

Hangosítási alapok

Tartalomjegyzék

1	A HANG, A HANGRENDSZER	2
1.1	A HANG	2
1.2	A HANGRENDSZER ALAPKONCEPCIÓJA	2
1.3	FREKVENCIA ÁTVITEL	3
2	ALAPMENNYISÉGEK ÉS MÉRTÉKEGYSÉGEK	3
2.1	MI A BEL ÉS A DECIBEL (DB)?	3
2.2	HANGTECHNIKÁBAN HASZNÁLATOS DECIBELEK:	4
2.3	RMS, PEAK, PEAK TO PEAK	4
2.4	TIPIKUS JELSZINTEK	4
3	ZAJ ÉS EGYÉB JELLEMZŐK	4
3.1	A ZAJ	4
3.2	TORZÍTÁS	5
3.3	ZAJOK MEGJELENÉSÉNEK OKAI	5
3.4	JELVEZETÉS, ÉS EBBŐL EREDŐ ZAJOK	5

1 A hang, a hangrendszer

1.1 A hang

Amit mi hangként érzékelünk az a mozgási energia egy fajtája, az akusztikai energia. Az akusztikai energia valamilyen fizikai közegben (pl. levegő) fellépő nyomásváltozás, illetőleg annak továbbterjedése (hullám). Egy teljes periódus két részből áll: a periódus első felében a levegő molekulák összesűrűsödnek (magasabb nyomás), majd ezt követi egy ritkulási szakasz (alacsonyabb nyomás). Minél nagyobb mértékű a sűrűsödés, illetve ritkulás, annál nagyobb a hangnyomás és ezáltal az amplitúdó.

Az egységnyi idő alatti levegő nyomásváltozások számát a hullám **frekvenciájának** hívjuk, ennek mértékegysége a **Hz** (Hertz). Azt az időt, amely alatt egy teljes hullám lejátszódik, periódusidőnek hívjuk, ami a frekvencia reciproka.

A hanghullám a levegőben kb. 340 m/s sebességgel terjed. Ez többek közt függ a páratartalomtól és a légköri nyomástól is, viszont nem függ a frekvenciától. Az a távolság, amelyet egy adott frekvenciájú hanghullám egy periódus alatt tesz meg, **hullámhossznak** nevezzük. (hullámhossz = hang terjedési sebessége / frekvencia).

Az ember által hallható frekvenciatartomány: 20Hz-20kHz. Az emberi beszéd tartomány alaphangjai kb. a 300Hz-3kHz-ig terjednek.

A hanghullám elektronikai reprezentációja egy, a hang ütemének megfelelően változó feszültség vagy áram.

A hanghullám időbeli viszonyát egy adott időponthoz képest **fázisnak** nevezzük. A fázist fokokban mérjük. A szinuszhullám egy teljes periódusának a fázisa 360° . Ha két hanghullám fáziskülönbsége 180° , akkor a két hullámnak azonosak a null-átmenetei, viszont ellentétes előjelűek, ilyenkor mondjuk, hogy a két hullám **ellenfázisban** van.

Ha két periodikus jelet (pl. szinuszhullám) összeadunk, akkor szintén egy periodikus jelet fogunk kapni. Ez alapján, illetve Fourier bácsi szerint minden periodikus jel felbontható különböző frekvenciájú és fázisú szinuszjelek összegére ld. EVT Tanszék, V1 5. emelet (Fourier-felbontás).

Ha egy f frekvenciájú periodikus jelet felbontunk szinuszos összetevőire, akkor az f frekvenciájú szinuszos összetevőt **alapharmonikusnak**, míg a $2f$, $3f$, $4f$, stb. (kf , ahol k természetes szám) frekvenciájú összetevőket **felharmonikusoknak** hívjuk.

