

Hallja? Nem hallja? Na hallja!

(hang, hallás, hallókészülékek)

Engárd Ferenc okl. villamosmérnök, signtechnika@engard.hu

A Műegyetemen két-féléves tárgyam volt a műszaki akusztika. Négy éve szembesültem apám hallásromlásával, amin már nem segítettek a gyári hallókészülékek. Csináltam egy univerzális készüléket, amivel 92 éves korában bekövetkezett haláláig jól hallott. Aztán másik öt idős személy is kapott tőlem egy-egy ilyet. Kipróbálták, használják és hallanak vele. Igencsak drága gyári készülékek pedig porosodnak valahol. Szeretném, ha e cikkem hasznos segítséget jelenthetne a nagyothallóknak.

Alapfogalmak [1]

Egy akusztikus hullám nem más, mint az anyagban terjedő nyomás- és térfogatváltozás. A fülünk a levegőben terjedő nyomás- és térfogatváltozásokat érzékeli. Ezeket a hallószervünk – mint egy mechanikai szerkezet – elektromos jelekké alakítja. A fülünk és kapcsolt részei végső soron nem más, mint egy bio-elektromechanikai jelátalakító.

A levegő, amiben a hang terjed, mechanikai rendszerként is felfogható. Ennek állapotát, illetve bármely mechanikai rendszer, valamint egy elektromágneses rendszer állapotát és változását azonos alakú differenciálegyenletekkel írhatjuk le. Ez elemzési és tervezési szempontból jelentősen megkönnyíti a villamosságtanban jártasak dolgát. Ha ismerem a mechanikai rendszer jellemzőit, megrajzolhatom a villamos helyettesítő képét, és minden olyan törvényszerűséget és formulát használhatok, amit már megszoktam és jól ismerek. A táblázat példaként tartalmazza a mechanikai és villamos mennyiségek egy koherens megfeleltetési lehetőségét. Több ilyen lehetőség is van, attól függően, hogy az alapegyenleteket milyen differenciálegyenlet-változatban írjuk fel.

Ha készítek egy elektromechanikai átalakítót, például egy hangszórót, ez csak akkor lesz jó hatásfokú, ha a membrán és az általa mozgatott levegő mechanikai impedanciája megegyezik.

Ha ezek az impedanciák eltérők, reflexiók lépnek fel. Ugyanúgy, mint az elektromágneses térben fellépő reflexiók esetén, az energia jelentős része hővé válik.

Az audiológiával foglalkozók nagyszámú mérést végeztek és statisztikus módszerekkel megállapították, hogy az egészséges fiatalemberek jellemzően 20 Hz és 20 kHz közötti frekvenciatartományban érzékelik a hangrezgéseket. Hallásküszöbnek nevezték el azt a hangnyomás értéket, amekkorára értéknél elkezdünk egy hangot hallani. Ennek tipikus effektív értéke: 20 μ Pa. A 20 mikropaszkal nyomásérték képezi a null decibelles pontot, amikor a hangnyomás (hangosság) értékét decibelben adjuk meg. Az akusztikus dB skála analóg a villamos feszültség dB skálával: 20 dB különbség egy nagyszámú arányváltozást jelent.

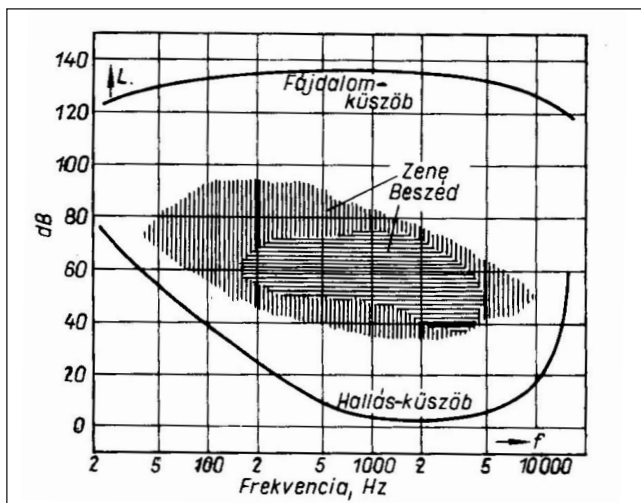
A hallható hangok ábrázolását (1. ábra) a „hallási terület” ábrájának nevezték el. A függőleges tengelyen a hangnyomás effektív értéke dB-ben, a vízszintes tengelyen pedig logaritmikus léptékben a frekvencia. A tipikusan hallható hangok ábrázolási pontjai egy minden oldalról körülhatárolt területet foglalnak el.

