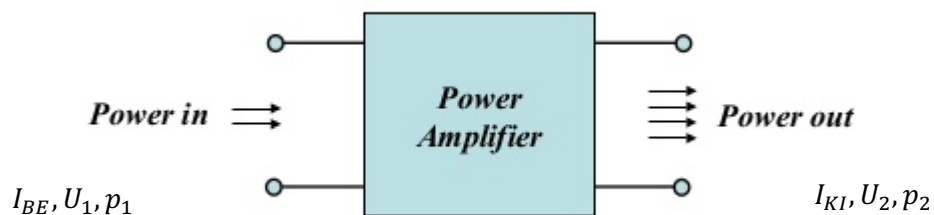
Egy kis elemi matek emlékeztető:

$$\log(a^b) = b \cdot \log a$$

$$\log(a \cdot b) = \log(a) + \log(b)$$

$$\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log(a) - \log(b)$$

Erősítés



A rendszer erősítése:

$$10 \cdot \log_{10} \frac{P_1}{P_2} = 10 \cdot \log_{10} \frac{U_1^2}{U_2^2}$$

Hatványozás helyett segít ez a táblázat:

lineáris	dB
10x	20
$\sqrt{10} \approx 3.3x$	10
2x	6
1x	0
$\frac{1}{2}x$	-6
$\frac{1}{\sqrt{10}} \approx 1/3.3x$	-10
1/10x	-20

Pl.:

$$5x = 10x \cdot \frac{1}{2}x \Rightarrow 20dB - 6dB = 14dB$$

Feszültségreferenciák: dBV (referencia: 1V -> dBV)

Ha az elektromos jel -10dBV = 0.3 V

Különböző dB definíciók:

Különböző dB fogalmakat definiálhatunk, annak függvényében, hogy a referenciaszintünk az alábbi képletben mi:

$$dB = 10 \cdot \log_{10} \frac{U^2}{U_{ref}^2}$$

	dBV	dBm	dBu
Referenciaszint	1 V	1 mW	0.774 V

dBV

Def.: A feszültség, dB-bel kifejezve, az 1 V-os referenciaszinthez képest. (Tehát $10 \cdot \log_{10} \frac{U^2}{1V}$)

Ha például a kivezérlésjelző +6dB-t jelez és a kimenet -10dBV-t szűr

Akkor: -10dBV-hez képest 6dB pluszban vagyunk => ~0,6V

(mert -10dBV = 0.3V; -10dBV + 6dB = 0.3Vx2)

dBm

Def.: Hasonlóképpen a dBV-hez, csak itt nem 1V, hanem 1mW lesz a referencia

telefon: 600Ω

dBu

A hangtechnikában ezt használjuk.

ref: 0.774V (származtatás: $U = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{1mW \cdot 600\Omega} = 0.774V$)

+4dBu → ~1.2V

Pl.: max jel: +20dBu

Kivezérlésjelző (pulton) maximumnál mit mutat? → 16dB (a pultban a +4 dBu a nulla)

Amikor tehát 0-t mutat, akkor a pult kimenete +4dBu)

(Pultnál fontos, hogy belső feldolgozáskor sem vezérlődjön túl tehát ha végig hangos, majd a végén lehalkítva → ez se jó)

dB SPL

SPL = Sound Pressure Level

Hangszóró 98dB → 98dB SPL (1m-en, 1W teljesítményre)

	Gömbhullám	Hengerhullám	Síkhullám
Modell	"Lélegző gömb"	hosszú pulzáló drót	egy (végtelen) lap (mozog előre-hátra)
A (felület)	$\sim 4r^2\pi$	$\sim 2r\pi$	konstans
I (intenzitás)	$\sim 1/r^2$	$\sim 1/r$	konstans
dB/távduplázás	-6 dB	-3 dB	0 dB

$$P_{ak} \rightarrow I = \frac{P_{ak}}{A}$$

Látható, hogy jó lenne a hengerhullám (távduplázáskor -6 dB helyett csak -3 dB). Fontos azonban megjegyezni, hogy a line array NEM azért jó, mert hengerhullám lenne, hanem azért, mert messzire nagyobb hangerővel lő, ezért ~kb konstans hangosít (ld. később részletesebben)

Mélynyomók

Minél mélyebb frekvenciákon akarunk hangokat megszólaltatni, annál nagyobb hangszóróra van szükségünk. Ennek az oka az, hogy nagy frekvenciákon a levegő „kemény” – jó csatolást biztosít,

könnyen le tudja sugározni a teljesítményét, míg alacsony frekvenciákon ez a csatolás elromlik. Ezért itt nagy(obb) felület kell, hogy le tudjuk adni a hangteljesítményt.

Csatolás (légtömeg megmozgatása) frekvenciafüggő

- Nagyfrekin a levegő „kemény” – jó átadás
- Kisfrekin rossz a csatolás – nagy felület kell

Hogyan lehet mégis, hogy vannak kicsi subwooferek (amik nem feltétlenül szarok)?

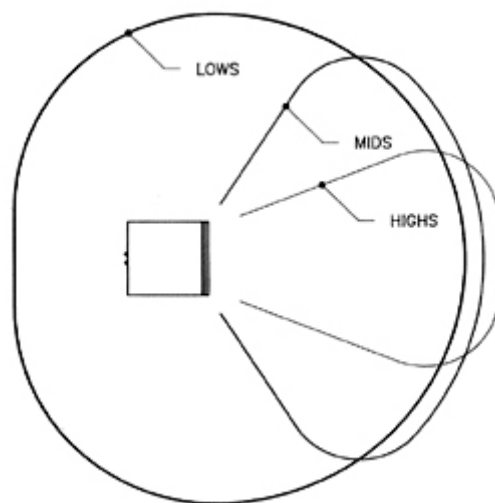
Úgy, hogy:

- Nagyobb teljesítményt adunk rá
- Nagyobb mozgás, nagyobb kilengés → nagyobb légtömeget mozgatunk meg

Ehhez lágy felfüggesztés kell, vagyis nagy kitérésű hangszóró, de ennek van hátránya: az alacsony frekvenciás nagy kilengésekre mintegy „felülhetnek” nagyobb frekvenciás tagok, melyek így doppler eltolódást szenvednek (ráadásul érzékenyebb, könnyebben tönkre tudnak menni)

Irány-karakterisztika

Az irány-karakterisztika is erősen frekvenciafüggő. Minél magasabb a frekvencia, annál inkább irányítottabb:



Magasabb frekvenciákon sokkal irányítottabb a hang

Ennek az oka a hullámhossz frekvenciafüggésében keresendő:

$$c = f \cdot \lambda$$

Ahol $c \approx 340 \text{ m/s}$, de ez erősen hőmérsékletfüggő!

Például:

100 Hz 3.4m

40 Hz ~8.5m ← a 30 centis hangszóró ehhez képest picit → gömbként fog sugározni

10kHz 3.4 cm ← gyakorlatilag sík, de irányítottabb (csak előre küld) ← oldalról tompán szól

Több hangszóró egymás mellett ezt még jobban erősíti: ez nem szól jól

A valódi hangszóró tehát **irányítottsággal rendelkező pontforrás**.

Közeltér/Távoltér

Def(1)

Ahol a hangsugárzó iránykarakterisztikája már nem változik

Def(2)

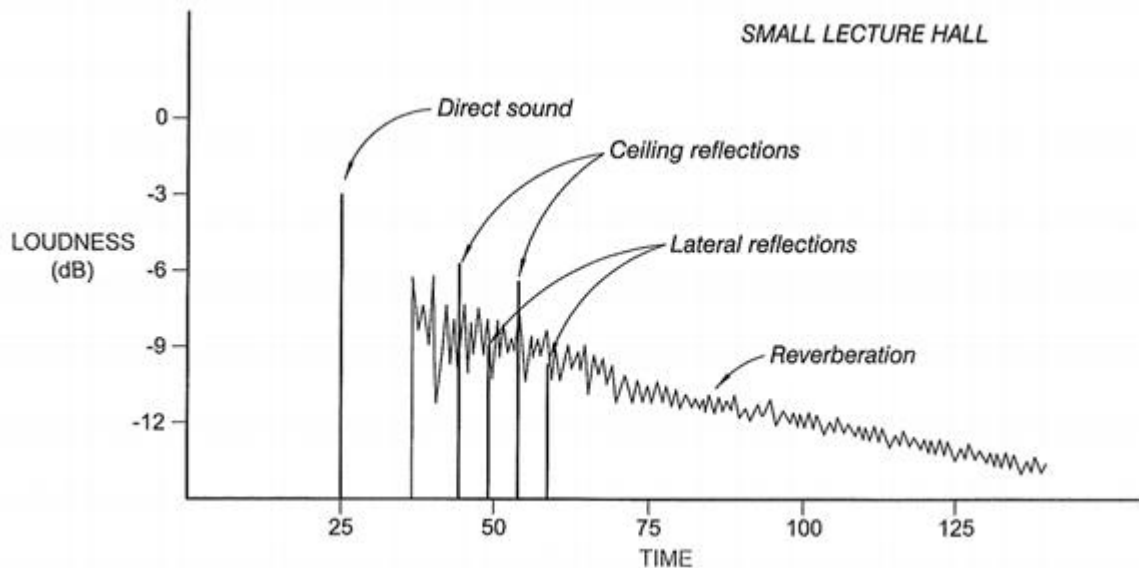
$K \cdot r \gg 1$

(k = hullámszám, r = távolság)

Teremakusztika

A teremakusztika legfontosabb eredményeit tárgyaljuk ebben a fejezetben.

Echogram



Echogram áll: direkt hangból, majd korai visszaverődések (ábrán: ceiling/lateral reflections), és végül egy egybefüggő, egybeolvadt zengő szakaszból (ábrán: Reverberation). Ezen szakasz esése a teremre jellemző.

- Az első részt lehet még szimulálni/modellezni a hangutak konkrét kiszámításával, a zengő szakasz azonban csak statisztikai módszerekkel írható le.
- A direkt hang után egyre több tag, egyre kisebb intenzitással, mivel a falak elnyelnek illetve $1/r$ -es gyengülés van a távolodással.
- Az echogram jól jellemzi az adott termet.
- Az elnyelési tényező: $\alpha = \frac{I_{be} - I_{ki}}{I_{be}}$ [%]

Utózengési idő

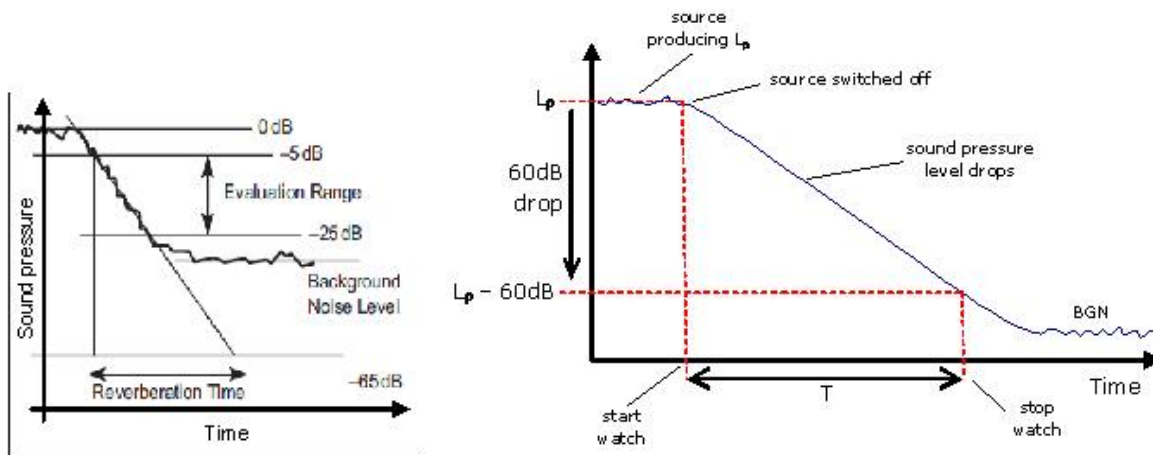
T_{60} : Az az idő, ami a bekapcsolt forrás állandósult hangjának kikapcsolása után el kell, hogy teljen, hogy az állandósult állapothoz képest -60 dB SPL csillapodás legyen mérhető (a kiinduláshoz képest).

2 probléma:

- 1) Alapzaja van a teremnek ami már -60 dB körül zavaró tud lenni
- 2) Oszcillálva csökken a teljesítmény

Ezért ehelyett T_{20} -at ill. T_{30} -at szoktak mérni (-5-től -25ig illetve -5-től -35-ig. Azért -5dB-től, mert a direkt visszaverődés miatt még eleinte nagy ugrások vannak, és arra nem vagyunk kíváncsiak)

EDC görbe (Energy Decay Curve)



Itt a hangerő csillapodását nézzük az állandósult állapothoz képest, miután azt kikapcsoltuk.

$$EDC = 10 \log_{10} \frac{\int_t^{\infty} |p(t)|^2 dt}{\int_{-\infty}^0 |p(t)|^2 dt}$$

Megj. 1: Az alsó tag az impulzusválasz, a felső tag pedig egy „csúszóablak”)

Megj. 2: Az emberi fül 0..30 ms között integrál, 50 ms fölött késleltetésnek/visszhangnak, különálló hangoknak észleljük

Sabine empirikus formulája

$$T_{RT} = 0.161 \frac{V}{S_A}$$

Ahol V a terem térfogata, S_A pedig az ekvivalens elnyelési felület. (Pl ha $\alpha=100\%$, vagyis 100% az elnyelés, az pl azt jelenti, hogy van egy ablak, amin minden kimegy, ha pedig $\alpha=0\%$ az pl márvány, mindent visszaver)

Így tehát

$$S_A = \sum_i \alpha_i A_i$$

vagyis a különböző felületek összeszorozva saját elnyelési tényezőjükkel, majd felösszegezve.

A baj: az elnyelés (α) frekvenciafüggő..

Norris-Eyring

Az átlagos távolság (L) reflexiók között (téglalap alapú terem) esetében (V térfogat, S felület):

$$L = \frac{4V}{S}$$

Tehát másodpercenkénti reflexiók száma:

$$N = \frac{cS}{4V}$$

Minden egyes reflexiónál veszítünk az energiából valamennyit, ez a szorzó: $(1 - \overline{\alpha}_E)$ ahol $\overline{\alpha}_E$ az átlagos elnyelés

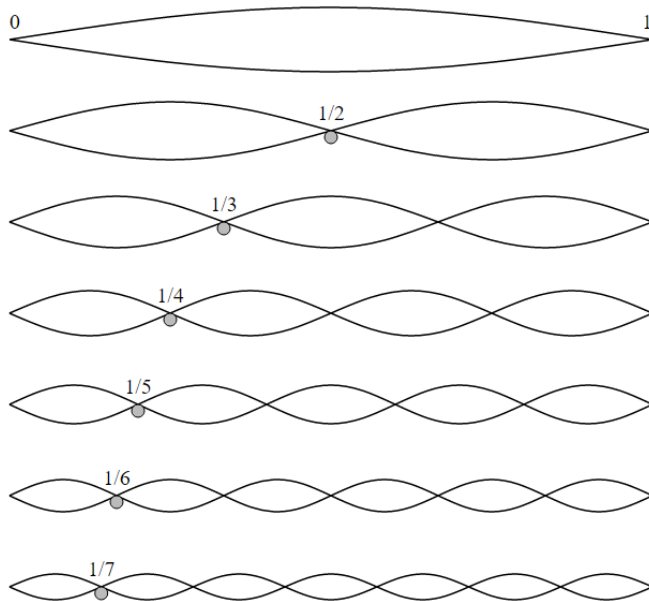
Így T idő eltelte után a teljes csillapítás $(1 - \overline{\alpha}_E)^{N \cdot T}$ lesz. Azt szeretnénk tudni, mikor éri ez el az utózenngési időt (T_{60}), vagyis:

$$10 \lg(1 - \overline{\alpha}_E)^{N \cdot T} = -60 \text{ [dB]}$$

T-re rendezve megkapjuk a Norris-Eyring formulát:

$$T = \frac{0.161V}{-S \ln(1 - \overline{\alpha}_E)}$$

Teremrezonanciák



Állóhullámok alakulhatnak ki a két fal között. Mivel a diffúz tereket szeretjük – ilyenkor egyenletes hangenergia eloszlás a térben – ezért az állóhullámok előnytelenek, kialakulásuk kerülendő.

1 dimenziós tárgyalás esetén egy L hosszúságú teremben az alábbi állóhullámok jöhetnek létre:

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2} = n \cdot \frac{c}{2f}$$

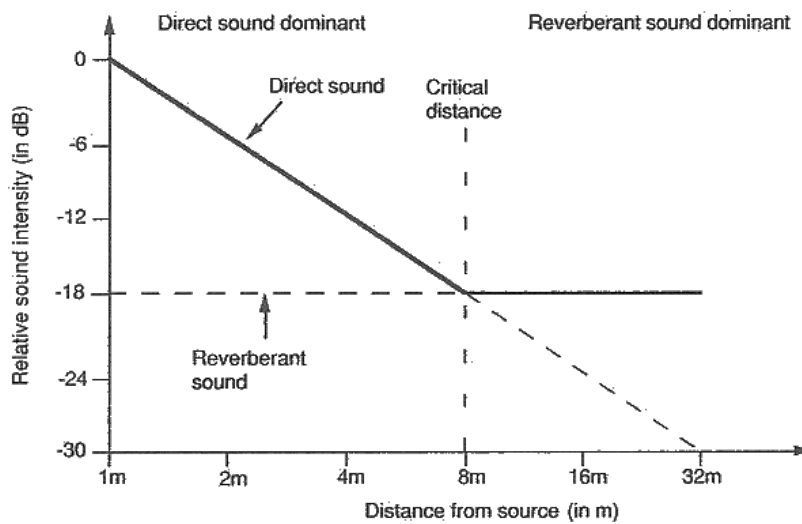
Egy adott frekvenciára átrendezve így:

$$f = \frac{c n}{2L}$$

3D-ben hasonlóan felírható, ekkor:

$$f = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{L_z}\right)^2}$$

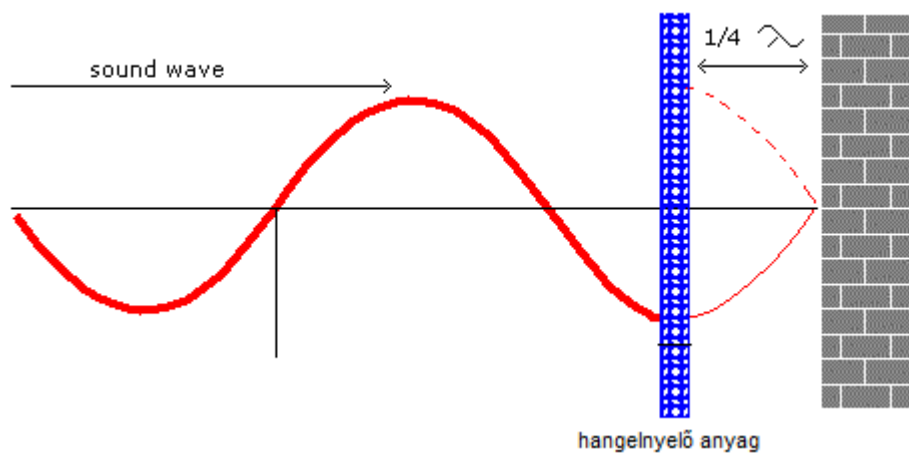
Kritikus sugár



Kritikus sugár az a táv a hangszórótól, ahol a direkt hang és a zengő tér hangereje megegyezik. (Értelem szerűen egy adott teremre lehet meghatározni.)

Hangelnyelés

1) $\lambda/4$ -re szálás anyag



Az ötlet: $\lambda/4$ -re szálás anyagot rakunk. Azért szálás, mert

- keményről visszaverődne (lásd: márvány)
- puhán gondtalanul átmenne

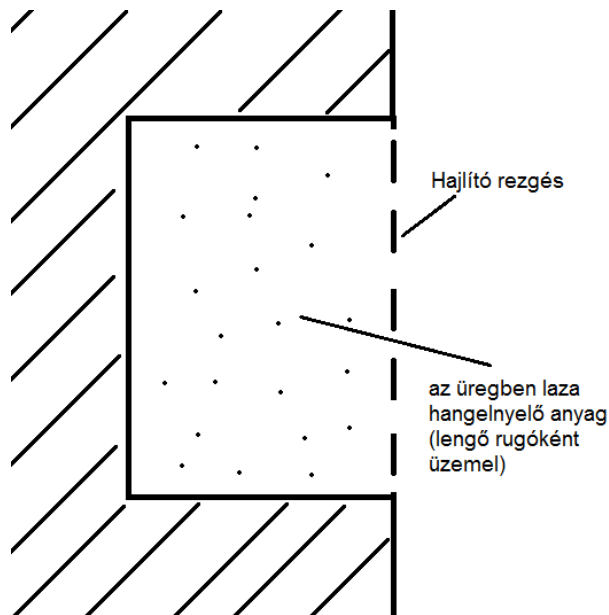
Ha esetleg nem pont a maximumba rakjuk, hanem odébb, akkor is működik, csak kisebb hatásfokkal.

Mivel megvalósítás szempontjából kb ~ 10 cm vastag anyag reális, ezért ez $\lambda/4$: 800Hz-ig tud optimálisa tompítani (alatta nem). Süketszobában (épp ezért) akár méteres falak lehetnek, hogy mélyebb frekvenciákon is tudjon tompítani.

Amennyiben utólag építenénk be egy terembe, úgy nyilván kicsit macerás, mert jellemzően nem akarjuk teletűzdelni a helyet hangelnyelő oszlopokkal. Persze az akusztikában más területeken is kihasználhatjuk a $\lambda/4$ -es szabályt, pl.: ha egy kipufogót vagy szellőzőjáratot szeretnénk halkabbá tenni, akkor $\lambda/4$ -nél beszúrunk egy leágazást (rezonátort helyezünk el), és így tudunk hangot elnyelni.