1.2 A hangrendszer alapkoncepciója

A hangrendszerek egy elektronikai részekből álló rendszer, mely általában erősíti a hangot. A három fő ok, amiért ezeket létrehozták a következő:

- segíteni az embereket, hogy jobban halljanak (pl. egy ember beszél egy tömeg előtt)
- művészeti okokból (egyértelmű \rightarrow hangszerek közti hangerő-különbség, nem is szólva az elektronikus hangszerekről)
- a hang elvezetése, ill. hallgatása a megszólalásától mind időben (felvétel / visszajátszás), mind térben (hangátvitel / műsorszórás) távoli helyen

A hangrendszer modellje a következő:

hangforrás (hangenergia) \rightarrow hangenergia/elektromos energia átalakítás (bemeneti átalakító) \rightarrow az audió jel elektronikai manipulációja, erősítése, rögzítése \rightarrow elektromos energia/hangenergia átalakítás (kimeneti átalakító) \rightarrow kimeneti hang

Egy egyszerű hangrendszer konkrét, de eléggé általános példán:

hang → mikrofon → keverő [mikrofon előfok, eq, hangarányok] + erősítő → hangfal → manipulált hang

1.3 Frekvencia átvitel

Tekintsünk két egyszerű mérőberendezést:

Színusz generátor → „vizsgált berendezés” → szintmérő (kimeneti szint)

Színusz generátor → „vizsgált berendezés” → fáziskomparátor (kimeneti és bemeneti szinuszjelek fáziskülönbségét méri)

Az első méréssel gyakorlatilag a frekvencia függvényében az átviteli karakterisztikát kapjuk meg, ez a **frekvencia átvitel**, míg a másodikkal a **fázisátvitelt** vagy más néven **fázistolást** (ez a Bode-diagramm).

Egy készülék frekvencia átvitelét a következő formában szokták megadni: 20Hz-20kHz +2dB,-3dB. Ez megadja, hogy az adott frekvenciatartományban a kimeneti és bemeneti hang arányának eltérése mennyi a minimuma (-3dB) és maximuma (+2dB). Ez azonban a fázisátvitelről nem mond semmit, ami szintén fontos minőségi paraméter. (csalóka az is, amikor azt adják meg frekvencia-átvitelnek, hogy 20Hz-20kHz, ugyanis nem közlik, hogy ez mekkora tűréssel van, ld. Multimedia-Speakers)

Mivel az ember hallásának frekvenciaérzékenysége logaritmikus, ezért a frekvencia-átvitel frekvenciaskálája is logaritmikus.

Ha egy frekvencia (f_2) egy másik frekvenciának (f_1) pontosan kétszerese, akkor azt mondjuk, hogy a két frekvencia közti távolság egy **oktáv**. Ez egy zenei alaphangköz is.

Egy kis zeneelmélet: egy oktávot 12 logaritmikusan egyenlő közre osztanak, ezek a félhangok. Két egymás mellett lévő félhang aránya $\sqrt[12]{2}$ (ezek a zongorán a fekete és fehér billentyűk).

A ma egységesen elfogadott zenei alaphang a **normál A hang**, aminek frekvenciája 440 Hz. Ebből kiszámítható az egyes hangok frekvenciája (házi feladat). Ez a világ különböző tájain, ill. különböző korokban ettől eltérő lehet ill. lehetett.

Megjegyzésül még annyit, hogy a frekvencia átvitelének mérése általában 1/3 esetleg 1/6 oktávban történik, ez általában elegendően finom képet ad egy készülékről.

2 Alapmennyiségek és mértékegységek

2.1 Mi a Bel és a deciBel (dB)?

A dB mindig két mennyiség arányát adja meg. Az, hogy a dB-t logaritmikusan használjuk, egyrészt az ember logaritmikus hallása miatt van, másrészt sokkal könnyebb kezelni (leírni vagy mérni) a nagy arányokat. A dB (deciBel) a Bel 1/10-ed része (azért van nagybetűvel írva a B, mert az egység a nevét Alexander Graham Bell-ről kapta, azt viszont, hogy hova tűnt a második „l” betű, fogalmam sincs).