Figyeljük meg, mert később még szó lesz róla, hogy a beszéd-tartomány maximális és minimális hangnyomás értékei között mintegy 35 dB különbség van. A beszéd problémamentes megértéséhez tehát 35 dB hangnyomás tartományt kell a hallásunknak átfogni.

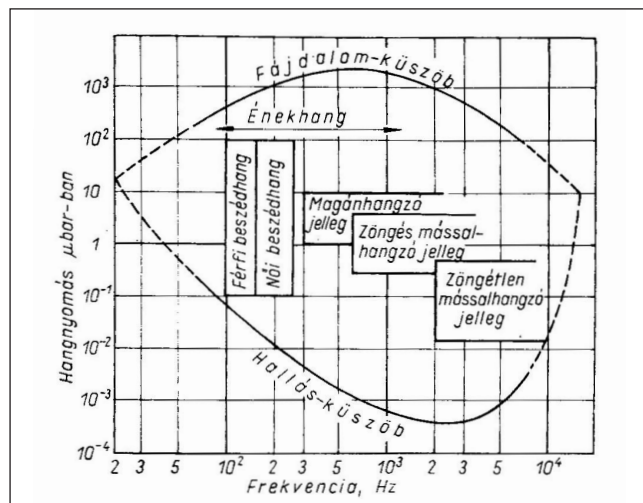
A természet hangjai még közelítőleg sem „tisza hangok”, nem tekinthetők harmonikus rezgéseknek. Ehhez járul, hogy a hallás folyamata közben az eredeti hangkép nemlineáris torzításon megy keresztül: két hang egyidejű érzékelése közben, a két hang frekvenciakülönbségének megfelelő hangot is hallunk. (Ez nem a „lebegés”!) Ezt a jelenséget például ki szokták használni az orgonaeépítők. A nagyon mély hangú sípok igen költségesek. Egy 40 Hz-es síp helyett alkalmazható, hogy egyszerre szólaljanak meg a 80, 120, 160 hertzes sípok: a fülben kialakul a 40 Hz-es hang, mint ezek különbsége és úgy tűnik, mint ha az eredeti hangkeverékben is jelen lett volna.

Tekintettel a szavak közti szünetekre, az emberi beszéd tulajdonképpen különálló csillapí-

Mechanikai mennyiségek	Villamos mennyiségek
Erő	Áram
Sebesség	Feszültség
Impulzus	Töltés
Mozgékonyosság	Impedancia
Tömeg	Kapacitás
Mechanikai hajlékonyosság	Induktivitás
Súrlódási tényező	Vezetőképesség



1. ábra



2. ábra

tott rezgések sorozata. A beszéd dinamikáját a 2. ábra mutatja be.

Az ábrából kitűnik, hogy frekvenciatartomány szempontjából jelentős a különbség a férfiak és a nők beszédében. Ráadásul a beszédhangok között mind frekvencia, mind relatív hangintenzitás szempontjából is jelentős különbségek vannak. Beszédértés szempontjából nyilvánvalóan nem elég a hallást néhány diszkrét frekvencián vizsgálni. A 3. ábra azt mutatja meg, hogy egy normálisan halló személy esetében, hogy alakul a beszédértés, ha frekvenciakorrekciót alkalmazunk.