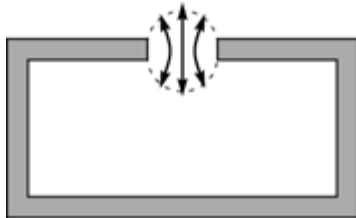
2) Helmholtz-rezonátor

A) típus:



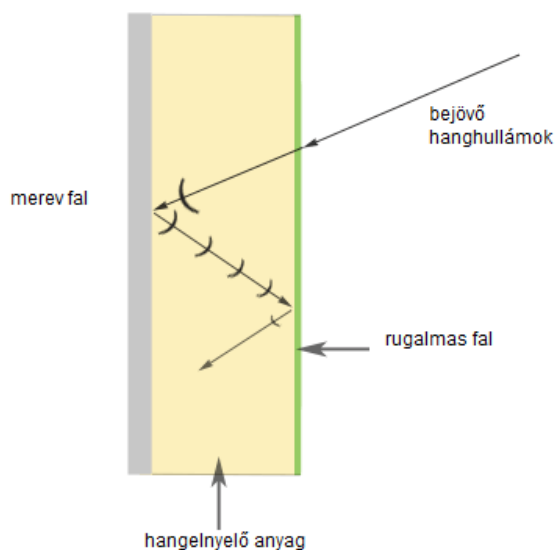
- Az üreg fala hajlító rezgést képes végezni
- A belseje lazán kitöltve hangelnyelővel
- Rezonanciafrekvencia környékén jól nyel

B) típus:



- A légrésben levő légdarabkának van tömege → ez végez rezgőmozgást, ez rezonál.
- Gyakorlati megvalósítás: vastag perforált lemez (azért vastag (~1.5-2cm), hogy legyen tömege a légdaraboknak)
- (Megj.: kicsi subwooferekben hasonló elv: üreg + légtömeg ← a légtömeg mozgása az, ami indítja a hullámot)

3) Hajlító rezgést végző fal



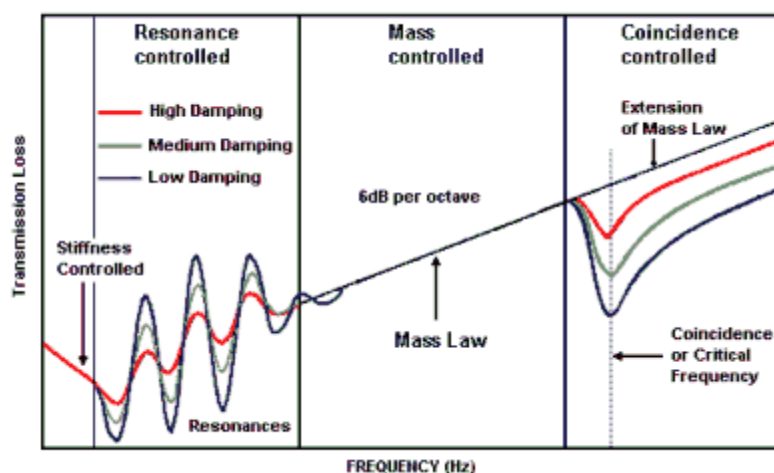
Merev fal (pl.: beton), előtte "puha", vagyis hajlító rezgésre képes fal (pl.: gipszkarton), köztük hangelnyelő anyag (az ottani térben fellépő rezonancia csillapítására)

Kitérő megjegyzés: Vegyük észre, hogy a tojástartók, ill az abból készült falak a fentiek egyikének sem felelnek meg. A falhoz közel van, vékony, ezért legfeljebb kHz-eken csinál valamit (ott csinál azért). A tojástartókhoz hasonló dolgokat láthatunk süketszobákban (kis gúlaszerű cuccok), ezeknek a célja az, hogy a beeső hangokat minden irányba visszaverjék. Ezt a tojástartók is megteszik, de az, hogy milyen frekvencián, az a méretüktől függ → mivel kicsik, ezért szintén csak nagyfrekvencián csinálják azt

Hanggátlás

1) Egyrétegű fal

- Itt a TÖMEG számít (tehát pl: 5 centi hungarocell, 5 centi beton, 5 centi fa közül a beton lesz a legjobb)
- 1 m^2 tömege (szemből nézve) az, ami meghatározza a hangelnyelést
- Hanggátlás: $R = 20 \cdot \lg(m \cdot f) - 48 \text{ [dB]}$ \leftarrow (m a tömeg, f a frekvencia, de nem kell tudni)
- 2x akkora tömeg $\rightarrow +6 \text{ dB}$ tompítás
- Mi szab gátat? \rightarrow a súly: mit bír el a földem (ésszel építünk tehát betonból fél méteres hanggátló falakat a lakás közepére, mert az alulsó szomszédnak a plafonja megereszkedik/megreped/beszakad/stb.)
- Tipikus csillapítás: 10 cm-es fal $\rightarrow 44..52 \text{ dB}$
 - A beszélgetés nem megy át
 - Hangosabb zene¹ (80-90 dB) \rightarrow átmegy, túloldalt 30-40 dB (ha csend van, hallják; az, hogy zavarja-e őket az erősen tartalom-, és fűfüggő)



Jellemző fal csillapítása a frekvencia függvényében

- A rezonanciafrekvencia tipikusan $< 20 \text{ Hz}$, így nem okoz problémát nekünk.
- Ugyanakkor látjuk, hogy alacsony frekvenciákon rosszabb (ezért halljuk a szomszédból a mély hangokat tipikusan), és hogy a koincidenciafrekvencián magas hangoknál van még egy bemélyedés a karakterisztikában (de az is tipikusan olyan magasan van, hogy szintén érdektelen számunkra).

¹ Nem kell túl sokra gondolni, szimpla piano is kiad ennyit, akkor is, ha nem verjük.

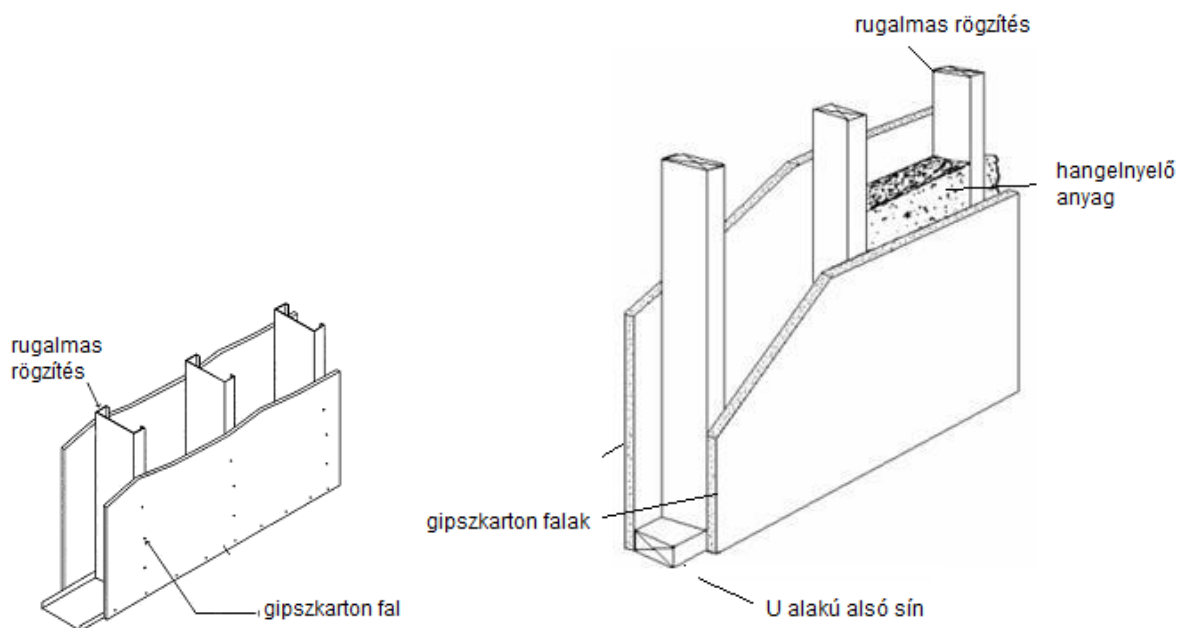
2) Dupla fal

- Nincs a kettő között teljes hangtér
→ Más itt a csatolás, tehát -30dB-es fal esetén NEM „50 dB → 20 dB → eltűnik” lesz!
- Ez inkább annak a felépítésnek felel meg, hogy: rugó-tömeg-rugó-tömeg => másodfokú szűrő (két elsőfokú egymás után) → **12 dB/oktáv csillapítás**
- Általánosságban elmondható, hogy ez a jó (/legjobb) megoldás

Fontos:

- Megfelelő mennyiségű légrés legyen (vagyis legyen légrés, azaz üres hely a két fal között)
- Ne fúrjuk tele a falat
- A falnak legyen valami súlya (pl.: hőszigetelő téglá olcsó és jó a hőszigetelése (mert levegős belül), de akusztikailag nem tompít semmit)
- Ne legyen csatolás a két fal között! (Pl.: beton befolyik a kettő közé, és összeköti a kettőt → instant akusztikai rövidzár)

3) Gipszkarton



- Gipszkartont vékony, jól hajló fülekkel rögzítjük (ha ehelyett merev rögzítés, akkor az elszarja az egészet)
- Tipikusan előtétfalnak használjuk (vagyis mögötte ott kell, hogy legyen a betonfal)
- A gipszkarton rezgőmozgása fogja fel a hangenergiát

Protippek:

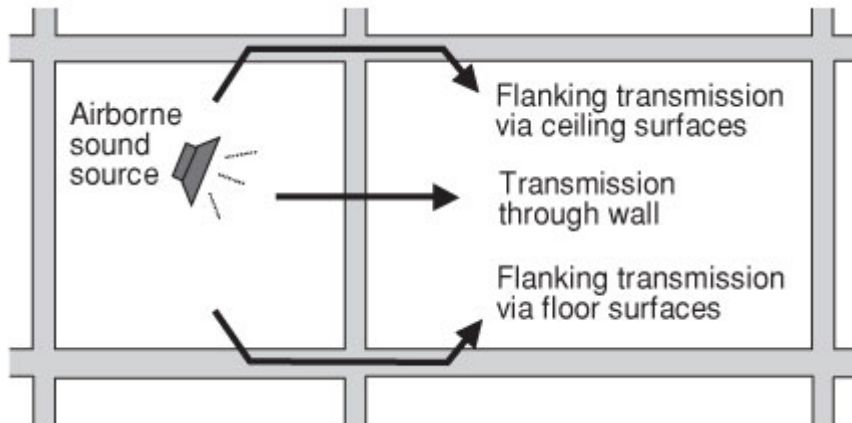
- Kőművesnek nehogy mondjuk, hogy hanggátló falat kérünk, mert hirtelen megugrik a tarifa

- Figyeljünk rá, hogy legyen szivacs-csík a két gipszkarton és a fal közt, és hogy ne stafnik legyenek² az összekötők (hanem rugalmas profilok, mint amilyeneknek lennie kell)

A csillapításról általában

Nehéz megmondani, pontosan mennyit fog csillapítani egy fal valójában (bár laborban mérik, de a gyakorlatban sok dolog befolyásolja: lyukak a falon, pl.: ajtórés, konnektor, kábelek elvezetése, stb.).

Példa:



Hiába építünk itt hanggátló falakat középre, ha a hangforrásunk (legyen pl egy zongora):

- A plafont megrezgeti, amin keresztül így át tud terjedni a hang a szomszédhoz
- A talajba leadja az energiát, ami hasonlóan átvezeti a hangot (talán segíthet, ha megemeljük és valami puha, rugalmas anyagra rakjuk rá a példánkban szereplő zongorát)

Födém hanggátlás

Rétegek (oldalról nézve, felülről lefelé):

 Kis súly – hadd rezegjen

 Rugalmas anyag

 Nagy súly

Fontos, hogy ez csak felülről lefele gátolja a hangot! (Tehát ha a szomszéd lentről felkopog, akkor azt jól hallani fogjuk!)

Metronál hasonló szerkezet (ahol a hanggátlás kritikus): a sínek egy betontechnőn vannak, ami alatt rugalmas anyag van, majd az fekszik fel a nagy tömegű alagútra. Így a beton+síntechnő nyugodtan rezeghet, kevésbé lesz zajszennyezés. Sajnos a legtöbb helyen nem így valósították meg, hanem

² Azok ilyen kis merev 5x5ös cuccok, sokkal szilárdabban tartják a gipszkarton, az eredmény az, hogy nem hagyják mozogni rendesen, de cserébe még át is adják a mögötte levő falnak az egészet.

élből hozzacsavarozták az alagúthoz, így tulajdonképpen nincs semmilyen hanggátlás, mert egyből át tudja adni a rezgéseket.

Nyílászárók

- Polgári házakban tipikusan: dupla ablak, azaz két ablak/üveg közt 15 centi rés
- Mostani 2 rétegű üveg: tipikusan 2x4 mm üveg közt 14mm rés, benne argon gáz (hanggátló ablak is ilyen)
- Miért nem csillapít tehát? → mert rosszul csukódik → mellette bejön a hang (kerülőutak!)
- Ezért a jó záródás, és a nyitott levegőutak kiküszöbölése kritikus.

Régi ablakok: 1 helyen fogják oda (érintkezik) az ablakot a kerethez. Fából van, így idővel elkopik a profil, a keret pedig deformálódik.

Újabb ablakok: 2 (vagy több) helyen érintkezik a keret az ablakkal, az a lényeg, hogy minél jobban felfeküdjön.

Hanggátló ablakok/ajtók:

- Minél nagyobb tömege legyen
- Jól feködjön fel
- Több ponton záródó ajtó az ablakoknál elmondott okokból szintén jó (mert jól odaszorítja mindenhol, és minimalizálja/megszünteti a légréseket).
- Ha nincs küszöb, akkor ajtónál a légrés csökkentésénél segíthet pl automatikus küszöb, amely lecsukáskor leereszkedik

Pszichoakusztika

Hangok összeadása

SPL₁, p₁, SPL₂, p₂

Ha azonos frekvenciájú (és fázisú), akkor összegezhető: ilyenkor $p_{\text{sum}} = p_1 + p_2$

Ez gyakorlatilag sosem teljesül, ezért e helyett az energiák összegződnek

$$E_1 + E_2 \approx p_1^2 + p_2^2$$

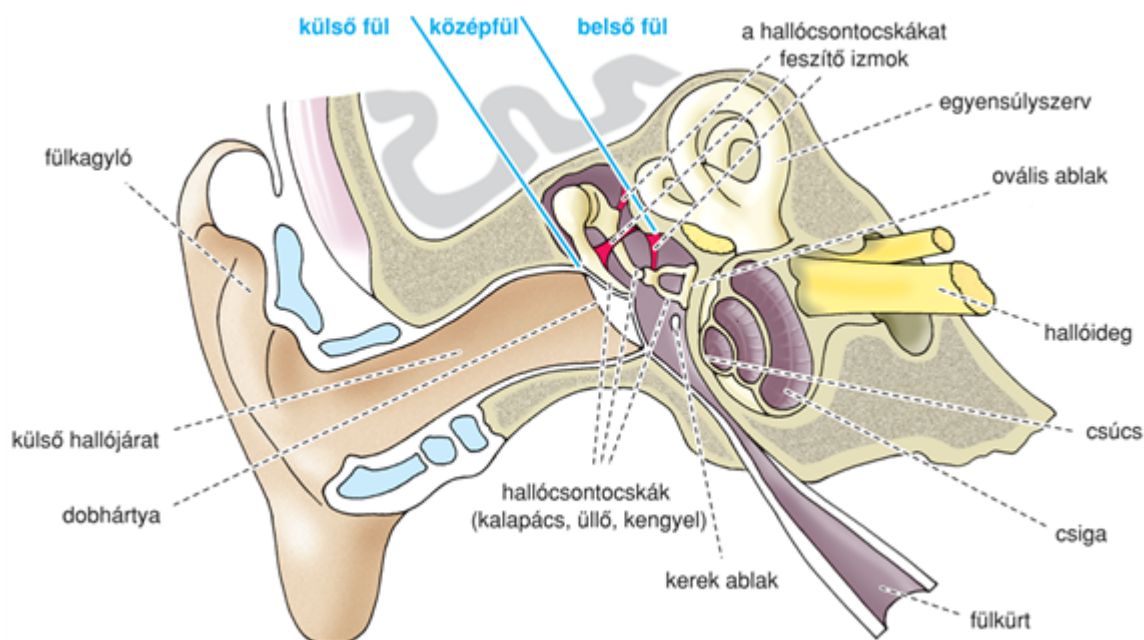
Mély hangoknál λ nagy, így itt megjelenik az azonos (/hasonló) fázis, és így nyomás összegződik.

Továbbá a visszaverődések is - a nagy hullámhossz miatt - közel azonos fázisúak lehetnek, ha falak élei mentén, vagy sarokba rakjuk. Subwoofer esetén így komolyan múlik a lesugárzott teljesítmény annak függvényében, hogy hova rakjuk:

Levegőben (fellógatva)	0 dB
Talajon	+3 dB
Éleknél	+6 dB
Sarokban	+9 dB

Megj.: ez a mérésekre vonatkozik, a hangérzet eltér(het) ettől!

Hangérzékelés



Kívülről befelé haladva:

Fülkagyló: nem számít túl sokat, de kicsit irányít (magasfrekvencián)

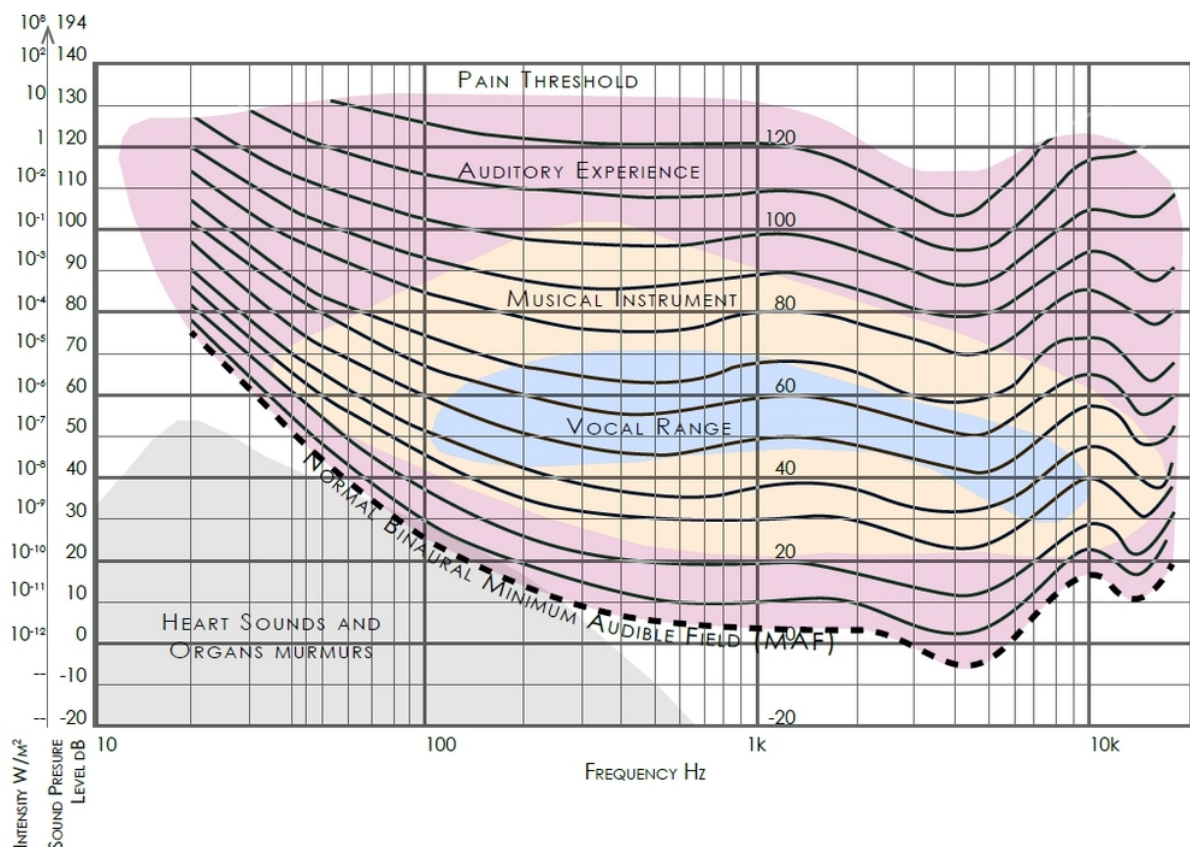
Hallójárat: kb nem számít

Hallócsontocskák: nagyon nagy hangerőknél izmok a csontocskákat széthúzzák (hogy megelőzzék a halláskárosodást). Ilyenkor a jelszint csökken, a torzítás nő

Csiga: belsejében folyadék, ill. baziláris membrán. 2-3000 db szőrsejt (csak!). Tkp. Fourier transzformálja a bejövő jelet, ez jut be az agyba.

Agy: ~CPU

Fletcher-Munson görbék



Fletcher és Munson 1933-ban publikálták tanulmányukat (azóta többször újra mérték a görbéket). Az ábrán láthatók az ún. azonos hangosságú görbék, vagyis egy-egy ilyen görbe mentén az ábrázolt hangokat az ember azonos hangosságúnak ítéli meg. Vegyük észre, hogy egyre hangosabbak felé haladva a frekvenciafüggés enyhül, a fájdalomhatár (~120 dB) körül már majdnem mindent azonos hangosnak ítélünk meg.

Különböző phon-ra vannak megadva a görbék:

Phon skála

Def: adott hang *phon* értéke annak az 1 kHz-es szinusznak az SPL-je, amely azonos hangosságú vele. Ez azt jelenti, hogy 0 phon pont a hallásküszöböt jelenti (valamennyi frekvencián).

Tehát a phon görbék az azonos hangosságúnak ítélt hangokat határozzák meg.

A fül/hallás romlása

A Fletcher-Munson görbék közül a hallásküszöb megy följebb, a többi nem. Érdekes azonban, hogy mivel a Fletcher-Munson görbék az átlagos populációt mérték, ezért az újonnan megismételt mérések már kimutatták, hogy a mai ember halláskárosultabb a korábban éltekhez képest. Ennek az oka, hogy sokkal zajosabb és hangosabb környezetben élünk (városok zaja, diszkók, stb) és sokkal több az egyéni zenehallgatás.

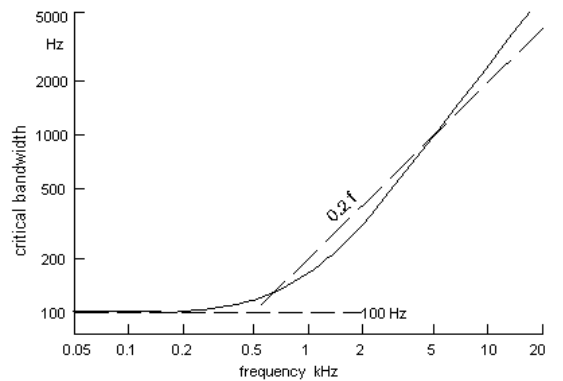
Szelektív romlás esetén egy adott területen beszakadások keletkeznek, ahol megemelkedik a hallásküszöb (tipikusan magas frekvenciák felé jelenik meg).

2 db hangforrás eredő hangossága

Azonos frekvenciatartományban (i.e. kritikus sávon belül) 2x akkora hangosság akkor van, ha 10x annyi teljesítmény. (Ilyenkor érvényes az ökölszabály, hogy „10 hegedűs szól 2x olyan hangosan, mint 1 hegedűs”)

Ennek az oka a baziláris membránban keresendő: ilyenkor azonos területre érkezik a hang, és az már izgatva van, és így több energia kell, hogy még hangosabbnak érzékelje a hangot. Míg ha kritikus sávon KÍVÜLI a két hangforrás, akkor a kettő különböző területekre esik, így ilyenkor a két forrás akár kétszer olyan hangosnak hallatszódik.