A Bel-t akusztikus, elektromos vagy más teljesítmény arány definiálására találták ki.

Két teljesítmény közti arány Belben: **Bel=log(P₁/P₀)**

Mi viszont azért használunk dB-t a Bel helyett, mert sokkal könnyebben kezelhető a hangtechnikában.

Tehát: **dB=10 log(P₁/P₀)** → ld. következő példa

Példa: mekkora az arány dB-ben 2W és 1W között:

$$10 \log(2/1) = 10 \log 2 = 10 \cdot 0,301 = 3,01 \approx 3 \text{ dB}$$

Ha két feszültség közti arányra vagyunk kíváncsiak, akkor a következőképpen módosul a képlet:

$$\text{Mivel } P=U^2/R, \text{ ezért: } dB_{\text{volt}} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{U_1^2/R}{U_2^2/R}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 = 20 \cdot \log\left(\frac{U_1}{U_2}\right)$$

Példa: mekkora az arány dB-ben 2V és 1V között:

$$20 \log(2/1) = 20 \log 2 = 20 \cdot 0,301 = 6,02 \approx 6 \text{ dB}$$

2.2 Hangtechnikában használatos deciBelek:

A hangtechnikában a deciBel-t szintmérésre alkalmazzák, mégpedig úgy, hogy rögzítik az egyik mennyiséget (P_2 , U_2 , stb...). Ettől függően megkülönböztetjük az alábbi deciBeleket:

- dBm

Teljesítmény (dBm) = $10 \log (P/1 \text{ mW}_{\text{rms}})$, ahol P mW_{rms} -ben van megadva (600Ω impedanciánál)

- dBu

Feszültség (dBu) = $20 \log (U / 0.775 \text{ V}_{\text{rms}})$, ahol U V_{rms} -ben van megadva.

- dBV

Feszültség (dBV) = $20 \log (U / 1 \text{ V}_{\text{rms}})$, ahol U V_{rms} -ben van megadva.

- dBSPL (hangnyomás)

Nyomás (dBSPL) = $20 \log (p / 20 \cdot 10^{-6})$, ahol p Pa-ban van megadva.

(a 0dBSPL-t évtizedekkel ezelőtt határozták meg, több ember hallásküszöbét vizsgálva, elvileg egy ép hallású (vidéki) ember hallásküszöbe 0dBSPL, 1kHz-en; egy átlagos budapesti diszkópatkány hallásküszöbe kb. 20-30dBSPL, a fájdalomküszöb kb. 130 dBSPL)

Az ember hallása frekvenciában nem egyenletes. Ugyanazt a hangosságérzetet más és más frekvencián más és más hangnyomás jelképezi (ezt Munson és Fletcher nevű csávók mérték ki még régebben). Általában egy hangfal hangnyomását 1kHz-en szokták megadni.

2.3 RMS, Peak, Peak to Peak

Az **RMS** a Root Mean Square angol kifejezés rövidítése, ami négyzetes középértéket, közismertebben **effektív értéket** jelent, ez szinuszos jelnél $\sqrt{2}/2=0,707$ -szorosa a csúcserőtelnek.

A **Peak(csúc)** a **csúcserőtel** jelenti a jelnek.

A **Peak to Peak** (alsó indexben *pp*) a pozitív és negatív csúcok közti különbség.

2.4 Tipikus jelszintek

A hangtechnikában a különböző készülékek be- és kimenetein az alábbi tipikus jelszintek (RMS) mérhetők (nagyságrendeket tekintve):

- MIC (mikrofon) : 10^{-3} - 10^{-2} V, 600Ω impedancián

- Line (vonalt) : 10^{-1} V- 10^0 V, 10kΩ impedancián

- Hangszóró : 10^1 V- 10^2 V, 4-8Ω impedancián (VIGYÁZAT! NAGYFESZÜLTSG! ☠)

3 Zaj és egyéb jellemzők

3.1 A zaj

Jelnek hívjuk az általunk hasznosnak ítélt hangokat ill. ennek elektromos megfelelőjét.