Az ábrán az 1-gyel jelzett vonal egy olyan felülvágó szűrő hatását mutatja be, amelyik a kiválasztott frekvencia fölött minden jelet levág. Például: kiválasztjuk a 2000

Hz-es pontot. Ha 2000 Hz felett nem jut hang a fülbe, a szótagértés 72% körül alakul.

A 2-vel jelzett vonal egy olyan alulvágó szűrő hatását mutatja be, amelyik a kiválasztott frekvencia alatt, minden jelet levág. Például: ismét kiválasztjuk a 2000 Hz-es pontot. Ha 2000 Hz alatt nem jut hang a fülbe, a szótagértés 65% körül alakul.

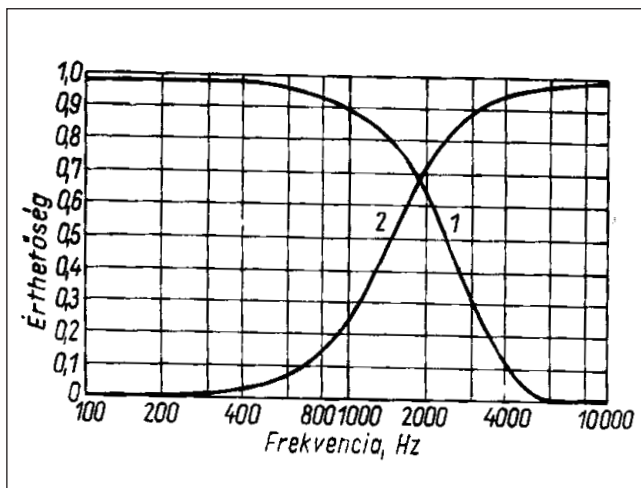
Hallókészülék használatakor – a megfelelő szótagértéshez – kiemelkedő jelentőséggel bír a 300 Hz...4 kHz közötti frekvenciasávban alkalmazott korrekció.

A hallási folyamat [2] kutatásában elért eredményeiért *Békésy György* magyar kutató 1961-ben Nobel-díjat kapott. Hallószervünk rendkívül összetett: többszörös impedancia transzformációk, a rezgések elektromos im-

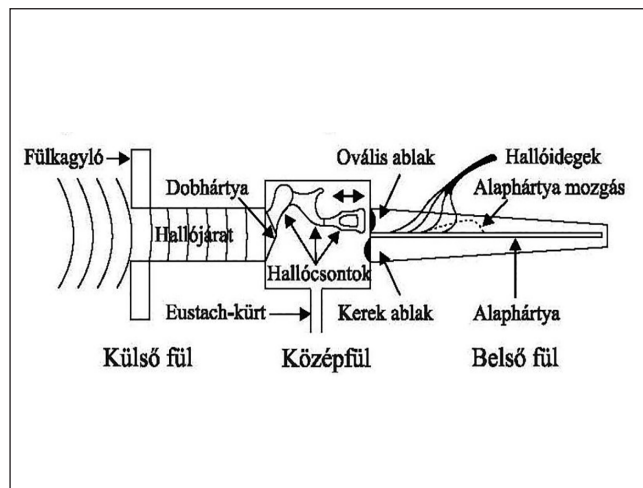
pulzusokká alakításának egyedi módja és a folyamat érthető leírása sok oldalt tenne ki, ezért mellőznöm kell. Itt csak hallószervünk funkcionális működési vázlatát mutatom meg [2]: lásd 4. ábrát. A hivatkozott irodalom minden részletre kitér.

Lényegesnek tartom megemlíteni, hogy a hangok egy része nem a levegőn át, hanem a koponya- és arccsontokon keresztül jut el a belső fülbe. Saját hangjainkat jelentős részben csontvezetésen keresztül érzékeljük. Ezért, ha egy hangfelvételen halljuk a saját beszédünket, először szinte biztosan nem fogunk magunkra ismerni.

Ha úgy érezzük, hogy rosszul hallunk és a fülmosás sem segít, akkor elmegyünk egy hallásvizsgálatra. Itt csak azzal az esettel



3. ábra



4. ábra