Kritikus sáv szélessége



Legalsó frekvenciákon a kritikus sávok ~100 Hz szélesek, míg magasabb frekvenciák felé egyre szélesednek (itt ~1 tercsáv).

Oktávsváv

Egy oktáv egy frekvenciaduplázást jelent, vagyis

$$1 \text{ oktáv} \rightarrow f_f = 2 \cdot f_a$$

(ahol f_f az oktávsváv felső határa, f_a az alsó határa)

Az oktávsváv közepe (f_k) ennek megfelelően tehát:

$$f_k = \sqrt{2}f_a = \frac{f_f}{\sqrt{2}}$$

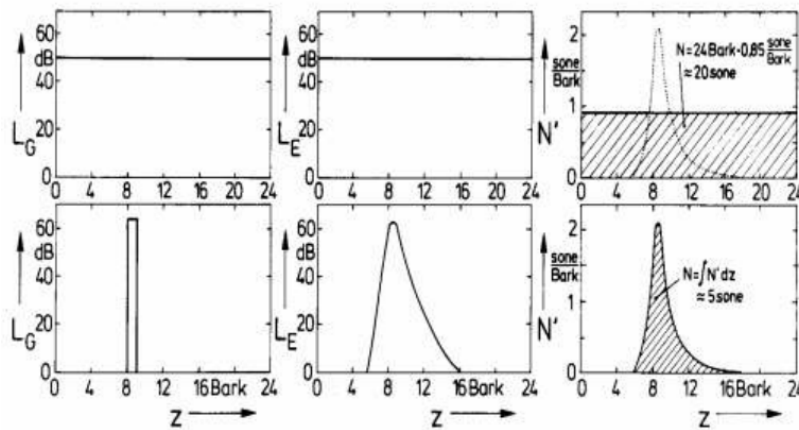
Terc

A terc az oktáv 1/3-ada, tehát itt az előzőekkel analóg jelölésekkel:

$$f_f = \sqrt[3]{2}f_a$$

$$f_k = \sqrt[6]{2}f_a$$

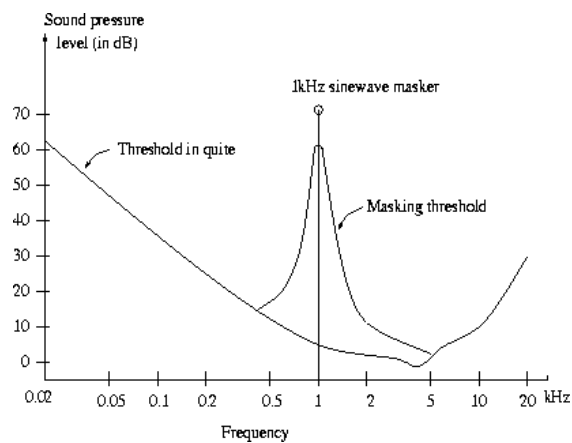
Hangosságszámítás /Zwicker/



A két sátrózott terület egyenlő. A vízszintes vonal adja meg az eredő hangosságot.

Elfedési jelenségek

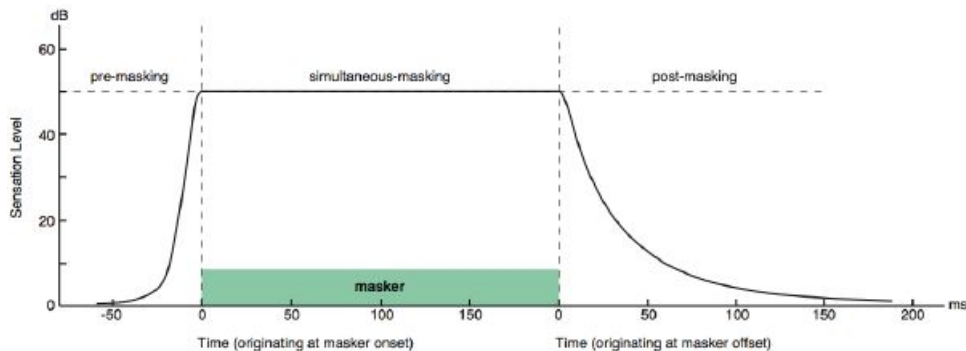
Frekvenciabeli (egyidejű) elfedés



Egy 1 kHz-es szinuszjel maszkoló hatása

- A maszkoló görbe baloldali (alacsonyabb frekvenciák felé nyúló) oldala kisebb, mint a jobboldali (magasabb frekvenciák felé nyúló) oldala.
- A maszkolás oka a már korábban említett baziláris membránra vezethető vissza: egy adott frekvencia fizikailag a baziláris membrán egy adott területére fog érkezni, ahol izgatja. Mivel a valóságban persze a környező idegsejteket is izgatja, ezért egy közeli frekvenciába eső hangot (ami halkabb) nem hallunk meg.

Időbeli (temporális) elfedés



Időbeli (temporális) elfedési jelenségek

Egy hangos hang előtt, illetve után nem hallunk további hangokat.

- Az utóelfedés: A hang megszűnése utáni 100-150ms-nyi elfedés még érthető és könnyen magyarázható
- Az előelfedés: Nem, nem sértjük meg a kauzalitást – az előelfedés oka az, hogy a nagyobb teljesítményű hang az idegpályákon gyorsabban terjed el az agyig, így megelőzi a korábbi (ám később beérkező) halkabb hangokat, melyeket lassabban továbbítanak csak az idegpályák.

Pszichoakusztikus kódolók

Egy nagyon jó mp3 minősége: ~320 kbps. Ez kb 1400 kbps-ről tömöríti be, tehát kb. 4-5xös tömörítés érhető el vele. Mégse hallunk (jobb esetben) különbséget az eredeti és a veszteséges tömörítés között.

Ennek az oka, hogy az előbb tárgyalt elfedési jelenségek az ilyen pszichoakusztikus kódolók alapjai → tehát nem „redundáns információt dobunk ki”, hanem kihasználjuk ezeket a jelenségeket, jobb esetben úgy, hogy ne vegyük észre a különbséget.

Ezt röviden úgy csináljuk, hogy előállítunk egy eredő maszkolási görbét, majd ennek függvényében kvantálunk → olyan kvantálási zajt adunk hozzá, ami az elfedési görbe alatt marad, tehát amit nem észlelünk. Ez a pszichoakusztikus kódolók alapelve.

Kódolási stratégiák

- 1) Bitkiosztási infó átküldése (MP3 – MPEG)

- 2) Spektrum – kitevők, mantissák külön átvitele: a kitevőkbe (durva spektrum) számolja ki a bitkiosztást (AC3)
- 3) Hibrid – alapvetően a 2)-es típus, de átküldhet korrekciós infót

Problémák:

- 1) Pontatlan hallásgörbe
- 2) Pontatlan megvalósítás
- 3) Pontos bitkiosztás: túl sok infó (v1)
- 4) Hallás modell nem javítható (v2)

Irányhallás

< 80Hz nincs³

80 - 800Hz fáziskülönbség alapján

> 800Hz fej árnyékoló hatása alapján (intenzitáskülönbség)

- + fontos hatás a **fej forgatása!** Ha valamire pont ránézünk → szemből halljuk → 1 fok pontossággal megadható. Fontos, hogy ez csak horizontálisan működik, a többi az tanult (pl: sirályokat/helikoptert tudjuk, hogy fenn kell keresni, kutyákat földön, stb)
- + Jó hallású ember: 1dB hangerőkülönbséget már meghall

Sztereó irányhallás

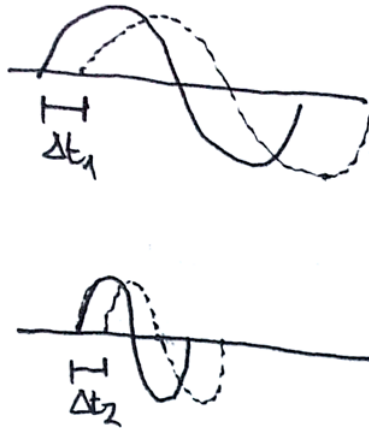
Elég 2 hangszóró? Fázis- és időkülönbség hatást kell szimulálni.

- 1) Intenzitáskülönbség: könnyen megoldható (a különböző hangszórókra más-más teljesítményt adunk)
- 2) ~~Fáziskülönbség:~~ mivel ez nem kivitelezhető, ezért ehelyett → időkülönbség

Ezzel a baj az, hogy:

- A fáziskülönbség frekvenciafüggő, tehát hiába azonos az időeltérés, más frekvenciákon ugyanaz az időeltolás különböző fáziseltolást jelent (ld. ábra)

³ Ezért mindegy kb, hogy hova rakjuk a subwoofert!

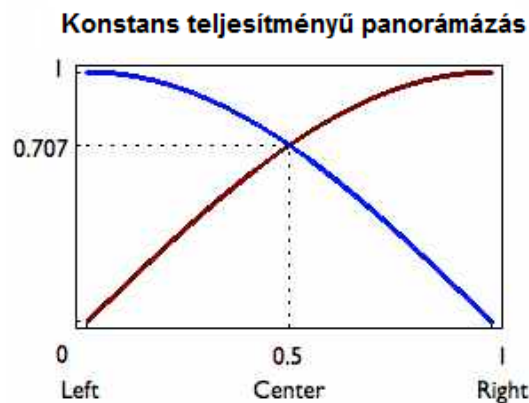


Azonos időeltolások különböző fáziseltoláshoz vezetnek más frekvenciákon (tényleg)

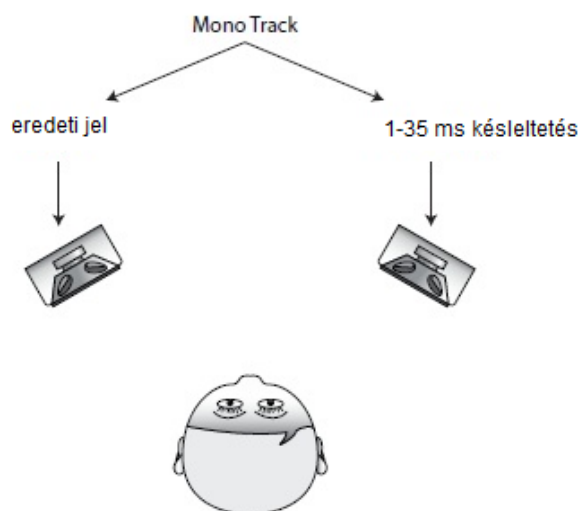
- 90-es évek közepéig nem tudtak analóg módon késleltetőt csinálni, addig tehát **csak intenzitáskülönbséget tudtak megvalósítani**
 → Intenzitásos sztereó volt tehát
- Azóta is így hangosítunk, ugyanis normális zene spektruma széles, még a nagybőgőnek is van felharmonikusa (nem szinuszt ad ki), és az már 800 Hz felett van, tehát ott már intenzitáskülönbség alapján tájolóunk.

Megj.: Subwooferből ezért is elég csak 1, mert mély frekvenciákon nincs irányérzékelés

A térhatást így tehát panorámázással oldjuk meg (az amplitúdónak, vagyis a jelnek az alábbiak kell lennie, hogy a teljesítmény konstansnak érezzük). Kék: baloldali csatorna, Piros: jobboldali csatorna amplitúdója



Ma már, digitális technikával tudunk késleltetni, amivel szintén létre tudunk hozni sztereóhatást. Így a térhatást úgy érhetjük el, hogy az egyébként mono jelet az egyik hangszóróra késleltetve adjuk rá:



Ez az ún. Haas-trükk

Azért hallani lehet a csalást egy picit, ugyanis picit kivastagítja a hangot. Túlzott használat a hangkép szétesését eredményezi.

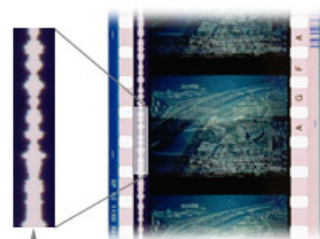
Térhatású hang (ki)fejlődése

Mono hang

Eredetileg csak mono felvétel volt.

Moziban

A hang optikailag van rávive a hordozóra. Lejátszása átvilágítással történik: megvilágítjuk egy fényforrással, és mérjük a túloldalon a fényerősséget → így áll elő a hangjel.



optikai monó hangjel

- Könnyű sokszorosítani
- A feszültségváltozást az átvilágítás után egy dióda által vett fény hordozza
- Nincs kontakt, tehát nem kopik!
- Nagyon régóta ilyen

Otthon

TV → dróton Y (fényességjel), majd utána ment át az audió jel

Sztereoó

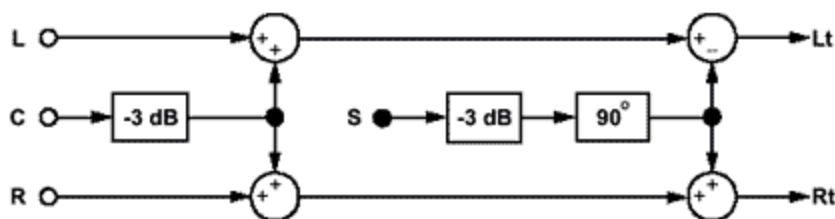
Sztereoó = térhatású hang

Moziban

- MINDIG is MINIMUM 4 csatornát jelentett! (sose volt csak 2!)
- Túl sok csík nem fér el azonban a film mellett (max 2)
- Több csík esetén ha mono mozigéppel olvastuk le → egybe világítja át → monokompatibilitás automatikusan működött!
- Külön lejátszás nem volt jó, mágneses csík megbukott, 4 csatorna azonban nem fért le!

Ezért:

Dolby Stereo



Rekonstruált hang (L' – baloldali csatorna, R' – jobboldali csatorna, C' – center csatorna, S' – surround csatorna)

$$L' = Lt = L - 3dB \cdot C - 3dB \cdot S$$

$$R' = Rt = R - 3dB \cdot C - 3dB \cdot S$$

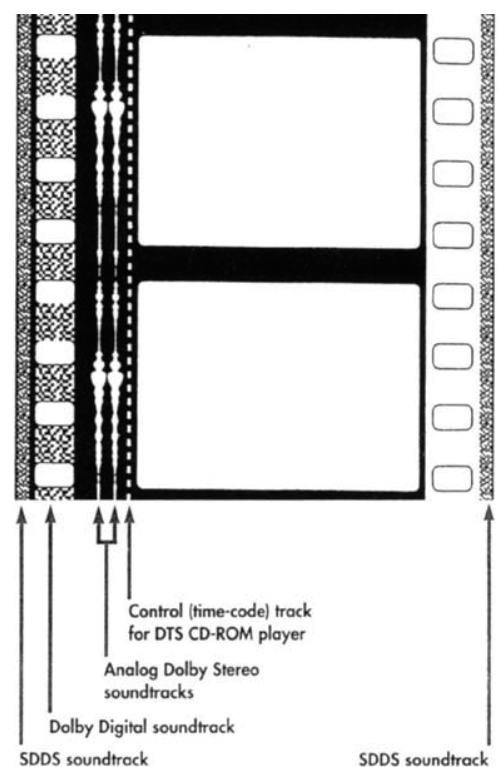
$$C' = Lt + Rt = +3dB \cdot C + L + R$$

$$S' = Lt - Rt = +3dB \cdot S + L - R$$

- Ez gyenge csatorna szeparációt eredményez! De: Dolby kitalált egy logikát, amivel a domináns kiszedhető – egyes logikával dominanciaelvű erősítéssel csatorna szeparáció 10-15 dB tudott lenni
- Ez analóg volt, és nagyon nagy/drága volt – moziban elért, otthon nem
- Megj: Tipikusan régi filmek általában mind Dolby Surroundosan mozognak közkezen, úgyhogy ha az erősítőn bekapcsoljuk a Dolby Surround opciót, sokkal jobban tud szólni.

Dolby Digital

- 5.1 csatorna, diszkrét (AC3 kódolással)
- A digitális infót hangként hallgatva fehérzajt hallunk (1 és 0-k váltakozása ugye) → Filmszalagon nem tehető a hangcsík helyére → A perforációk közé tették rá a szalagra, továbbra is



optikailag is rajta volt a hang (ha beszart volna a digitális, akkor át lehetett váltani a hagyományos hangcsíkra)

- Előny a rendszerben az volt, hogy nem kellett így külön gépet cserélni, elég volt egy plusz cuccot beszerezni a jelútba.

Otthon

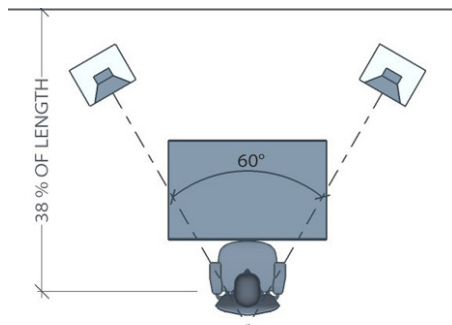
Eleinte 2 csatornás sztereó. Később (miután olcsó lett a logika) otthon is elérhetővé vált a „mozis sztereó”, **Dolby Surround Pro Logic** néven (de pontosan ugyanaz, mint a Dolby Stereo). Ma már 5.1 rendszerek simán vannak otthon is.

Hangszóró elrendezések

Mono

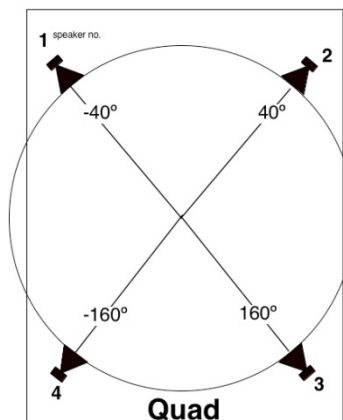
Szerintem ezt nem nagyon kell magyarázni. Ha hátrébb kerül, akkor halkabb lesz, és a visszhangok aránya nő a direkt hanghoz képest

Sztereó



Jó, ameddig egyenlő szárú háromszögből látod a hangfalakat

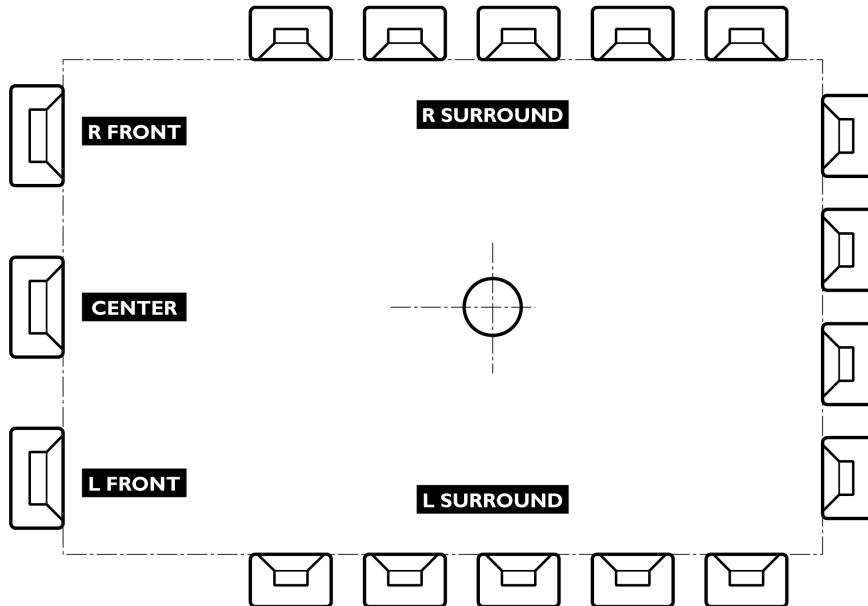
Quad



- Egész tér lefedhető (minden irányból lehet hallani hangokat)
- Miért nem ez volt moziban?

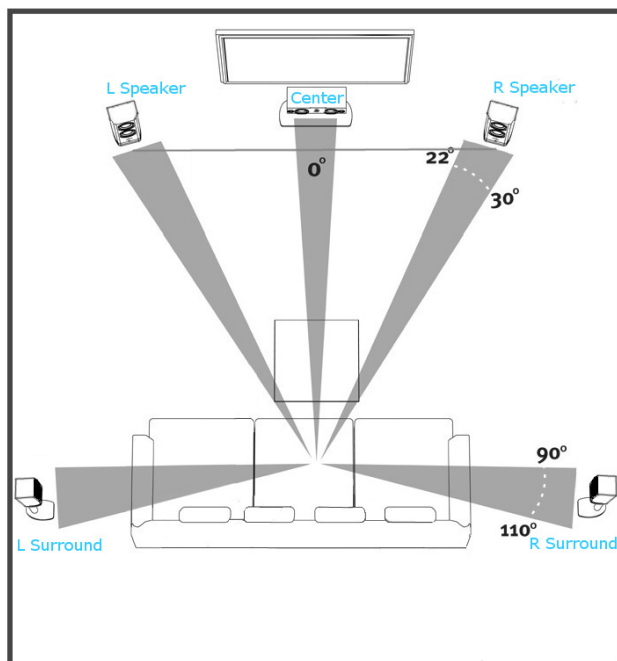
- Csak akkor igaz, ha az ún. sweet spotban (középen) ül az ember, ha nem ott van viszont az ember, akkor az érzékelt tér torzulni fog

Surround



A center hangfal azért kell, hogy a középben szólót mindenki középről hallja (Szimpla sztereó baloldalt ülve kicsit elcsúszik, de ez mindegy a lírai zenénél, mozinál viszont tipikusan para, hiszen a vásznon középen látom a beszélőt, de oldalról hallom.)

5.1



+1 LFE: Low Frequency Enhancement valahol (nem számít nagyon, hogy hol)

LFE kiadja:

- alapból, csakis kislekvencíás effekt csatorna
- otthon lehetőségként: a többi hangsuágrzóróól a mélyfrekvencíás hangokat kiválasztjuk, és ide keverhetjük

Otthoni problémák:

- Asszony nem örül neki, ha telerakjuk a lakást 1 m-es hangfalakkal, ezért szóba jönnek a kis kocka hangszóróók, viszont ezekből a mély nem jön
- DE: mivel a mély úgysem lokalizálható, ezért ráakjuk az összes csatorna mélytartalmát + az LFE effekteket az egy db (jó nagy) subwooferre!

(Ha a törésponti freki 80-100 Hz körüli, akkor jó. Nyilván kompromisszumos megoldás, de egész jó tud lenni.)

Van még:

- 7.1, 7.2, 48 csatorna, minden féle...
- Függőleges irányban nem nagyon terjedtek el

De azért a legtutibb még mindig a **mozi közepén ülni**.