Ha egy hangrendszer bemenetére jelet teszünk, és nézzük a kimenetét, akkor minden, ami azon kijön az eredeti jelen felül, **zajnak** minősül.

Kétféle zajt különböztetünk meg:

- ami független az eredeti jeltől: ez a hagyományos értelemben vett **zaj**
- ami függ az eredeti jeltől: ez a **torzítás**

Jel/zaj viszonynak hívjuk a számunkra hasznos és haszontalan jel hányadosát. Hangtechnikában ez általában a maximálisan, torzításmentesen kivezérelhető jel és a bemeneti jel nélküli zaj hányadosa. dB-ben adjuk meg.

Tipikus értékek:

- jó kazettás magnó: 50 dB
- ugyanez Dolby C-vel: 70 dB
- CD (ill. 16 bites digitális eszköz): 96 dB
- professzionális digitális készülékek: 110 dB
- de pl. emberi beszéd a villamoson: jó, ha 20dB

3.2 Torzítás

Mint említettük a torzítás függ a jeltől, ez a nem alakhú átvitel miatt van. (Trapézba átmenő szinusz, stb.). A torzításokat százalékban szokás megadni.

Három fontos torzításról beszélhetünk:

- harmonikus: egy adott frekvenciájú és szintű szinusz mellett megjelenő egyéb szinuszok összegének viszonya az eredeti szinuszhoz (ált. 1kHz 0dB)
- intermodulációs: két eltérő frekvenciájú és szintű szinusz mellett megjelenő egyéb szinuszok összegének viszonya az eredeti két szinuszhoz
- tranziens-intermodulációs: egy bemeneti tranziens jelenségre adott válasz

3.3 Zajok megjelenésének okai

- áthallás (pl. keverőpultban szomszédos sávoknál, vagy sokszávos analóg magnón, elektromágneses tér segítségével)
- RF (rádiófrekvenciás) zavarok
- tápegység nem megfelelő szűréséből, árnyékolásából adódó zajok, brummok (maci)
- termikus zaj,
- elektromágneses behatások
- hanghordozó (pl. szalag) saját zaja
- lemezjátszó mechanika zaj
- digitális hibák (pl. konverziós, jitter)
- stb..... a sor ∞

3.4 Jelvezetés, és ebből eredő zajok

Az egyszerű, ún. **asszimmetrikus** jelvezetés két vezetéken történik, ez a Föld és a Jel-vezeték.

Ezek általában koncentrikusan helyezkednek el, kívül a Föld-vezeték bévül a Jel. Így a Föld-vezeték árnyékolási feladatokat is ellát. Ez azonban kis jelszintnél (Mic, Line) és nagy távolságnál nem elégséges, ugyanis rettentő zajokat bír összeszedni.

Ennek egy általánosan használt, és viszonylag egyszerű kivédése a **szimmetrikus** jelvezetés.

Fizikailag három vezetéken történik: Föld (külső árnyékolás), Jel+, Jel- (ez utóbbiak általában összesodorva)

A zsargonban a Jel+ neve: Meleg, a Jel- neve. Hideg.

Lényege, hogy a jel a Jel+ vezetéken megy, míg a Jel inverze a Jel- vezetéken.

A kábel végén a Jel+ és Jel- különbségéből állítják vissza a Jelet, ugyanis ez - egyszerűen kiszámolható - a Jel kétszerese.

A Föld-vezeték általában csak árnyékolási célokat lát el, kivéve egy-két speciális esetet.

A szimmetrikus jelvezetés azért jobb, mint az asszimmetrikus, mert a külső elektromágneses zajok mindkét Jel-vezetékre ugyanolyan irányban hatnak, így a kettő közti különbség nulla, tehát a zaj kiszűrődik.

Hangfrekvencia tartományban a kábel-kapacitás és kábel-induktivitás általában elhanyagolható, mivel ezek nagyfrekvencián jelentősek (több MHz)