Hangrendszerek

Csúcsérték tényező, levágás

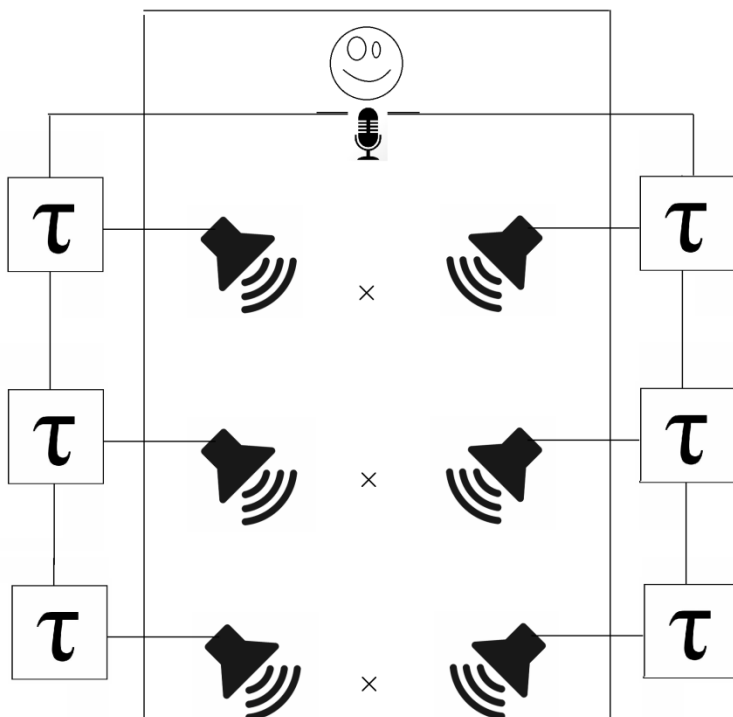
- Csúcsérték tényező (Crest factor): $U_{\text{csúcs}}/U_{\text{rms}}$
- Szinusznál: $\sqrt{2}$
- Zene: 4..5 (vagy több)
- Levágásnál torzulás árán ez az arány csökken (javul)
- Levágás: magas frekvenciát behoz \rightarrow le kéne csillapítani valamilyen arányban: ez az ún. kompresszor (vagy ha adott szinten levág: limiter)
- Lehet ez hangszóróvédő áramkörként is
- Többnyire 5-6x teljesítmény a mélyek javára (zene ilyen)
 - \rightarrow Védeni kell a magassugárzót, mert nincs is nagyra tervezve

Haas-hatás

Az először beérkező komponens határozza meg az irány- és hangszínérzetet, feltéve, hogy a későbbi 30 ms-n belül jött és max 10dB-el volt hangosabb. (50ms fölött: visszhang, közötte bizonytalan)

- Hiába van visszaverődés, halljuk a teremben a forrás irányát
- Terem hangja: ha nagyon visszhangos, terem színezetét halljuk, de nem tudjuk, honnan jön
- Ezt használjuk a színházakban is

Hosszú terem



- A késleltetők úgy vannak belőve, hogy az ábrán levő X-ek helyén mindig még megelőzze a forrás hangja a hangszórókat, és olyan hangerősség legyen, hogy a távolabbi hangszórók hangja se zavarjon

Hátrány:

- Nehéz ezt jól belőni
- Egész terem visszhangosságát növeli (sok elnyelés kell, v. zegzugos hely)
- Fontos: a fő hangút együtt menjen

Színház

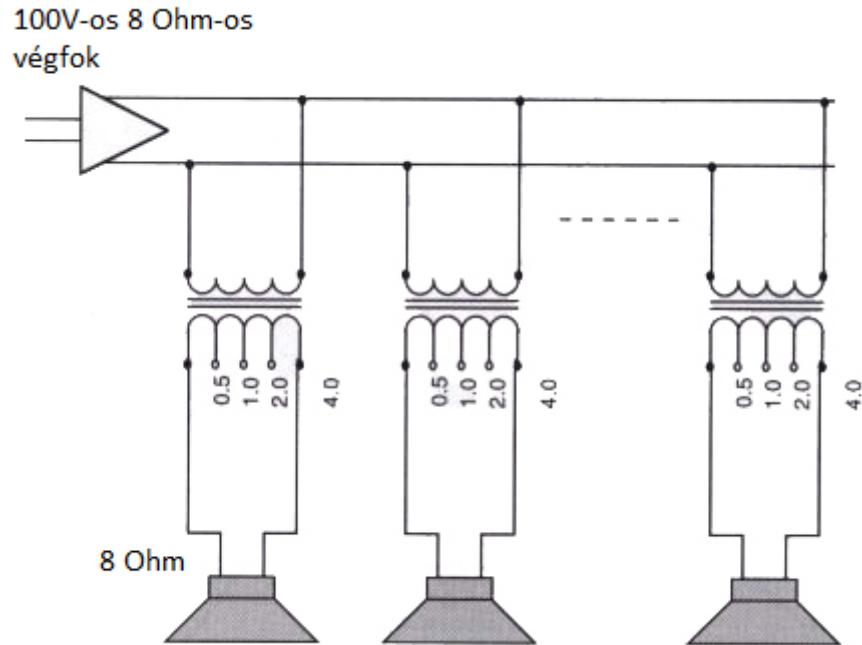
- A földszinten: 2 hangszóró + hallom direkt az énekest
- Aki távol van, az kb jó helyről hallja úgyis.
- Kiterjedt nézőtér nehéz ügy, kb mono jel kell (vagy szórom felét ide, felét oda – középen tuti mindent lehet hallani, szélen is remélhetőleg)

Madách színház

- Emeleten: erkélyeket szemből lövik meg (előrenézés irányából szóljon)
- Fentről jön, így nem zavaró optikailag
- Általában tudjuk, hogy hol keressük a színészt, így lokalizációval sincs baj (ha esetleg fent jelenik meg a színész, akkor meg kell világítani, különben nem találjuk)

100 V-os rendszer

(sokhangszórós rendszer)



100V-os rendszer

- A trafók kulcsfontosságúak: attól függően kell megválasztanunk őket, hogy milyen teljesítményt akarunk kihozni a rendszerből
- Névleges teljesítmény van ráírva a 100V rendszerre szánt hangszóróra – ez az, amit felvesz, ha a végfok 100V-os kimenent produkál.
- Így: bármennyi hangszóró rákapcsolható (minimum nincs⁴), csak az összteljesítményük nem haladhatja meg a végfok teljesítményét (kevesebb azonban lehet).
- Könnyen, olcsón bővíthető, építhető (ha kell több hangszóró, akkor max nagyobb végfok kell)
- DE: késleltetőt nem lehet berakni (100V-os késleltető kéne – jelszinten lehetne késleltetni (de az meg a végfok előtt lenne, az meg nem jó ugye))
- A végfok: feszültség mellett áramot is tud kiadni.
- Ma már egyébként van digitális hangfal: benne végfok, kap tápot, és tudhatja, mennyit kell késleltetni)

⁴ Régen volt.

Hangsugárzás

Hangsugárzók

Falba épített dugattyú

Elméletileg ezzel lehetne nagyon mély (néhány Hz) frekvenciákig lemenni, de (nyilván) ilyet nem használunk a gyakorlatban

Normál (kónuszos) sugárzó

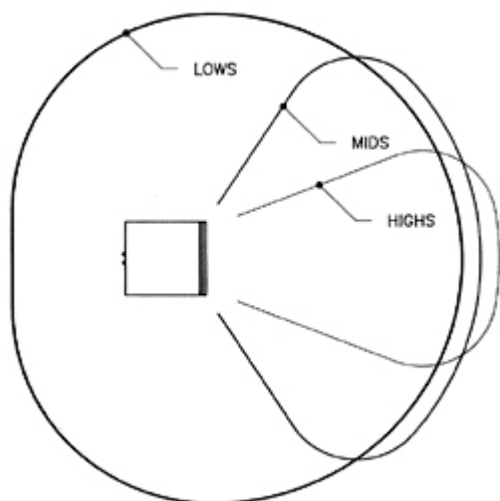
- Mechanikailag stabilabb anyagok a preferáltak
- Azok sem tökéletesen merevek → hajlik → nem ideális dugattyú

Magas sugárzó

- Gyorsan kell mozognia → Nem lehet nagy → kis súly kell

A frekvencia növekedtével:

- Egyre hatékonyabb lesugárzás
- Egyre irányítottabb lesugárzás



Egyik se jó hatás (oldalról nem halljuk a magas frekiket, illetve mélyhangokhoz több szufla kell)

Lesugárzás hatékonyságának növelése:

- Nagyobb méret - ugyanakkora kitéréssel több levegő mozdul meg
- Nagyobb kitérés

Tehát a subwoofer vagy nagy, vagy nagyon mozog a membrán!

A lágú felfüggesztés

- Nagyobb kitérés
- Nagyobb utólengés
- Doppler effektus (korábban volt már említve). Megoldás: felosztjuk a hangot frekvenciasávokra: minél kritikusabbak az elvárások, annál több sávra
- + jobb hatások → könnyebb kitéríteni

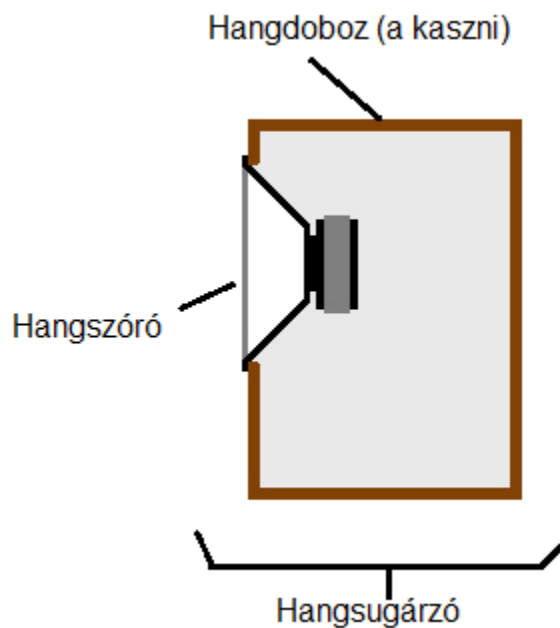
Kemény felfüggesztés:

- Kisebb kitérés → Doppler hatás kisebb
- Otthoni HiFi: lehet keményebb, nem annyira kritikus a lesugárzás (max kicsivel nagyobb elektromos teljesítményt kell ráadni, ez az otthoni szükséges teljesítmények mellett nem probléma)

Amit még lehet csinálni:

- erős mágneses tér + Könnyű, kemény (nem hajlékony) membrán
Fém membrán: keményebb, de fémes hangja lehet

Egy kis terminológia



Tehát hangdobozban van a hangszóró, és ez az egész együtt a hangsugárzó, amely lehet aktív v. passzív.

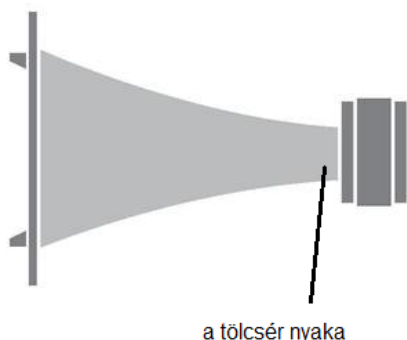
“**Hangláda**” – szleng, pl.: végfokkal egybeépített gitárláda hangszínnel, effektel (gitáros erősítő hangszugárzó)

Aktív hangfal: van benne végfok is (PC hangfal is ide tartozik)

De a szóhasználat nem kardinális..

Hangszórótípusok

1) Tölcséres hangszórók:



- A tölcser nyakánál besűrűsödik a levegő: itt nem olyan lágy, mint kinn (avagy ahogy megnyomja, hirtelen bekeményedik)
- Kisugárzási határfokot a szűk nyak tehát megnöveli

Megjegyzés: mivel mint mondtuk volt, a kemény közegben jó a csatolás, így vízben is jó lesz a lesugárzás → tkp. impedanciaillesztés történik (mérnökileg megfogalmazva)

+ jobb hatásfok (15-20% a normális 3..5% helyett)

- bizonyos frekvencia alatt levegő le tudja követni, tehát:

→ Van alsó határfrekvencia, amely

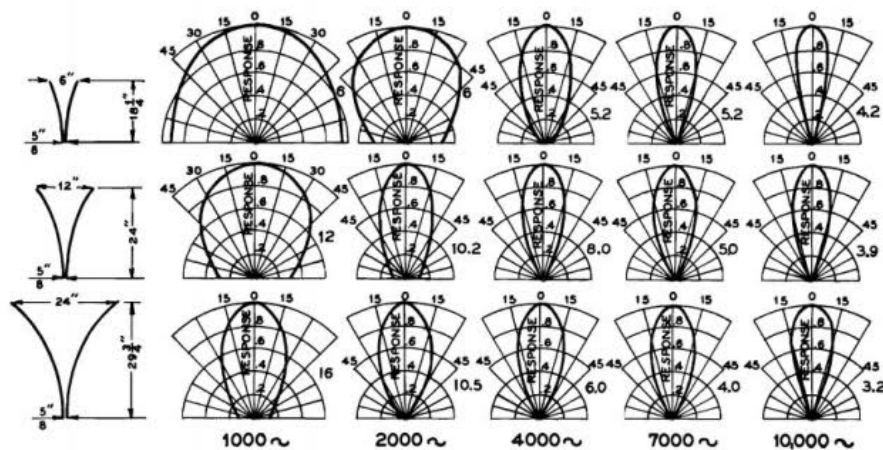
→ Arányos $1/L$ -el

→ mély hangokhoz hosszabb tölcser kell (100Hz-hez már méteres hosszú kell)

Tölcser tervezése azért nehézkes, mert:

- Tölcser tágulásától függ az irány-karakterisztika és a frekvenciamenet (hiába lineáris a hangszóró, a tölcser megszínezi)
- Tölcser belső kialakításától függ, hogy a kilépő hullámfront mennyire fázishelyes

Constant directivity horn (nem kell vizsgára, de érdekes):



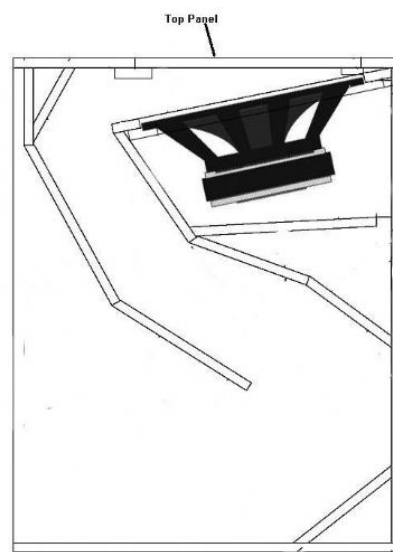
Gyakorlatilag minden frekvencián közel azonos irányítottsággal rendelkezik.

2) Hajtogatható tölcser:

A tölcserék hajtogathatóak, hogy kompaktabbak legyenek. (Funktionalitás szempontjából olyan, mint a "rendes" verzió.) Ezek azok a nagyon nagy koncertládák, ahol csak a fát látni a lyukon benézve..

Előny:

- Jobb hatásfok
- Irányítottsága van
- A tölcser nyaka a membránhoz képest kicsi, amúgy nagy

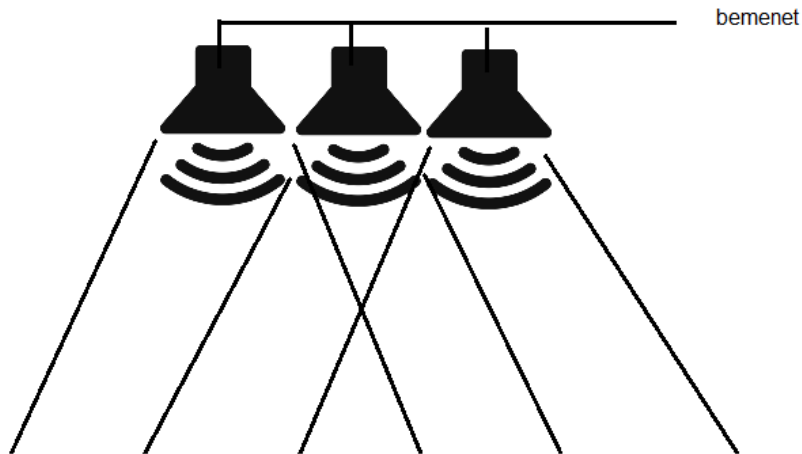


Miért nem használják HiFi-knél?

- Frekvenciamenet nem olyan szép
- Nem kell akkora teljesítmény

3) Cluster

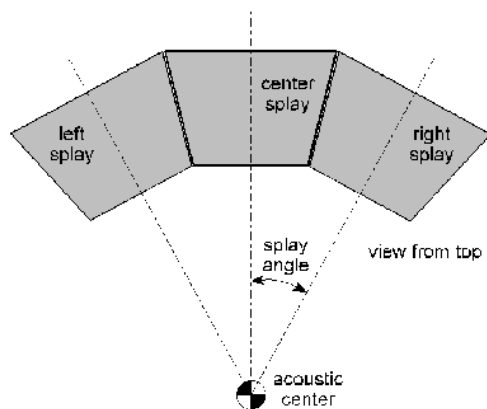
Az ötlet adott: kössünk össze jó sok hangfalat, hogy meglegyen a kellő hangerő.



(Emlékeztető: 2x-es hangerősségérzethez ugye 10 darabot kell összekötni!)

A baj az ábráról is látható: eredő iránykarakterisztika, lehet interferenciakép is.

Helyette:



(Pl.: sportarénában a helyi belógató hangrendszer)

- Trapéz alakú hangfal: a trapéz és magasfrekvenciás nyitásszöge hasonló → lesz bár egy kicsi tartományban átfedés, de tipikusan nem zavaró.
- A jel szimplán bemegy, nincs semmilyen processzálás!

Ez jó lehet 300-500 fős termekig, de előlött már:

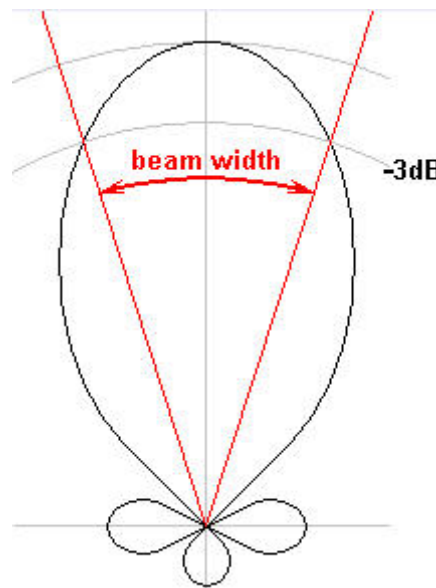
- Nem biztos, hogy érdemes besugározni azt is, ahol nincs senki (máig nem triviális a hanghoz elég teljesítményt előállítani tudni)
- Egész beszórása ráadásul növeli az utószórást → a visszhangosság virtuálisan csökkenthető azzal, hogy irányított forrással sugárzunk

4) Beszéd célú hangoszlop

- tfh. 10 centis, 500Hz-en szóló hangszóróink vannak
→ modellezhetjük pontforrásként (hullámhosszhoz képest kicsi)
- tekinthető vonalforrásnak? → attól függ, hol nézem:
 - egészen közel: 1 hangszóró dominál
 - közelében: kb vonalforrás $\rightarrow 1/\sqrt{r}$
 - távol: az egész egy kb. pontforrás $\rightarrow 1/r$

OOOOOOOO

Nyalábszélesség/beamwidth



$$BW \approx 1.2 \frac{\lambda}{L} [rad]$$

- Csökken, ha nő a frekvencia
- Csökken, ha nő a hangoszlop hossza

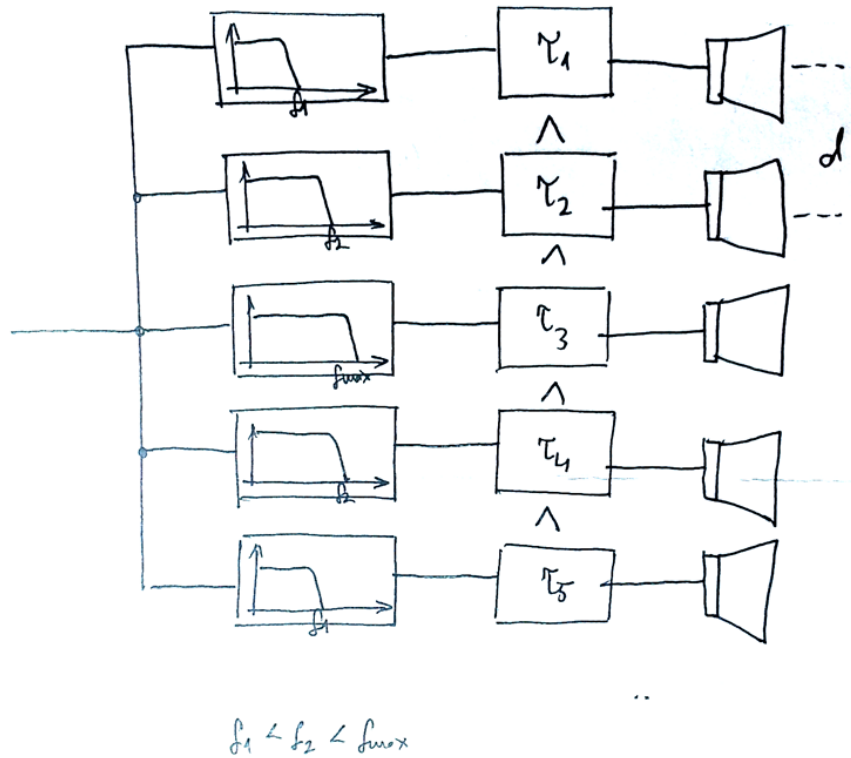
Cél:

- szűk nyaláb
- Frekvenciától függetlenül kb. konstans nyalábszélesség

Ehhez kéne: frekvencia növekedtével egyre rövidebb oszlop

MEGOLDÁS:

Magasabb frekvencián kevesebb hangszóró szól \rightarrow kisebb/rövidebb hangoszlop



Beszédcélú hangoszlop készletetési és szűrői

A **térbeli mintavételi tételt be kell tartani** (különben oldalt melléknyalábok jelennek meg), ehhez kellően sűrűnek kell lennie: $d < \lambda/2$

Ez azt jelenti, hogy kis hullámhosszakon sűrűbben kell lennie, ezért logaritmikus elrendezést használunk (nem kell telerakni az egész oszlopot):

-
-
-
-
-

Sok kis hangszóró adódik a $d < \lambda/2$ -ből:

- Mélylesugárzás nem optimális (de sok van, szóval rendben lesz)
 - Magasból meg kevés szó
 - Rossz az egészen kislekri (hatásfok nem elég jó)
 - Rossz relatív nagyfreki (kevés hangszóró szó)
- Zenére nem igazán alkalmas, de beszédre – különösen magasfrekis előkiemeléssel – igen!

(Lehetne: középben kisebb hangszórók – de ezzel nem szoktak szórakozni)

- Nyalábszélesség: szűrőkkel tudom állítani – azért akármit nem szoktak tudni, általában megadják, mit tud
- Kell: DSP, ami a szűrést végrehajtja, és sok végfok: 8x100W egy 1 m-es oszlopban (ez elég sok azért)

Nyalábdöntés

Azzal, hogy megdöntjük a nyalábot elérhető, hogy a:

- Közelebb levő ember halkabban kap
- Távolabb levő ember hangosabban

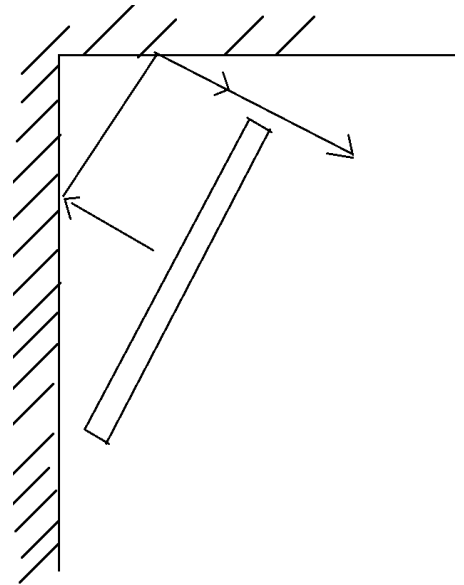
Nyalábdöntéssel kb. konstans hangerőt lehet nagy távon biztosítani (~3dB-en belül, 50..100m között)

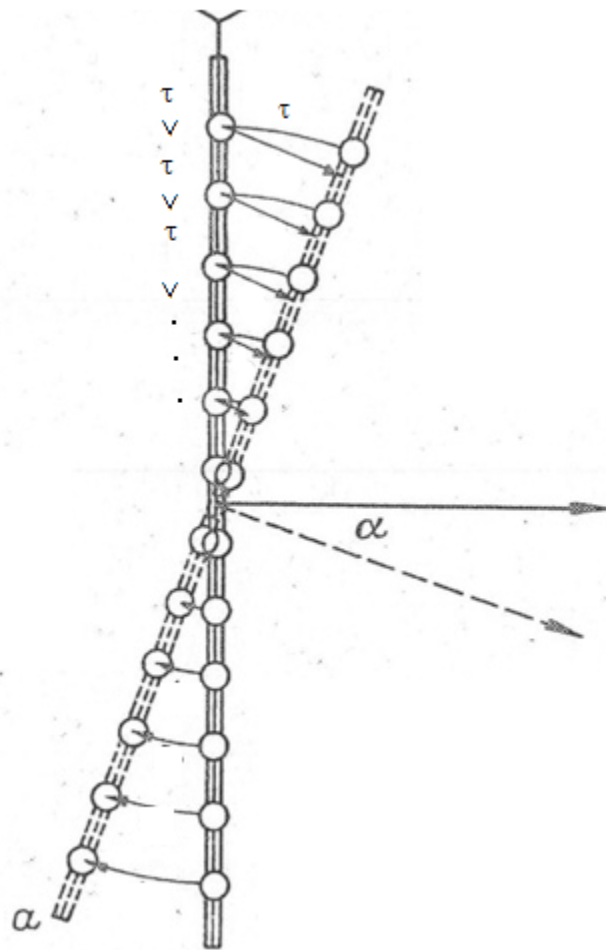
A gond: hogyan döntjük meg?

- Ha fizikailag megdöntjük, akkor kis frekvenciákon elindul hátrafelé is (mert ott nincs jó iránykarakterisztikája) → ez késleltetéssel plafonról jön vissza, ez nem jó

Helyette **virtuálisan döntjük meg:**

- Minél magasabban van, annál nagyobb késleltetést (τ) adunk rá





Megoldható?

- Simán → digitálisan szűrjük már a frekvenciát amúgy is
- Időkésleltetés: frekvenciától nem függ, csak távolságtól
- Hőmérséklettől függ viszont, tehát kül/beltéren más beállítás kellhet! (Beltéren az a +/-5 fok nem számít)

Fontos tulajdonságok tehát:

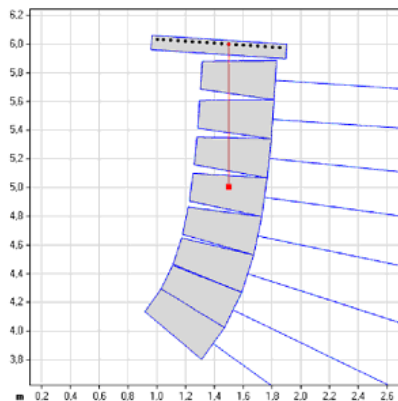
- Konstans nyálabszélesség virtuális hosszcsökkentéssel
- Elektronikusan (virtuálisan) megdöntjük

Bónuszok:

- Logaritmikus elrendezés
- Csak fél oszlop megépítése elég
- Lehet akár több nyáláb: pl. egyik szűrővel megküldöm a földszintet, másikkal az erkélyt

Koncerten ennél több freki kell, nagyobb teljesítménnyel: ez lesz a Line Array..

5) Line Array



Szóval a nagy frekvencián a néhány centis hangszórók már nem tudnak elég hangosak lenni → Használjunk tölcseréket:

- Jó irányítottság
- Jó hatásfok

A tölcser: lőjön szűken: szélesen, de kis magasságban, és kb adott térszöget sugározzon be

- Hajlítás kell, hogy a megfelelő térszöget meg tudjam célozni
- Általában nem fal közelében szokott lenni, így nincs reflexió.
- Line array teteje van kb egy szintben a „legfelső” (leghátrébb álló/ülő) nézőkkel
- Van olyan line array, ahol már a középsugárzó is tölcser
- Sokszor egyszerűbb megoldásként nincs mindhez külön végfok. Ez:
 - Térbeli mintavételt nem sérti
 - Nem olyan finoman állítható a kimenet – viszont ez kb. mindegy
 - Az ilyen nem túl profi linearrayeknél történhet meg, hogy van hangerőkülönbség (van olyan terület, ahol hangosabb, van ahol halkabb)
- Line Array vezérlését nem kézzel számolják: adott szoftver csinálja
 - Van amelyik jobb, van rosszabb
 - Sosem veszi figyelembe, hogy zárt tér! (nem figyel reflexiókra)

PA vs Hi-Fi rendszerek

PA: Public Address (közönség besugárzására szánt) hangrendszer

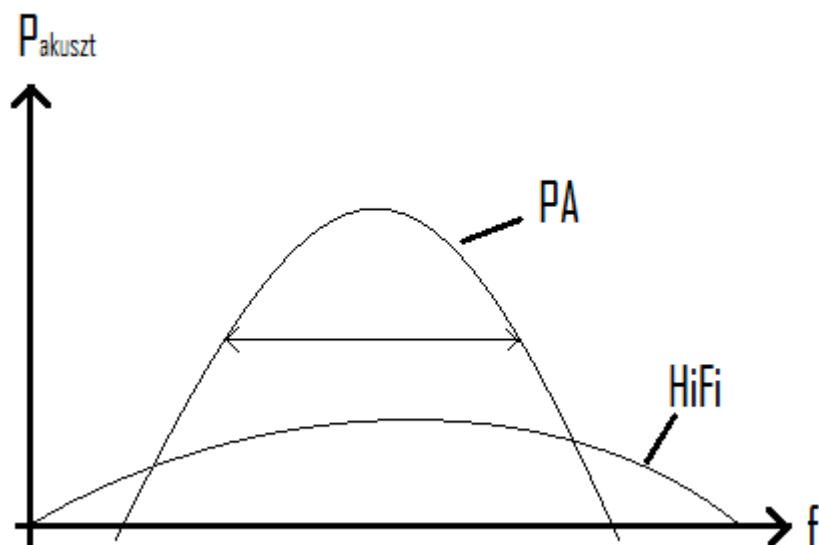
Hi-Fi: High Fidelity

Rövid összehasonlítás

	PA	Hi-Fi
Legfőbb cél	teljesítmény	Minőség
Jellemző tartalom	élműzene	CD
Kondi/Trafó	Nagy kondi, erős trafó (hogy bírja a nagy teljesítmény lökéseket)	Nagy kondi, erős trafó (hogy jó minőségű hangzást tudjon)
Hanganyag	El kell bírnia a nagy dinamikát	Kompresszált a hanganyag

Hangszóró: mágneses térben áramjárta tekercs: Lorentz-erő miatt kitér, ez mozgatja a membránt

Lesugárzott teljesítmény



- Cél: ez legyen széles → szűrőként tekintve: a jósági tényezőt kell "elrontanunk"
- Ha szélesebb lesz, kilapul: ezt használom Hi-Fi esetén, csúcsosat PA esetén (ott nagyobb teljesítmény kell ugye)

Érzékenységek

$$\epsilon_{PA} \approx 98 \text{ dB/W/m}$$

$$\epsilon_{HiFi} \approx 87 \text{ dB/W/m}$$

Tehát más szavakkal: a HiFin “ugyanannyi szufla” előállításához kb 10x annyi teljesítmény kell → de ez otthon teljesen oké, mindegy, hogy 4W helyett 40W-al hajtom meg, viszont PA esetén már sokkal komolyabb teljesítményekről kell beszélnünk, nem engedhetnénk ezt meg magunknak, ezért jobb érzékenység kell.

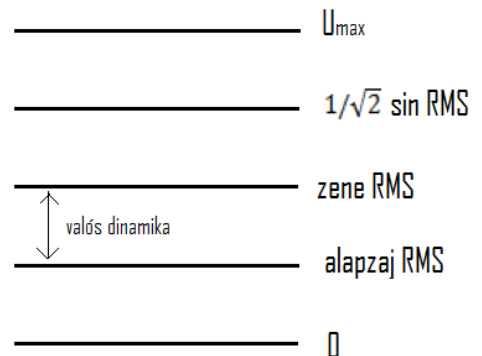
Végfok

- a kisugározható elvi legnagyobb jel a tápfeszültség

Dinamikatartomány

- A dinamikatartomány határai: max. és min. hangerő
- Fülünk miatt ami számít: RMS
- $U_{max} \rightarrow U_{rms}$, U_{RMS} értékét viszont nem tudjuk (zenétől függ)
- (Sinus RMS-e: $1/\sqrt{2}$ –nél, a zenéé ez alatti érték lesz)
- A dinamikát jellemzően szinuszhoz szokták megadni

$$Dinamika = 20 \lg \frac{U_{RMS, sin, max}}{U_{RMS, alapzaj}}$$



Különböző technológiák a dinamikatartomány függvényében:

Lemez	~30 dB
Szalagos magnó	~40(-60) dB
(nagyon jó) áramkör:	~100 dB

(itt már a **termikus zaj** az, amivel baj van⁵, meg a **tápfesz zajával**)

CD

- ~100 dB-es dinamika tartomány
- Kerekítési hiba (max): $Q/2$ (Q a kvantálási lépcső)
 - Kvantálási lépcső: Q
 - Maximális hiba: $\frac{Q}{2}$
 - Energia: $\frac{Q^2}{4}$
 - Átlagos zaj : $\frac{Q^2}{12}$

A bitszám 1 bittel növelése 6dB-el növeli a jel-zaj- viszonyt.

1bit → 6dB

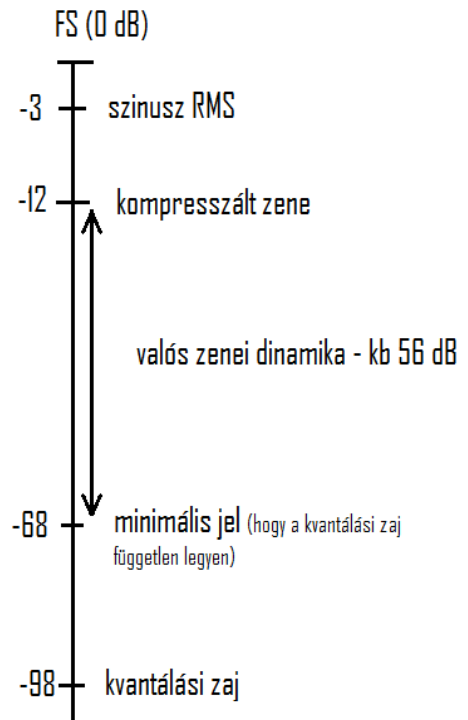
16bit → 96dB

⁵ A megoldás természetes az, hogy folyékony héliummal kell hűteni a hangrendszereinket, hogy még jobb dinamikatartománnyal hallgathassuk a zenéinket. Ez az egyetlen logikus következtetés!

- CD max jel-zaj- viszonya: 98 dB (ezért is 16 bit, mert ez kb az áramkör zajszintje)
- A valós zenei dinamikára marad: ~56 dB
- Szimfonikus zenekar: ff – pp közötti különbsége 60(-70) dB, ez kb le van akkor fedve

Viszont:

- Számít még a **felvételnél** a jel-zaj viszony
- Tipikus teremzaj: ~30 dB (több embernél több, kevesebbnél kevesebb)
- Efölött 60 dB-el; 90 dB – zenekar ennyit ritkán nyom (a Sziget van 100 dB-en, és az rengeteg)
- Annó az élet zaja is kevesebb volt → nem volt divat, hogy rezesekkel kifújják az embereket a hajuk alól

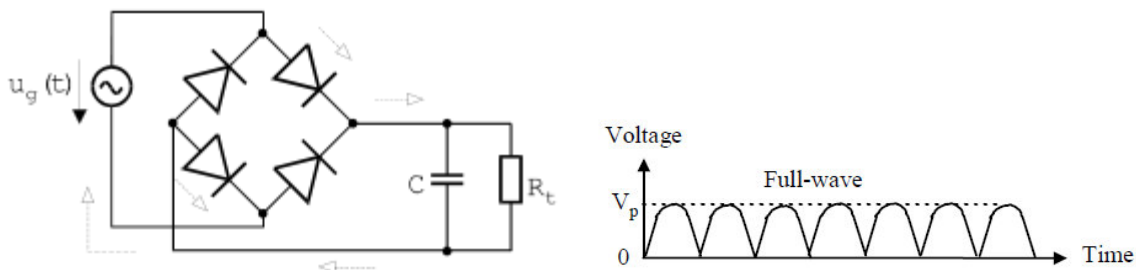


PA

Feszültség is kell, áram is kell – végén a tranzisztornak (vagy tranzistorokat tartalmazó) IC-nek ki kell tudnia adni

Táp: 230V sin (azért sin, mert kisebb veszteség, mint DC; és azért sin és nem más, mert másnak (pl négyyszögjelnek) nagyobb szórt tere lenne a felharmonikusok miatt)

→ Ebből kell csinálni DC-t



A C kondinak nagynak kell lennie, hogy ki tudja simítani kellőképpen a jobb oldali ábrán levő „huplikat”.

- PA-ban: Nagy teljesítményfelvétel lehet a lyukban, pl.: lábdob üthet mindig itt
- Hi-Fiben: Itt is kell, hogy „tökéletes” legyen a hangzás

Tápfeszültség elnyomás: az áramkör mennyire húzza nyomja el a tápfesz ingadozását, ill. mennyire viszi bele a jelbe

- HiFi: nem baj, ha van, mert ha ~700 W-os szinusz helyett csak 500W-ot ad ki ha full sin-al hajtjuk meg, az tök mindegy (megint csak HiFinél a teljesítmény annyira nem érdekel minket, ott a hangzás és a hanghűség a lényeg)
- PA-nak viszont bírnia kell a full szinuszt is

Léteznek azonban **digitális végfokok**, amik nagyon tudnak szólni (=jók), mégis nagyon könnyűek (súlyra, a nagy kondi ugyanis a PA-t/Hi-Fi-t nagyon nehezzé teszi). Úgy tudják ezt elérni, hogy nagyon gyors (~50 kHz) kapcsolóval szabályozzák a 230-ot:

- ha jön a túske → emelkedik a jel
- Ha nem jön → csökken

Azért fontos ezt megemlíteni, mert ezeknek a digitális végfokoknak **más a mérés technikája**, ugyanakkor a felharmonikusok miatt nem feltétlenül olyan jó, mint az analóg társai (de ha a kapcsolgatás elég magas frekvencián történik, akkor OK és nincs baj).

A hangszórók haláláról

Mitől tud meghalni egy hangszóró?

- A túlzott **mozgás** miatt. Ha túlvezéreljük, túl nagy kitérést tenne → előre „kiszakad” avagy hátul ütközik, azaz elromlik (erre a csúcs van hatással)
- Tekercsen átfolyó túl nagy áramtól → megolvad (ez a túlzott RMS-ből következhet)

Hi-Fit tipikusan meg tudja gyilkolni a basszus gitár (egészen ~40Hz-ig lemegy, és jó nagy teljesítményekkel hajtáná azt ki → nem erre van kitalálva a Hi-Fi, bele tud halni)

Miből ismerhető meg a PA hangszóró

- A mágnes méretéből: Nagy mágnes → erősebb tér → jó hatások (és nehéz)
- Mozgás különbségéből:
 - Hi-Fi kicsit mozog (hanghűbb)
 - PA: nagy kitérésekkor kevésbé hanghű, de feláldozzuk a teljesítmény oltárán (koncert sosem szól úgy, mint Hi-Fi)

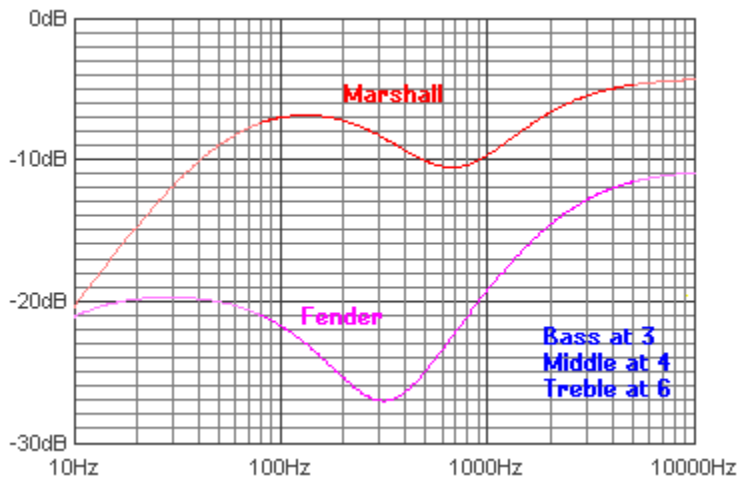
Végfokok

Nagy a vita, hogy csöves, vagy tranzistoros végfok-e a jobb. Tudni kell, hogy:

- Mindkettőnek van hibája, amelyik az adott fület kevésbé zavarja, az a jobb
- Csöves hibáját jellemzően szeretjük (mert kompresszál) + gitárnál a torzítást pont szeretjük! Pedig: tranzistoros jobb, IC-s még jobb
- Komolyzenei koncertnél viszont a „de jó ez a lightos kis torzítás” mondat ritkán hallható 😊

Ergó nagyban függ attól, hogy mire szánjuk az adott végfokot.

Gitárláda miért szól úgy, ahogy? Két igen populáris gitárláda frekvenciaalakja ilyen (Flat EQ mellett, vagyis ha nem nyúlunk bele különböző frekvenciatartományokba):



- Láthatjuk, hogy egy betörés majd egy kiemelés jellemzi a magasabb frekvenciákon
- Ha valami ilyesmit egy EQ-n beállítunk, már egészen gitárhangja van nem gitárládán is!

A "csöves hatás" azonban csak akkor jelentkezik, ha közel max-ra van feltekerve a hangerő → ez kellemetlen, mert tipikusan nem akarjuk mindig maxon bömböltetni a zenét. Mit lehet tenni? Ún.

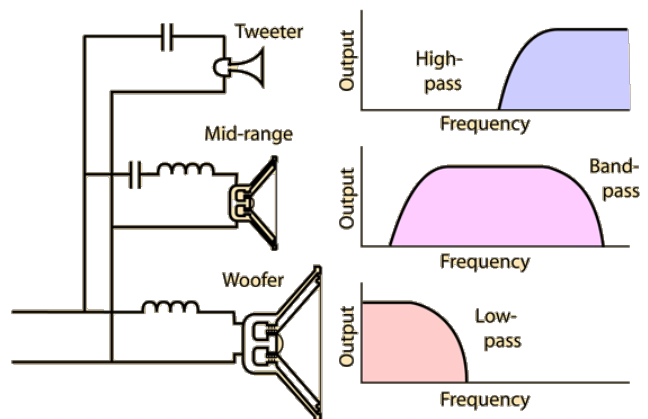
reamping:

- Felvesszük a gitárhangot
- Süketszobába berakjuk a ládát, jól feltekerjük → felvesszük a hangot egy elé rakott mikrofonnal
- Megjegyzés: egyébként az is szerepet játszik, hogy a nagyon hangosnál már a fül is torzít, és ez is belejátsszik a „csöves hatásba”

Crossover / keresztváltó szűrő

A baj:

- Nagy hangszóróra a magas frekvenciák nem jók a doppler-jelenség miatt
- Kicsi hangszórókra a mély hangok nem jók, mert el tud szállni (bár tölcséres kicsit jobban bírja)
- Ötlet: szűrjük a frekvenciákat! Aluláteresztő a mély (nagyobb) hangszóróra, felüláteresztő a magas (kis) hangszóróra!



Megj.: Az ábrán egy több utas (3) szűrőrendszer van, órán csak 2-t vettünk, de lényegében ugyanaz.

Milyen legyen a szűrő foka?

- A fázismenet számít (+a meredekség): magas fokszám kéne → ez rossz fázismenetet jelent
- Mély: nem annyira kritikus (nem megy tönkre, ha rákerül magasabb frekvencia, max a besugárzás rosszabb)

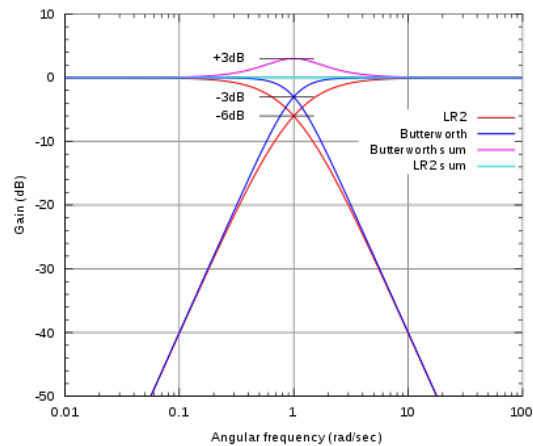
- Magas: legalább másodfokú kell (vagy ha elsőfokú – ez csak 6 dB-t csillapít –, akkor túlméretezett hangszóró kell mellé)
- Itt komoly amperok mennek, úgyhogy minden alkatrésznek el kell bírnia a terhelést!

A jó keresztváltót:

- Nehéz jól összelőni
- Ízlés (hallás) kérdése
- Nem kell, hogy tökéletes legyen, csak az számít, hogy szeressük/tetsszen!
- Pl: régi Orion erősítő fázismenete eléggé göröngyös volt, mégis szépen szólt

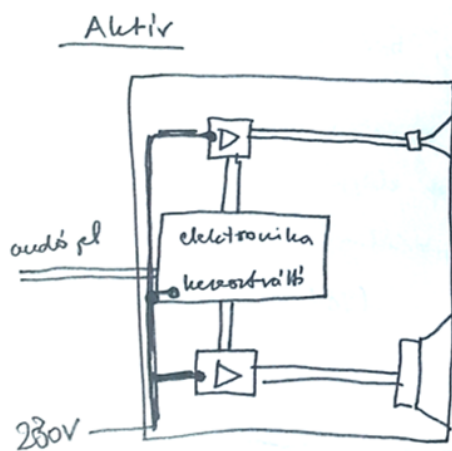
A tanulság:

- Hangfalat tehát fülre választunk (ugyanúgy, mint hangszert)
- Érdeemes vinni saját zenét is (amit szoktunk/tervezünk hallgatni majd)
- Ne a frekvenciamenetet nézzük, inkább hallgassunk



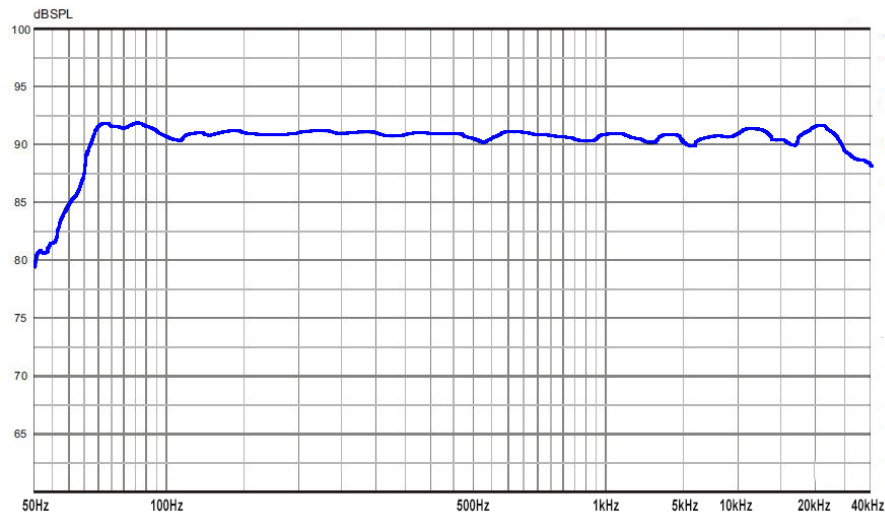
Különböző keresztváltó szűrők

Aktív hangfal vs. Passzív hangfal



Előnyök:

- + keresztváltó audio jelszinttel dolgozik (könnyebb megépíteni)
- + kompakt
- + 2 végfok jobb hangzást biztosít: megfelelő tápszűrés mellett a mély lüktetése (nagy energiaelszívó képessége) nem rángatja a magas hangokat
- + jobb mélyfrekvenciás átvitel: a keresztváltóba épített EQ segítségével „felhúzzuk” az érzékenységet alacsony frekvenciákon



Tipikus hangszóró frekvenciamenete

A frekvenciamenet göröngyössége javítható, de nem feltétlenül csinálják – ha jó a hangzás akkor nincs baj

Hátrányok:

- nagy súly,
- tápot is igényel (kell oda +drót) (Fontos: egy helyről jó elosztani mindent (tehát nem jó minden hangfalat más konnektorba dugni)
- drágább
- többnyire rosszabb fázismenet az elektronika miatt:
 - Lehet javítani a frekvenciameneten, így élnek is vele → ez viszont fázismenetet ronthat
 - Ez a hatás nem szokott durva lenni, de HiFi-knél ezért gyakran inkább passzívat használnak, mert ott számíthat!
 - Jó fázismenet: stabil térérzet, a zenében az is hallatszik, hogy milyen messze van (nem csak, hogy hol), a cintányért is jól hallani, stb

De ez emberfüggő, hogy a frekvenciamenet és fázismenet mennyit nyom a latba!

- nehézkesebb javítás: hiba esetén, koncert közben az egészet cserélni kell
- végfok messzebb → lassabb a ki/bekapcsolás
 - Ahhoz, hogy a pultról vezérelhessem, ki kell tekernem csutkára a hangszórót → ha babrálok (pl.: gitárt a bölcsész haverunk kihúzza), az nagy „durranással” jár
 - Amúgy meg a végfokot tehetném a pult környékére, és akkor lehetne onnan irányítani

Ami itt előny, az hátrány a passzívnál és fordítva!

Stúdiómonitor vs HiFi

	Stúdió monitor	HiFi
Frekvenciamenet	Nagyon lapos	Nekem tetsző legyen
Terhelés jellege	Kompresszálatlan (nyers) <ul style="list-style-type: none">• Keverés elején nyers zene, nagy csúcsokkal• Nem csak nem halhat meg, hanem: hallanom kell, mennyivel jobb a kompresszálatlan• Jó impulzus-, és nagyfrekvenciás átvitel kell	Erősen kompresszált
Vízesés diagram	Elvártan jó legyen Kell, hogy kikapcsolás után a különböző frekvenciákon egyenletesen haljon el (csökkenjen)	Olyan, amilyen (nem számít)
Oldalirányú lesugárzás	Legyen jó (frekimenet oldalra is jó legyen!) Nyalábszélesség minden frekvencián konstans legyen <ul style="list-style-type: none">• Stúdióban nem nyerő a lágy hangszóró	Majdnem mindegy
Ára (kb, legolcsóbb)	~200-250k	~100-150k

Összességében tehát, ill néhány kiegészítés:

- Drága HiFinél az utolsó két paraméter is valószínűleg jó lesz, azonban biztosan más jellegű terhelésre számít, mint egy stúdiómonitor, és a frekvenciamenete sem lesz semleges hangzású jó eséllyel
- Figyelembe kell venni, hogy az, hogy monitoron hogyan hangzik, az nem lesz olyan, mint HiFi-n! → nem árt, ha van egy referencia (HiFi) hangszóró is, amin keverés közben meghallgatjuk, hogy mindez hogyan szól más hardveren

Near illetve Far monitor is van:

- Mikrofonnál jellemző közel/távoltér más hangzása a hangszórónál is létezik → kicsit máshogy tervezik attól függően, hogy hol van ill. hogyan lesz használva
- Gyakran: monitor a pulton van, vagy esetleg falnál/falban (de mindenképp egy kicsi szobában, tehát tipikusan közeltérnek számít még)
- HiFi: távolra van tervezve, töltsé be az egész nappalit (ami jellemzően nagyobb, mint egy stúdió)

Pár szó a keverésről

- Nem feltétlenül kell monitort venni, HiFin is lehet keverni, csak meg kell hallgatni máson is! Ha a HiFi-m pl: kiemeli a mélyeket, többet kell beletenni belőle, hogy másutt is jó legyen

- Fejhallgató: hasonlóan, de nem mindegy, hogy nyitott/félnyitott/zárt típusú – meghatározza, hogy a külső zaj mennyire jön be

Nyitott fülhallgató

- Kényelmesebb benne keverni (pl nem túl meleg)
- jobb hangzás (általában), bár sokszor a mélye kevés
- kevésbé hangszigetel (mindkét irányba): így pl énekesnek a mikrofonjába be tud hallatszani az, amit hallgat, illetve zajos környezetben (villamos, építkezés, koncert) bejön a hang kívülről

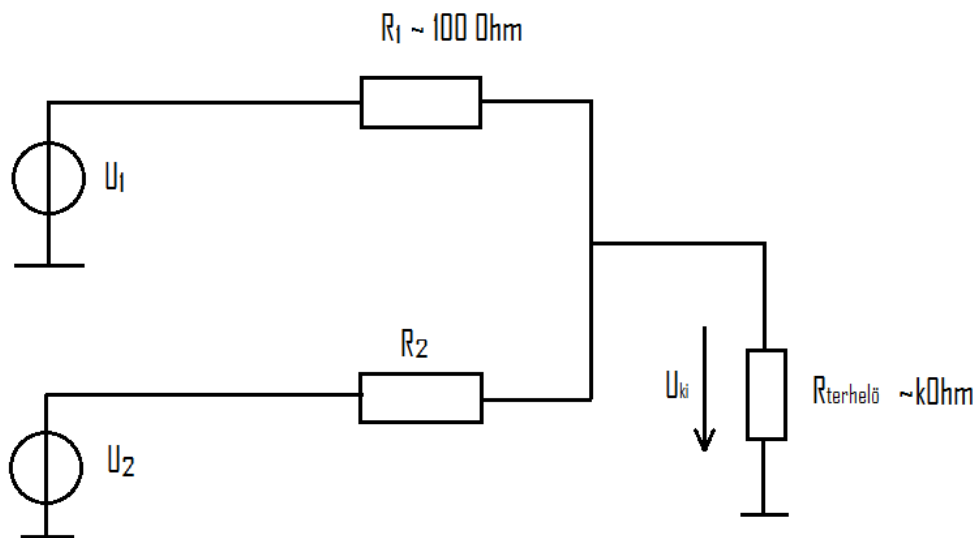
Zárt fülhallgató

- könnyebb mélyet keverni rajta (a mély lesugárzása jobb)
- környezet zajai kevésbé jönnek be, illetve a füles hangjai nem szűrődnek ki
- énekest zavarhatja, hogy máshogy hallja magát (de hát ez van, git gud)

Még egy szó az aktív zajsűrésről, és hogy miért nehézkes kompenzálni például a nyílt fülesből mikrofonba beszűrődő hangokat:

- Fülesnél a környezeti zaj csökkenthető: külső részére mikrofont rakunk, amit az vesz, azt ellenfázisban belekeverjük a hangba → kioltás jön létre
- Ez azonban énekesnél kellemetlen, mert nem tudom, mi jön ki a fülhallgatóból, de ha tudnám is, az átviteli függvény változik folyamatosan (mert az énekes elmozdítja a fejét, kicsit imbolyog, stb), és a fülesnek a mikrofontól való távolsága is változik → a zajsűrés nehézkessé válik
- Ráadásul a fülhallgató és a szája egy irányból adja a hangzást, ez is nehezíti a kiszűrést

Kimenetek összeeresztése



Tipikusan $R_t \gg R_1, R_2$

(Elektronika emlékeztető: Úgy számoljuk U_{ki} -t, hogy a feszültséggenerátorok egyik „sapkáját” – feszforrás karikáját – leveszem, és úgy nézem, hogy a másik mit csinál)

$$U_{\text{ki}} = \frac{R_2 \times R_t}{R_2 \times R_t + R_1} U_1 + \frac{R_1 \times R_t}{R_1 \times R_t + R_2} U_2 \approx \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_2$$

Ha $R_1 \approx R_2 \rightarrow$ OK LENNE, de:

- ez sokszor frekvenciafüggő
- sokszor közel sem hasonlóak (~ 10 -es szorzó lehet köztük)
- Ha az egyik sokkal nagyobb \rightarrow biztos baj lesz
- Illetve: baj van, hogy az egyik a másikat túlzottan terheli \rightarrow feszültségesést okoz

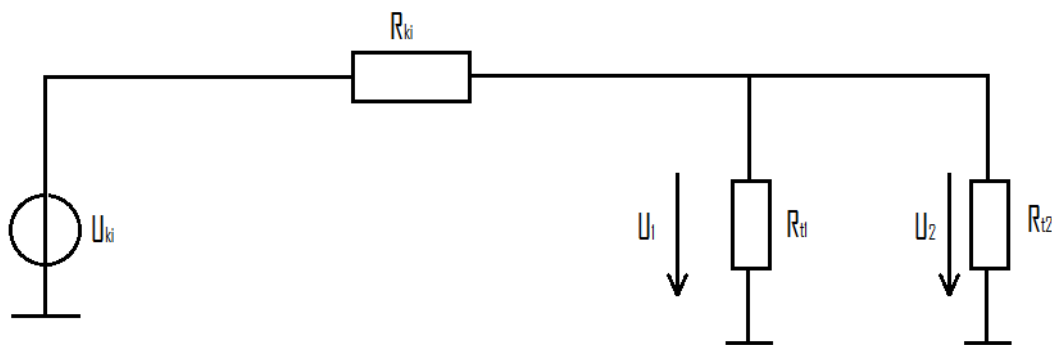
Ugyanez végfokoknál:

- Max 4Ω hangfalat bír el
- Másik 1Ω végfokot rákötök, terhelésnek veszi \rightarrow nem fog szólni
- Vagy leesik a feszültség, vagy le is ég

EZÉRT: Kimeneteket nem szabad összekötni! (Illetve: feltételhez kötött, de jó az is, ha azt jegyezzük meg, hogy nem szabad..)

Nem fog működni, vagy rosszabb esetben tönkre is megy!

Bemenetek együttes meghajtása



$$U_1 = U_2 = \frac{R_{t1} \times R_{t2}}{R_{t1} \times R_{t2} + R_{ki}} U_{ki} \approx U_{ki}$$

A közelítés azért tehető meg, mert $R_{t1}, R_{t2} \gg R_{ki}$

Nincs probléma, ugyanazt az U -t kapják meg, nagyjából feszültségesés nélkül

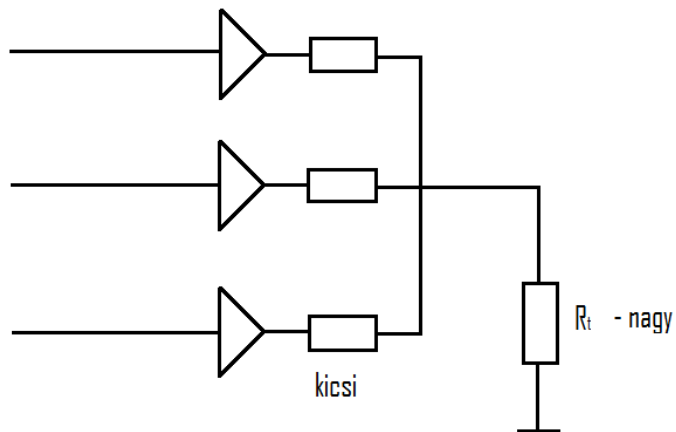
Tehát ezt **SZABAD CSINÁLNI**, ez **MŰKÖDŐKÉPES**, nem lesz baj.

Ez audiojeleknél igaz (pl: több CD-íróra küldöm a jelet)

De: pl több fejhallgató esetében nem feltétlenül ugyanakkora az impedancia – feszültség bár azonos, de a teljesítmény nem → különböző hangerőket hallunk (akár jelentősen eltérő)

- Ha ugyanolyanok, fülhallgatónál is működhet, ha le tudja adni az áramot.
- Ha az áram is kell (pl.: füles/hangszóró): akkor $R_{t1} \approx R_{t2}$ kell, hogy legyen, ekkor szólnak kb ugyanúgy
- (Hangszóróknál általában vagy mind 8Ω vagy 4Ω)
- De: még akkor sem feltétlenül szól ugyanúgy (ugyanolyan hangerővel), mert különböző lehet az érzékenységük (dB/W/m hangszórónál, dB/mW fülesnél)

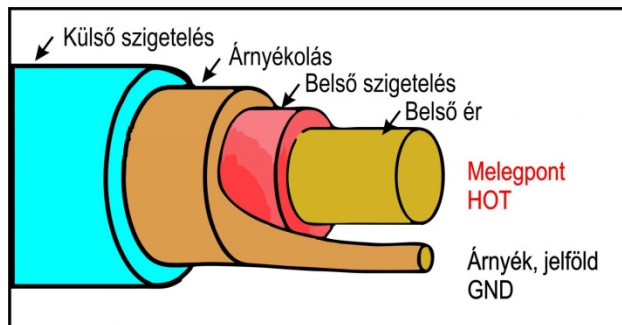
Keverőpultban hogyan összegzünk?



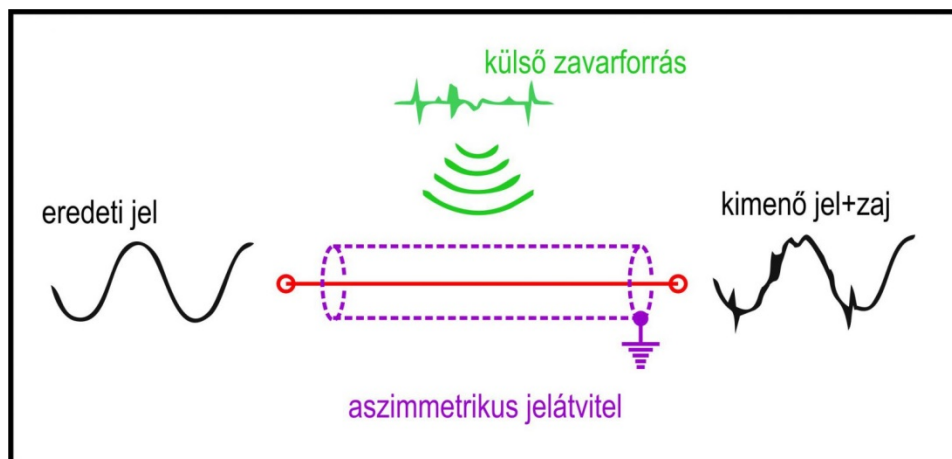
Elvileg az erősítő után bekötött kicsi ellenállások nélkül is lehetne, ha a műveleti erősítők teljesen egyformák lennének (de mindig van szórás, szóval azért kellnek)

Jelvezetés módjai

Aszimmetrikus jelvezetés



Egy eres árnyékolt kábel felépítése



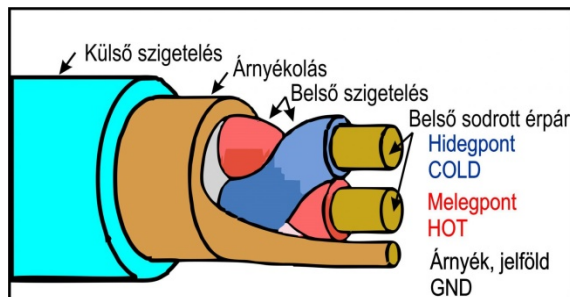
- Tehát van egy vezetékünk jelvezetékeknek, és egy vezetékünk a földnek (tipikusan ez az árnyékolás).
- Bár árnyékolva van a jelvezeték egy árnyékoló burkolóval (hangtechnikai földre földelve), és ez segít is, de baj van, ha komolyabb EM zavar éri az árnyékot, ugyanis szemléletesen ez rángatni fogja a földünket → kiül a zavar a jelünkre.

Baj akkor van tipikusan, ha:

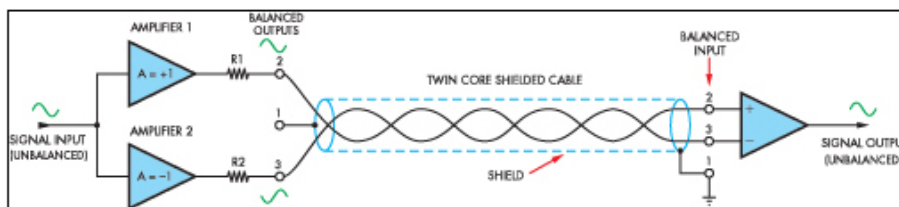
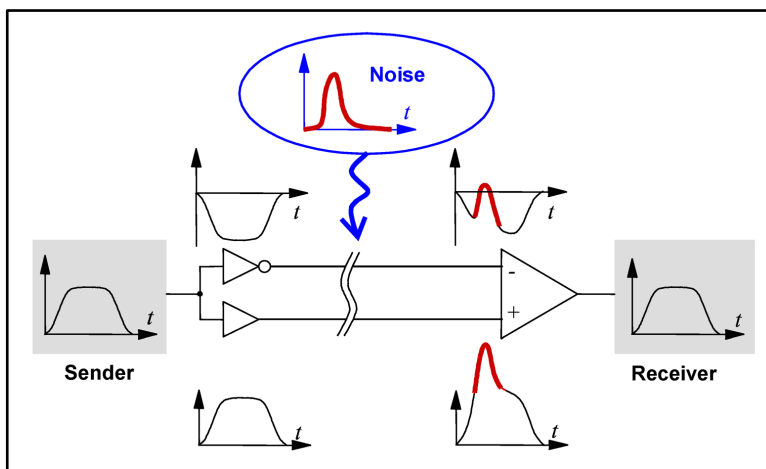
- Nagy a zavar
- Kicsi a jel
- Hosszú a kábel

Szimmetrikus jelvezetés

Ennek kiküszöböléseképpen:



Csavart érpár / szimmetrikus kábel felépítése



- Ötlet: az árnyékolást válasszuk el a jeltől, és a jel -1-szerese is menjen át
- Hiába mozog el a föld, a jeleink együtt mozognak, és a differenciál erősítő a saját földjéhez képest adja ki, így nem lesz baj, nem fog megjelenni a zaj

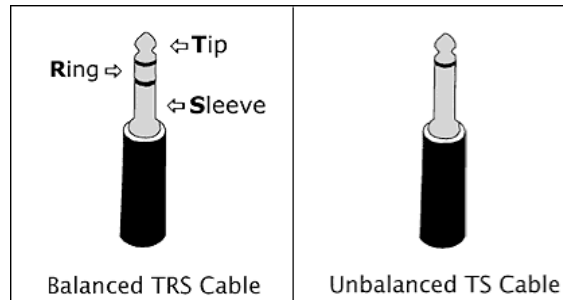
Amúgy:

- Ez a kábel jól bírja a taposást, rángatást minden mennyiségben
- Nagy távolságon (150m) azért szedhet össze zajt – tökéletlenségek miatt

Megjegyzés: elvileg az is lehetne, hogy a 2 belső éren az aszimmetrikus jelet küldöm át (hiszen védve van a külső zajtól az árnyékolás miatt), de ez azért nem olyan jó, mert ha mégis bejut valamennyi, akkor az ráül a jelre. Ha a jelet és az inverzét viszem belül, akkor a bemeneti differenciális erősítőn ki fog esni mindazon zaj, ami ugyanolyan mértékben ült rá mindkét belső vezetékre

Hogyan kössük össze a kettőt?

Hogyan tudjuk felismerni? Pl.:



Szimmetrikus ill. aszimmetrikus jack

Ez bár nem (teljesen) tananyag – később lesz róla szó egy kicsit –, de tanulságos lehet tanulmányozni szerintem ezt: <http://www.rane.com/note110.html> (az ábrákat)

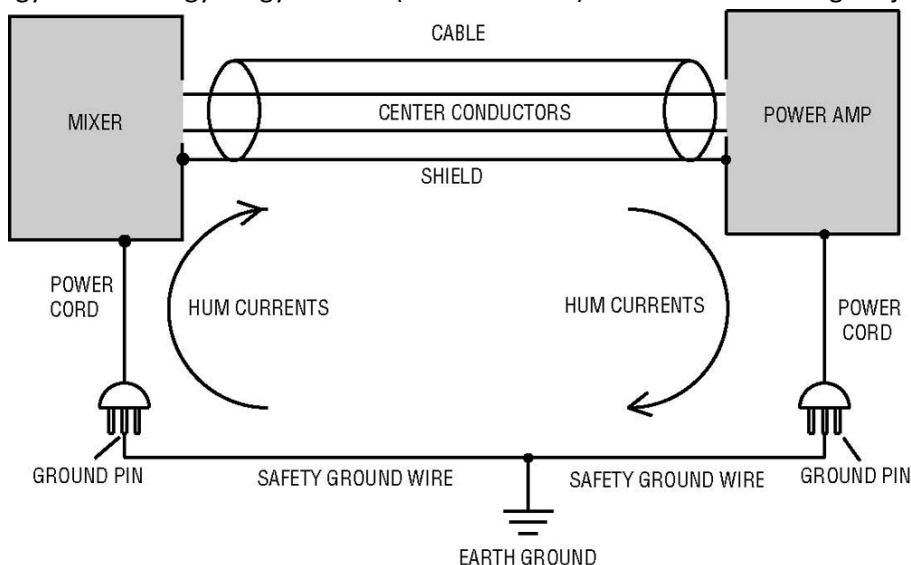
Földhurok

Milyen hangja van?

- A „hálózati brumm” 50Hz-es
- 20Hz körül kezdünk el hallani (basszus gitár ~40Hz-nél indul), azaz az 50 Hz nagyon mély
- Ennek ellenére nem 50 Hz-es bűgás szokott lenni → általában a felharmonikusai jelennek meg

Mi a földhurok és miért jön létre?

- A hangtechnikai föld a fém házhoz van kötve, ami rá van kötve a „valódi” földhöz
- A hangtechnikai földek egymással is össze vannak kötve
- Így kialakul egy nagy hurok (ld. lenti ábra) → ha EM tér megszórja, brumm lehet!



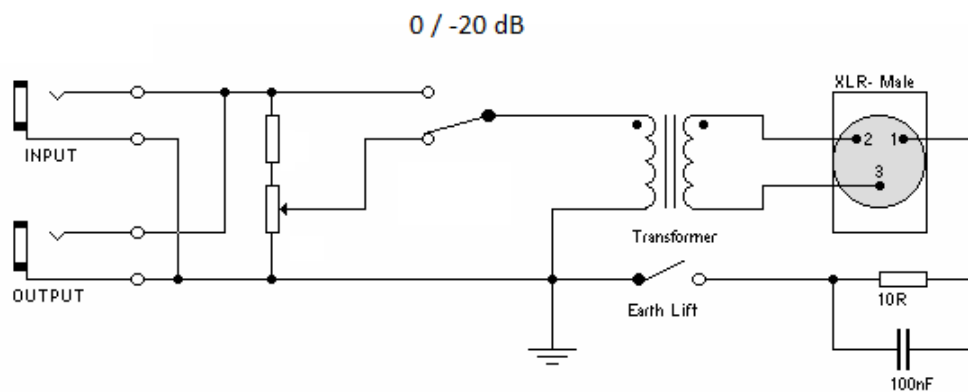
Ugyanez kis skálán (pl.: Otthoni DVD lejátszón) miért nem jelentkeznek?

Itt is ugyanez van, de otthon általában:

- Magas a jelszint
- Rövid távolságok
- Nincs zavar

Ezért nincs baj!

Tipikusan akkor van probléma, ha aszimmetrikus jel jön be a rendszerbe (amiben mindenhol szimmetrikus jelvezetést használunk). Ennek a kiküszöbölésére való a DI-box (Direct Injection Box), ami tkp. átalakítja aszimmetrikus jelvezetékét szimmetrikussá. Lent egy PASSZÍV DI-box látható:



- Az aszimmetrikus jel bejön egy sima passzív ellenállásosztóba.
- A transzformátor nem visz át teljesítményt, ezért lehet kicsi, vékony drótos
- DE: hangtechnikai trafó kell, hogy legyen, vagyis megfelelően át kell tudnia vinni a jelet
- Lent a kapcsoló az ún. GND lift – az elmondottak ellenére ugyanis időnként jó lehet összekötni mindent, hogy stabilizáljuk a földeket
- Látható, hogy jack bemenetből (aszimmetrikus) csinál XLR kimenetet (szimmetrikus)

Ha semmiképp se akar működni a rendszer, potenciális lehetőség lehet: gitárládát DI-box helyett bemikrofonozzuk:

- Nem mindegy, milyen mikrofonnal, és hova rakjuk
- Közeltérben mást hall a mikrofon
- Távolabb mélyből elnyom, de amúgy is közel tesszük

Mikrofonok

Paraméterei:

Érzékenység

$$e = \frac{U}{p} \left[\frac{mV}{\mu bar} \right]$$

- Némileg misztikus mennyiség, hangtechnikában kevésbé érdekes (minőség szempontjából nem nagyon számít)

Frekvenciamenet

$$e(f)$$

- Az érzékenység függ a frekvenciától.
- Nem feltétlenül a konstans a jó (pl a legjobb/legelterjedtebb ének mikrofon a Shure SM58 ami bár megszínezi a hangot, de mégis nagyon szeretjük, és ezt használják mindenhol)
- (Később mikrofontípusoknál részletesebben tárgyalva)

Íránykarakterisztika, gerjedés

Az érzékenység függ az iránytól is, vagyis

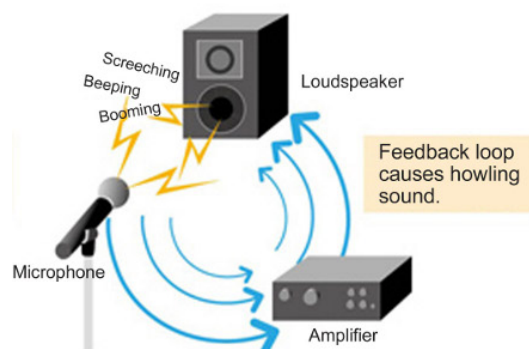
$$e(\theta)$$

Fontos itt kitérni a gerjedés jelenségére:

- Baj akkor van, ha $P_2^* \geq P_1$ -nél → ekkor gerjed (vagyis ha a hurokerősítés ≥ 1)
- Ez pl akkor lehet, ha jó hangos az erősítés, de az énekes halkán énekel.

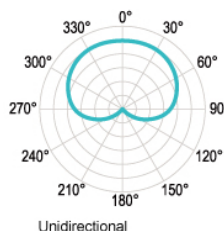
Megoldás: Értelmesen kell elhelyezni a dolgokat, tehát:

- Ne álljon az énekes a hangláda elé
- Ne forduljon/nézzen a hangláda felé a mikrofon
- Létezik gerjedésgátló eszköz: figyelni, hol alakul ki a szinusz és szűri
- De: Profi zenész tudjon mikrofonba énekelni! (vagyis git gud)



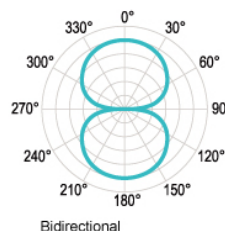
Az iránykarakterisztika függvényében meg lehet különböztetni több féle mikrofont:

Kardioid



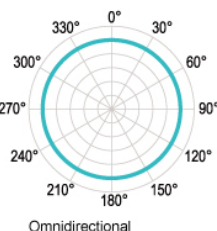
$$U \sim (p + \text{grad } p)$$

Nyolcas



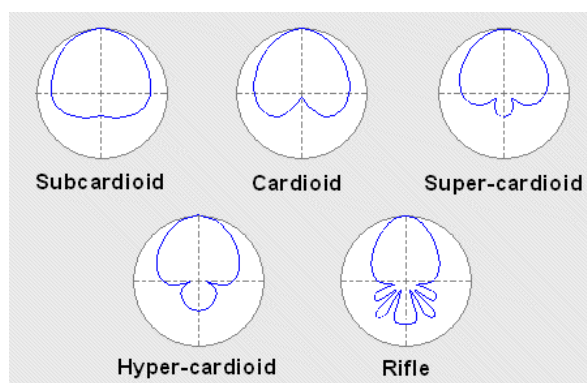
$$U \sim \text{grad } p$$

Gömbi



$$U \sim p$$

Kicsit részletesebben lehet még:



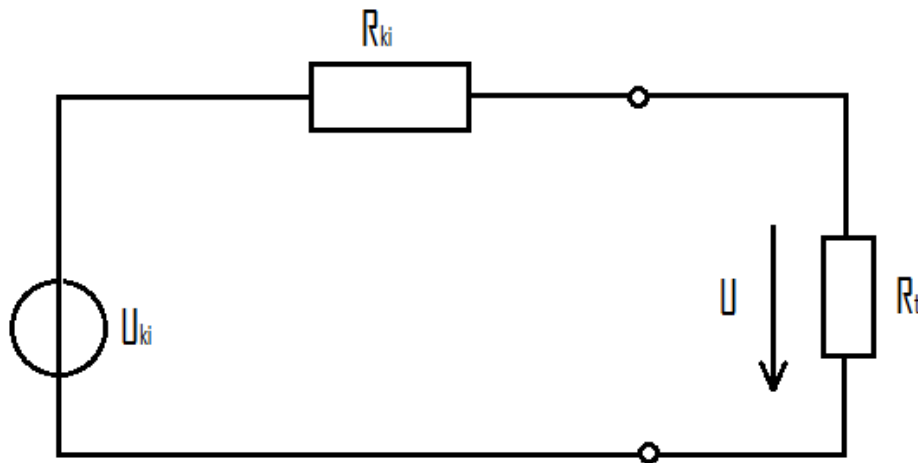
Maximális hangnyomás

- Mikrofonoknál a maximális hangnyomás 130..150 dB SPL (átlagosan – ének mikrofonnál mondjuk bőven elég)
- Ez már bőven a fájdalomküszöb
- De lábdobtól 1 cm-re para lehet, esetleg üvöltő metál „énekes” 1 centiről.. (de erre speciális mikrofonok léteznek, pl.: lábdob mikrofon)
- Mikrofon túl nagy hangerőknél először torzít, aztán el is romlik (bár ez azért ritka)
- Hangos hangszereknél tehát vagy megnézzük ezt az értéket, vagy azt, hogy mire szánták az adott mikrofont

Megjegyzések:

- Megeshet az, hogy a mikrofon olyan, hogy recseg teljesen főirányban – ezt ilyenkor érdemes kicsit elfordítani
- Nézegetni akkor kell ezeket, ha másra használjuk őket, mint amire szánva van
- Ének mikrofon pl.: pergődobon tök OKÉ

Kimeneti impedancia



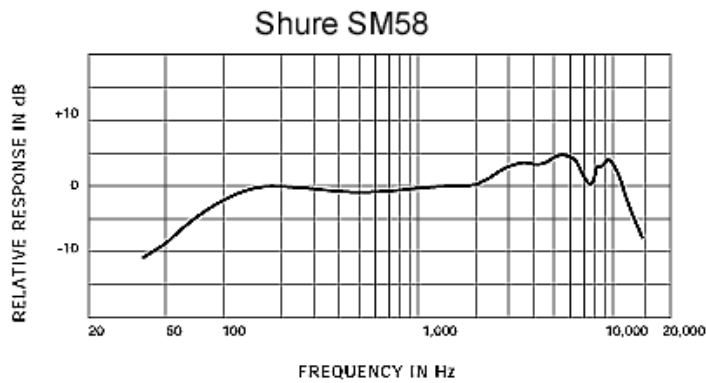
$$U = \frac{R_t}{R_t + R_{ki}}$$

- Gond: ha gitárládán több bemenet van, és azok össze vannak kötve – a gitárok elhúzzák egymást (lásd korábban említett „Bemenetek együttes meghajtása”)
- Jó, ha R_{ki} kicsi \rightarrow ha nagy és R_t sem nagy, az rosszul szólhat
- **Zajszint:** általában kellőképpen alacsony – mérőmikrofonnál számít csak, hangtechnikában annyira nem. Ami nálunk gond lehet:
 - beszélgetés távolból
 - pult bementő fokozatának zajossága
- membrán súlya minimális – nem akar lengeni – kimeneti impedancia jó
- aktív DI-box: jó, mert a trafó frekvenciafüggő dolgai nem mennek át a henger oldalára
- DI-box: lehet trafó nélkül is (műveleti erősítővel)
 - Szétválasztás nincs, de műveleti erősítő impedanciája nagyon nagy
 - Szimmetrizál
- 2 trafós, táp is leválasztott, elektronika hangszerekben is – ez a legjobb

Mikrofon típusok

Dinamikus mikrofon

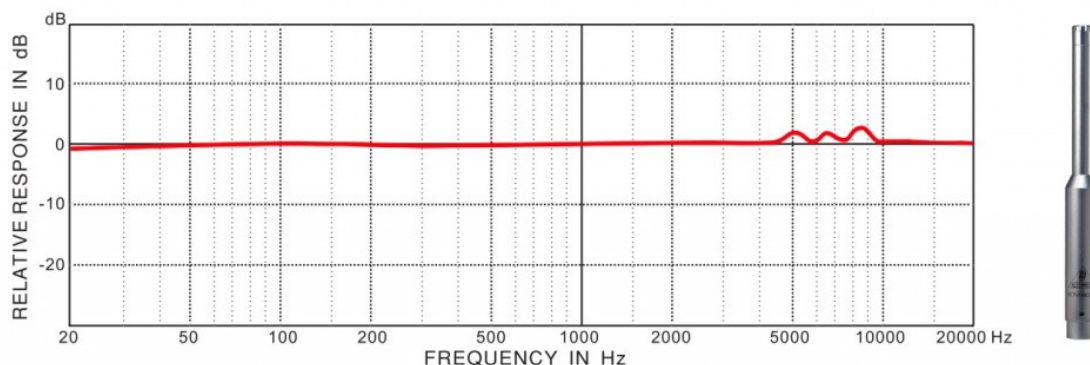
Tipikusan énekmikrofonnak használjuk. Frekvenciamenet:



Előny/Hátrány:

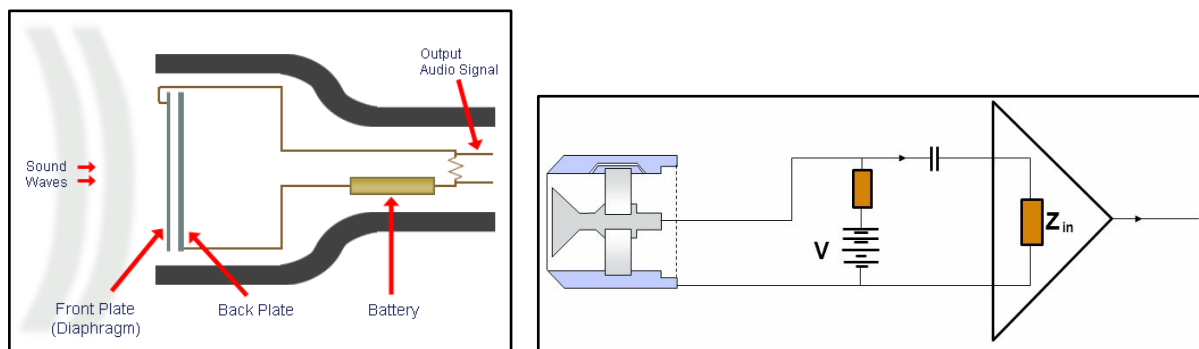
- + relatíve olcsó (max ~60k, a piacvezető/legjobb Shure Beta58 is kb ennyi, viszont olcsóbb verziókat meg már nem érdemes venni..)
- + robusztus (leejthető, nem törékeny, stb)
- + passzív, vagyis nem igényel tápot
- kissé gyengébb érzékenység
- frekvenciamenet egyenetlen: kicsit színezi a hangot → ez nem feltétlenül baj, jól szól éneknél

Kondenzátormikrofon



Behringer ECM8000 Official Frequency Response

Működési elv:



Elöl egy fém membrán, mögötte a backplate: ez a kettő együtt egy kondenzátor → ha p hangnyomás megnyomja a membránt, ΔC változik → ez az információ hordozója

$$\Delta C \rightarrow \Delta U$$

Előfeszítés szükséges (hogy lineárisan viselkedjen):

- Kell tápfesz (+30..200V)
- „Befagyot töltések” lehetnek:
 - Membránon → olcsó, mert rágőzölünk fémet rugalmas műnyagra (kb. nylon zacsit kell elképzelni)
 - Backplaten → drágább

Tipikusan műnyagra szokás tehát gőzölni fémet, épp emiatt.

Típusok:

True condenser +48V táp	>80k Ft
Pre-polarized / backplate charged	100k-200k Ft
Electret (membrán van töltve)	>200-300 Ft (! Olcsó !)

(Megj: láthatjuk, hogy nincs nagy különbség árban True condenser meg pre-polarized között, na meg true-ból is van jóval drágább)

Előny/Hátrány:

- + jobb érzékenység
- + frekvencia menet „vonalzó” jellegű
 - alacsony frekvencián (<20Hz) a levágást a mikrofon nyomáskiegyenlítő nyílása határozza meg, illetve az elektronika
 - levágás általában lejjebb van, mint szeretnénk (hangtechnikában), így elektronikusan szűrjük: 80-100 Hz-es levágással, ez alatt ált. zaj van (döngés, szél, stb) – ez általában ki/bekapcsolható a mikrofonon!
- relatíve drága
- mechanikailag érzékeny
- tápot igényel

Puskamikrofon



- Erősen irányított
- Minél hosszabb, annál alacsonyabb frekvenciákig megtartja az irányítottságát
- Tipikusan kondenzátormikrofon

Madonna-szett



- + közvetlenül az énekes szájára lehet irányítani
- + énekes közben nyugodtan mozoghat/táncolhat, kezei szabadok
- tök jó tud(na) lenni musicalekben, de ott egyesek sérelmezik, hogy látszik/illúzióromboló (még a test színű is)

Piezoelektromos mikrofon

- Piezoelektromos anyag összenyomás (hanghullámok) hatására feszültségkülönbség keletkezik → ez lesz a jelünk
- (Van ilyen magas sugárzó is)

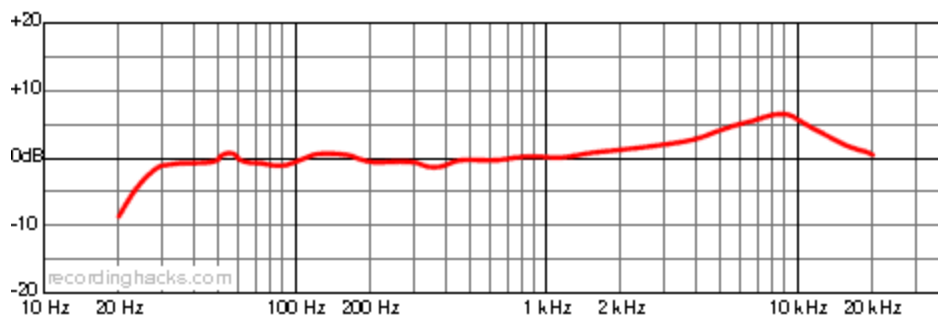
- + Olcsó
- Cserébe **rosszul szól**

Hangtechnikában nem nagyon használják (egyébként kontakt mikrofonnak szokták használni, és mivel eléggé robusztus ezért jó pl. katonai alkalmazásokra, víz alatti környezetnél ahol nagy a nyomás, stb)

MEMS mikrofon

MEMS = Micro-Electro-Mechanical System(s)

- + relatíve olcsó
- + meglehetősen jó



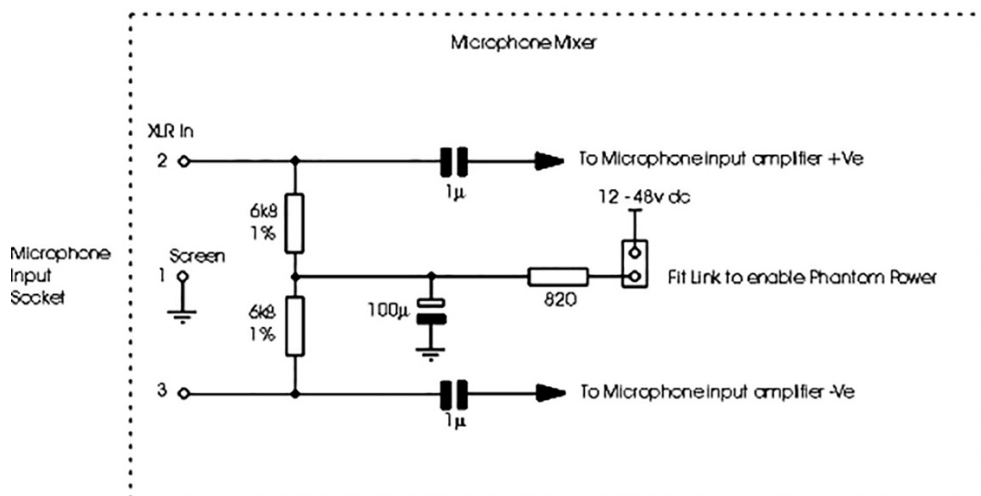
- Mobiltelefonokban általában ez van
- kicsi kiemelés magasfrekvencián (ldd ábra), de ez kb-ra még jó!

Mikrofonok felhasználás szerinti összehasonlítása

Összefoglalónak:

Felhasználási terület	Használt mikrofon
Énekmikrofon	<ul style="list-style-type: none"> • Tipikusan dinamikus • Frekvenciamenet nem túl fontos
Hangszermikrofon	<ul style="list-style-type: none"> • Inkább kondenzátor, de attól is függ, milyen hangszer (milyen spektrális összetétele van) • Általában nem hangszer-specifikusan tervezik → ami átviszi jól azt amit az adott hangszer produkál, azt használják, így eléggé vegyes
Térmikrofon	<ul style="list-style-type: none"> • Tipikusan gömbi karakterisztikájú kondenzátor
Puskamikrofon	<ul style="list-style-type: none"> • Erős irányítottság, érzékenység miatt kondi • Tipikusan videokamera-mikrofonok ilyenek (azt vegye a kamera, amire nézünk épp)
Basszusmikrofon	<ul style="list-style-type: none"> • Nagy membrán kell (emiat: magasat kevésbé veszi) • Lehet dinamikus/kondenzátor
Asztali mikrofon / határfelületi mikrofon	<ul style="list-style-type: none"> • Tkp. kardioid frekvenciamenetű mikrofon, csak speciális alakja van (lapos) • Szájtól távolabb van → SNR rosszabb lehet • Lábdobban is lehet • Mivel határfelületen van, ezért nagy érzékenységgel („+3dB”-vel) is reklámozzák (a visszaverődés miatt)
Drót nélküli mikrofon	<ul style="list-style-type: none"> • Bármilyen mikrofon lehet ilyen, de hozza magával a vezeték nélküli átvitel problémáit (ld. később)
Klipsz mikrofon /csiptetős/	<ul style="list-style-type: none"> • Tipikusan gömbi (mert nem beállítható, hogy honnan jön a hang) • Tipikusan kondi (mert távolabbról jön)
Headset / madonna mikrofon	<ul style="list-style-type: none"> • Száj előtt van, nézhet felém – lehet irányított • Lehet din/kondi is (ha az utóbbi -> úgysem fogja baj érni; rég rossz, ha a fejem körül mechanikai hatásoknak vagyok kitéve..)

Fantomtáp



Mint korábban említve volt, a kondenzátor mikrofonoknak szüksége van táphoz, ahhoz, hogy előfeszítést rá lehessen adni. Azért „fantom”, mert nem külön vezetékkel kötjük be a tápot, hanem ugyanazon az audió kábelben küldjük, mint amelyiken a jelet kapjuk, és ezért úgy tűnik, mintha feketemágia hajtaná meg az egészet (pedig valójában a keverőpult vagy konzol adja rá).

A két kondenzátor a keverő bemenetén azért van, hogy ha esetleg a két 6,8 k-s ellenállás nem lenne tökéletesen egyenlő (és ezért áram folyna) akkor azt a DC tagot így leválassza.

Mikor van tehát baj → ha olyan eszközre rakjuk rá, aminek nem kell / nincs felkészítve a fantomtápra. Tehát **csak az erre alkalmas eszközökre mehet a fantomtáp**, csak szimmetrikus jelvezetésekor.

Ami nem bír(hat)ja:

- Számítógépek hangkártyái
- Mobil hangchipje
- Szint csak akkor bírja, ha rá van írva, hogy bírja (amúgy meg nem feltétlenül megy tönkre, de lehet)
- Gitárnak is gond
- Tkp. majdnem minden egyéb, ami nem erre van kitalálva..

Megj.: van olyan mikrofon, aminek van beépített eleme: ezt is meg tudja károsítani a fantomtáp (de van olyan típus, amit nem zavar, és érzékeli, ha meghal az elem → ekkor meg átveszi a fantomtáp a tápellátást)

Mi lenne, ha jack-et dugunk be?

Ez az alábbi (A1) lehetőség. Rövidre zárja a tápot → probléma talán nincs, de a feszültség leesik, vagy feleslegesen leterheli

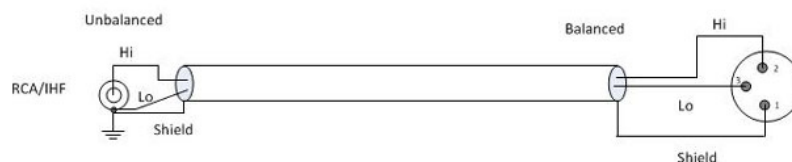
Stagebox

Különösen probléma tud lenni, ha stageboxot használunk. Ez alapvetően csupa XLR csatlakozóval rendelkezik – hogy kössük hát be a gitárt (ami jellegzetesen jack dugós kimenettel rendelkezik)?



Egy random stagebox, hogy ilyet is lássunk

A1) lehetőség:



- Összekötjük a hideg pontot (-) és a földet a szimmetrikus jelvezetéről, így alakítva át. (Megj.: Hangtechnikában: a normál fázis a +/meleg, az ellenfázis a -/hideg, a föld meg a hangtechnikai föld)
- Így lehet jobb híján aszimmetrikus jelvezetésről áttérni szimmetrikusra (de persze csalunk, hiszen ez nem tökéletes átalakítás)
- Előnytelen, a következő variáció (A2) egy fokkal jobb:

A2) lehetőség



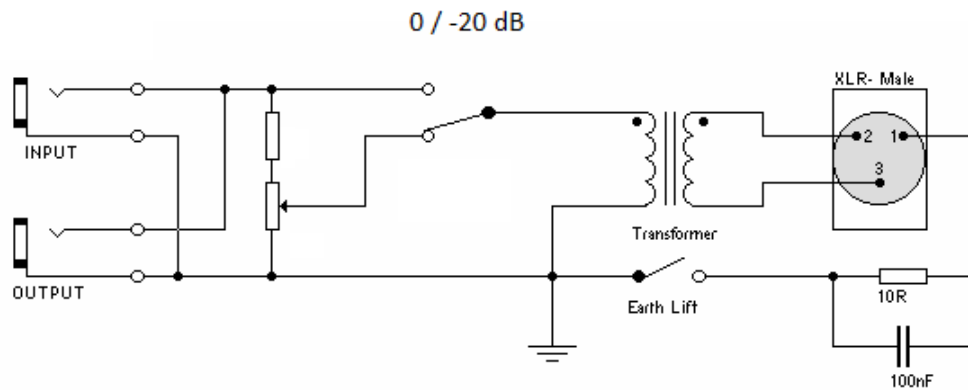
- Olyan, mint az előző, csak a hideg pont (-) az nincs rákötve semmire (lóg)

B) lehetőség

A pultnál van XLR-jack átalakító: ilyenkor lehet az A)-s módszereket felhasználva élből bekötni!

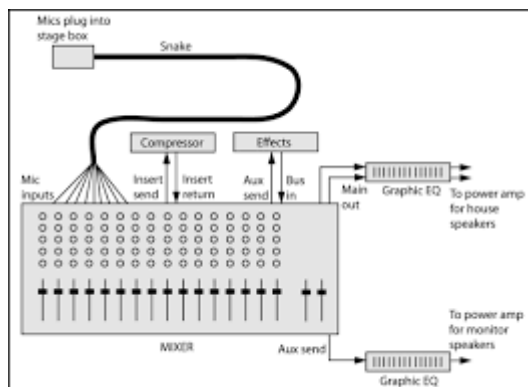
C) lehetőség

DI-boxot használunk (korábban már említve):



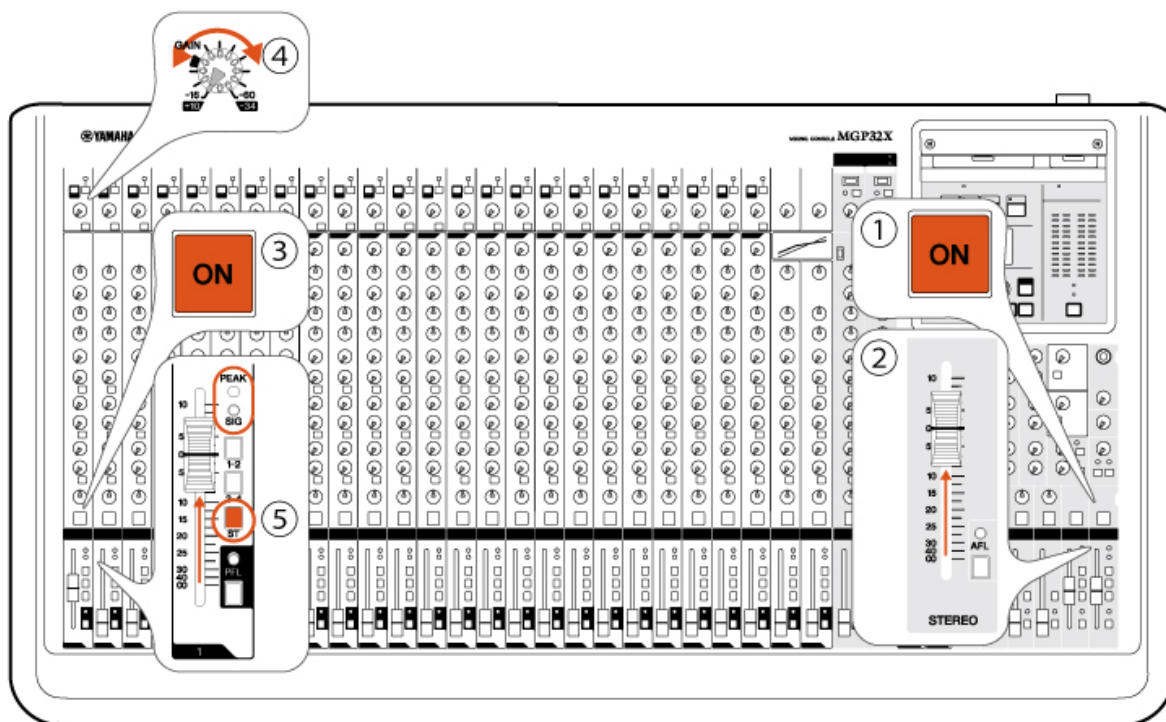
Vegyük észre, hogy a két oldal teljesen el van választva.

Rendszertechnika



Általánosságban elmondható:

- Van egy sokcsatornás kábel – pultfüggő, hogy milyen → de ez jó masszív, szóval ez valószínűtlen, hogy eltörik
- Gitár, szinti: már effektezett jelet ad
- Dinamika, hangszínezés: helyszíntől függő
- Insert effekt: beszúrva a csatornán (akár csak 1 csatlakozón)



Tipikus analóg keverőpult látképe

A zengető

Nagy helyszínen is szükség van rá! A közönséget sugározzuk – direkt hang van, és azt szeretnénk, hogy mi döntsük el, hogy mit hall a közönség, ne a terem → így a mélységben való elhelyezéshez kell visszhang, amit a zengetővel tudunk előállítani

- Bemenet: post aux
- Kimenet: az előállított visszhangok valamilyen arányban (a direkt hang NEM!)

Miért nem main out a bemenete?

- Azért, mert nem feltétlenül ugyanazt/ugyanúgy akarjuk ráadni a zengetést mindenkire

Pultokról általánosságban

- Nagyobb pult jobban konfigurálható, de nem kell tőle megijedni, elvben ugyanolyan, mint egy kisebb
- Hang bemegy, lefelé halad; jobbra pedig összegződik (bizonyos szinteken!)
- Analóg: minden potméter 1-1 analóg elemet változtat
- Digitális: szabályzó csak jeladó, ami befolyásolja a processzor működését
- Ami drága: a beavatkozó szervek
 - Digitális így olcsóbb tud lenni, ha csak kevés poti van rajta → de átláthatatlanabb is tud lenni, mert egy potméter nem mindig ugyanazt változtatja (nagyon figyelni kell rá)
 - Analógra ha ránézünk, rögtön látjuk mit csinál, digitálishoz ehhez kapcsolgatni/vizsgálgatni kell
- Digitális előnye: az állapota lementhető és visszahívható, valamint kb. *minden* konfigurálható benne, analóg ennél korlátozottabb

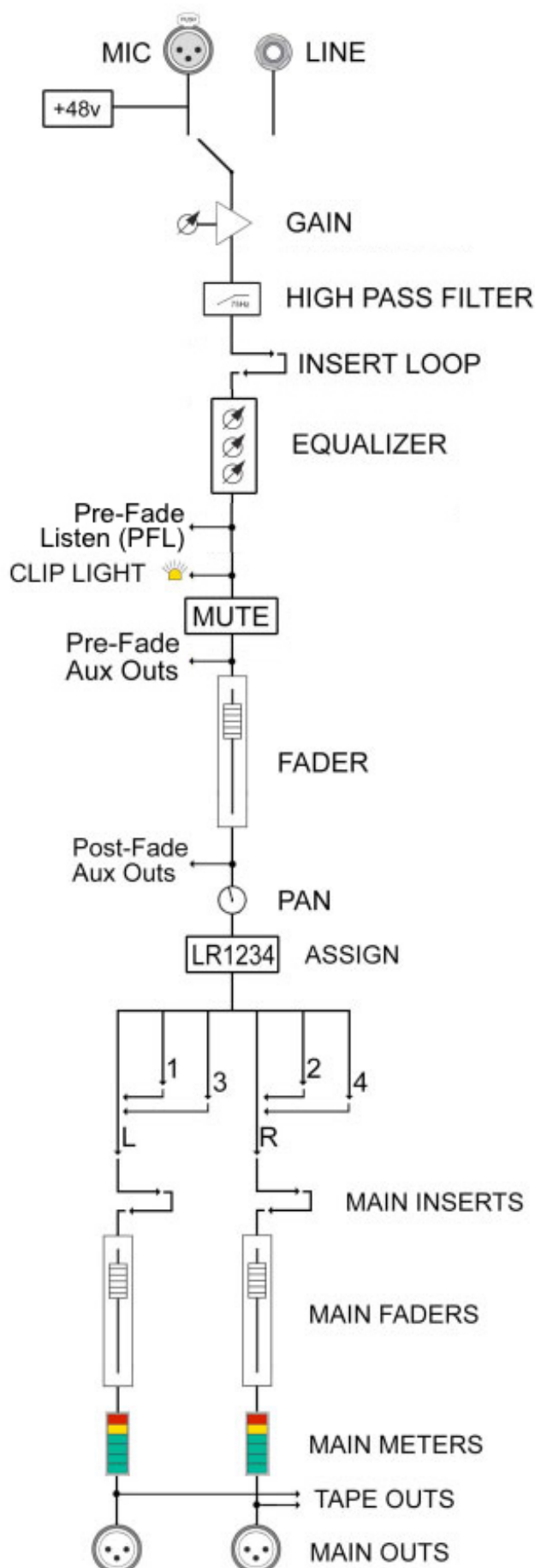
Csatornamodell

1 tipikus csatorna modellje kb így néz ki. Felülről lefelé haladva kommentezve:

- Mikrofonnál a fantomtáp kapcsolható
- A vonali (line) oldalon gyakran csak egy feszültségosztó van
- Kapcsolóval választás (akár a jack-be építve)
- Az előerősítő tipikusan 0..60 dB-t erősít
- Az INSERT olyan, hogy ha nincs bedugva semmi, akkor simán továbbmegy a jel (a jack az, amit bedugva fizikailag szétválasztja és megszakítja a jelutatót)
- PFL – Pre Fade(r) Listening (ábrán Pre-Fade, Aux), itt lehet belehallgatni a jelbe, ha szeretnénk (ez nem törvényszerű, hogy itt legyen, csak a lényeg, hogy a mute előtt legyen)
- Mute gombbal értelem szerűen elnémítjuk, tehát nem terjed tovább a jel (PFL-ben belehallgathatunk még ugye)
- Ezek után sztereó jelet csinálunk (L és R)
- Digitálisan lehet surround szabályozó, ha a busz 2-nél több csatornás

Egyéb:

- A zengetőt pl tipikusan Post AUX-ra (ábrán Post-Fade Aux Outs) szokás kötni. Ha a zengetőt a PRE AUX-ra kötjük, akkor ha utána lehúzzuk a hangerőt (fader), akkor a visszhang marad – ez jól jöhet akkor, ha a főgonosz kimegy hátul, de még halljuk a monológját/ördögi nevetését



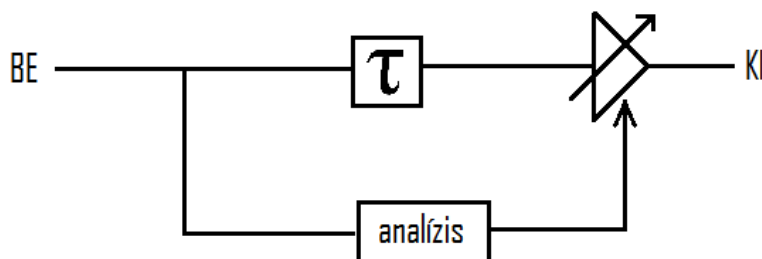
- Időnként van Solo gomb:
 - vagy a PFL gomb más elnevezése
 - vagy olyan gomb, ami mindenki mást mute-ol (DAW szoftverekben)
- PFL: ez is sínre megy, általában kivezérlésjelzővel és fejhallgatóba: ha nincs benyomva PFL, a master hallatszik a fülesben
 - Ha stúdióban vagyunk füles helyett normál hangszóró
 - Legprofibb stúdiókban mikrofonpár + jól belőtt hangfal → azt hallom, amit a néző hall (amúgy meg a keverőpultot hallom)
- AFL (After-Fader Listening) – valamilyen kimenet (pl. aux) hangerőszabályzó utáni leágazása, hogy lássam/halljam, hogy a kimenetre kimegy-e a jel
- Gain-t addig tekerem, amíg a kivezérlésjelzőn jó nem lesz (nem jó, ha túlvezéreljük). Több lehetőség:
 - vagy csatornánként van kivezérlésjelző
 - vagy PFL-el választok ki egyet és azt az erre rendelt kivezérlés jelző
 - vagy csatornánként néhány LED mutatja
- Digitális pultnál ha esetleg nincs kivezérlésjelző, nem is érdemes megvenni (legyen PFL is, és akkor jól használható)
- Ez az egész kis rendszertől egészen az aréniáig ugyanez rendszer szinten, csak utóbbiban kicsit több csatorna van 😊
- Digitálisnál: opció arra, hogy a beállításokat elmenthetjük – zenekarváltás gyorsan elvégezhető

Dinamika szabályzó

A dinamika szabályzó modul megváltoztatja a dinamikatartományát a jelnek. A leggyakrabban alkalmazott művelek a kompresszió és az expánzió.

Ez hasznos, ha:

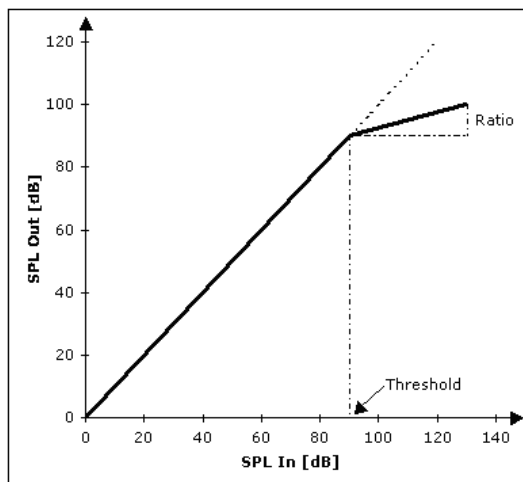
- Azonos hangosságérzetet akarunk (**kompresszor**)
- Meg akarjuk nagyítani a dinamikatartományát a hangnak (**expander**)
- Erősíteni vagy elnyomni akarunk bizonyos frekvenciákat (ha frekvenciafüggő dinamika szabályzónk van)
- Limitálni akarjuk a maximális jelet (**limiter**)



- τ késleltetés kell, mert az analízis időt vesz igénybe → ne „menjen el” a hang, mire végzek az analízissel

Szabályzásnak két módja lehet:

Statikus szabályzás



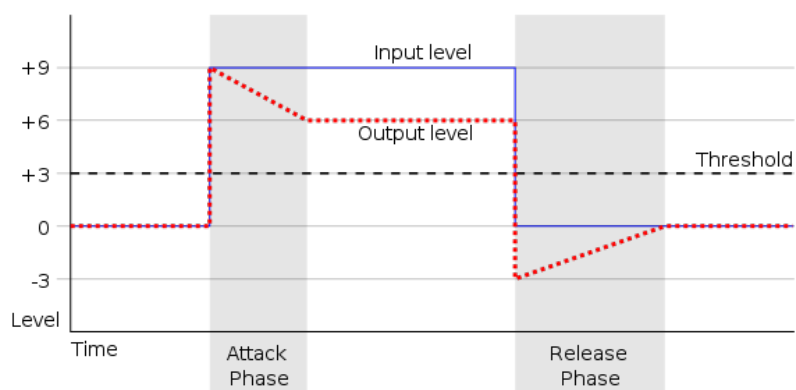
- $RATIO = \Delta BE : \Delta KI$ pl 3:1 (Ábrán az X tengely a bemenet, Y a kimenet)
- Ha $RATIO = \infty : 1 \leftarrow$ hangerőt limitálja (jelet nem engedi bizonyos hangerő föl), ez az ún **LIMITER**

Dinamikus szabályzás

Lehetséges, hogy be lehet állítani, hogy pontosan hogyan cselekedjen a kompresszorunk. Jobb esetben az alábbiak mind-mind állíthatóak, de megeshik, hogy nem, vagy csak limitáltan (pl: Yamaha beépítetten threshold+ratio együtt 1 tekerővel állítható)

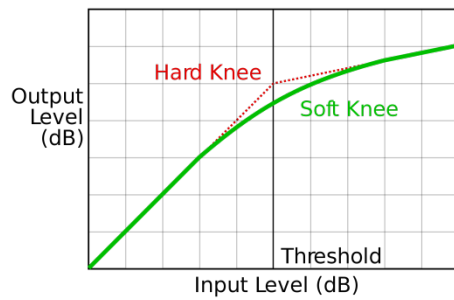
Attack/Release

- Attack time (megfogási idő) \rightarrow relatíve gyors \sim néhány ms
- Release time (elengedési idő) \rightarrow lassabb \sim 100 ms



Az, hogy mik a „jó” értékek, az hangszerfüggő!

Puha/Kemény térd [Soft/Hard knee]



- A levágás így nem annyira hallható, puhább az átmenet

Peak vs RMS

A csúcsdetektálás lehet:

- Peak – pl.: ne legyen digitális túlvezérlés (magnó ezt élből tudta) – a tüskét lejjebb húzza
- Rms – hangosságérzetre (átlag hangerőhöz mér, valamilyen mozgóablak alapján)

Nem mindegy, melyiket használom

Vezeték nélküli technika

Diverzitás⁶

- Adó és vevő között több úton terjedhet a jel – jelentős kioltás lehet a több utas terjedés miatt!
- Ezért a vevő legyen két antennás → ha az egyiket pont kioltódna, a másik tudja fogni a jelet (a kettő távolsága legalább $\lambda/2$ kell, hogy legyen)
- Énekeseknek általában macera ilyen vevőt adni → nekik csak egy antennájuk van → ha „rossz” helyre áll megeshet, hogy nem hall semmit → álljon odébb/oldja meg (ez van, git gud)
- Amit a közönség hall, ott nem lehet szakadás, tehát ott mindig kell a diverzitás
- (Időnként, ha valami nagy sztár van, akkor kikövetel(het)i magának, hogy ő bizony hallani akarja magát)

Rálátás

- >500MHz-en adunk
- A gyártók tipikusan a tiszta rálátás esetére adják meg a maximum hatótávolságot (és nagyon optimistán)
- Az emberek (is) árnyékolnak → színpadon (is) kellemetlen, a vevő legyen közel
- Ideális esetben tehát közvetlenül lássunk rá az adóra
- a vevőt rakjuk magasra (akár plafonra)
- ne a földre!
- Botantenna irányítatlan (adó tipikusan irányítatlan is kell, hogy legyen), de a vevő lehet irányított → legyen jól beállítva

Tápellátás

- Régen 9V – drágább, kevésbé bírja
- Ceruzaelem jó! Megjegyzés:
 - akksi idővel beszűkül, töltője drága, de lehet egyszerűbb megoldás végső soron
 - ceruzaelem SPARban lehet drága, de ugyanez a hangtechnikai boltban sokkal olcsóbb

Ha esetleg nem megoldható helyszínen a tápellátás (mert pl kültéren vagyunk és nem tudunk kivinni áramot)

- Aggregátor – bűdös, hangos (tegyük tehát messzebb, ahol már nem hallják, de *nem tudják elloponi*)
- Akksik + inverter (lehetőleg szinuszos – 40k-nál kezdődik, és fontos, hogy a nem szinuszos jelet sok hangszer nem szereti)

⁶ Könyörgöm ne használjuk a “diverziti”-t, különösképpen ne írásban, mert érfelvágós. Ott van a diverzitás, mint a magyar megfelelője az angol „diversity”-nek.

- Régi autókban levő indító akkumulátorok miért nem jók? → mert azok arra voltak kitalálva, hogy rövid ideig nagy áramot adjanak le (amíg beindul a motor), nekünk pedig hosszú ideig kéne kis áram
- A ciklikus akkumulátor, ami dedikáltan hosszú idejű, lassú merítésre van szánva
- Ma már (modern autókban): bírják a terhelést az akksik, mert klíma, zene, elektronika, stb is onnan megy, így másképp vannak méretezve
- Akár számítógép szünetmentes tápjáról is meghajtható a hangrendszer