

Hangszórókábelekkel kapcsolatos teóriákról röviden

*"A tudatlanság vírus. Amikor terjedni kezd, csak az értelemmel gyógyítható."
(Neil deGrasse Tyson)*

1. Hangszórókábelekkel kapcsolatos tévhitek, áltudományos teóriák

Ha a mítoszokat díjazni lehetne a hangtechnika világában, akkor a hangfalkábelekkel (szakszerűbben hangsugárzó kábelekkel, hangszóró kábelekkel) kapcsolatos babonák biztosan dobogós helyre kerülnének. A tévhit lényege, hogy speciális anyagú, bevonatú, szövésű ('audiofil', 'high-end') kábelek tisztábban (kisebb zajjal, kisebb torzítással stb...) szólnak, jobb akusztikai vagy átviteli paraméterekkel rendelkeznek, mint a hagyományos flexibilis hangsugárzókábelek. Egy audiofil kábel képe az 1. ábrán látható.



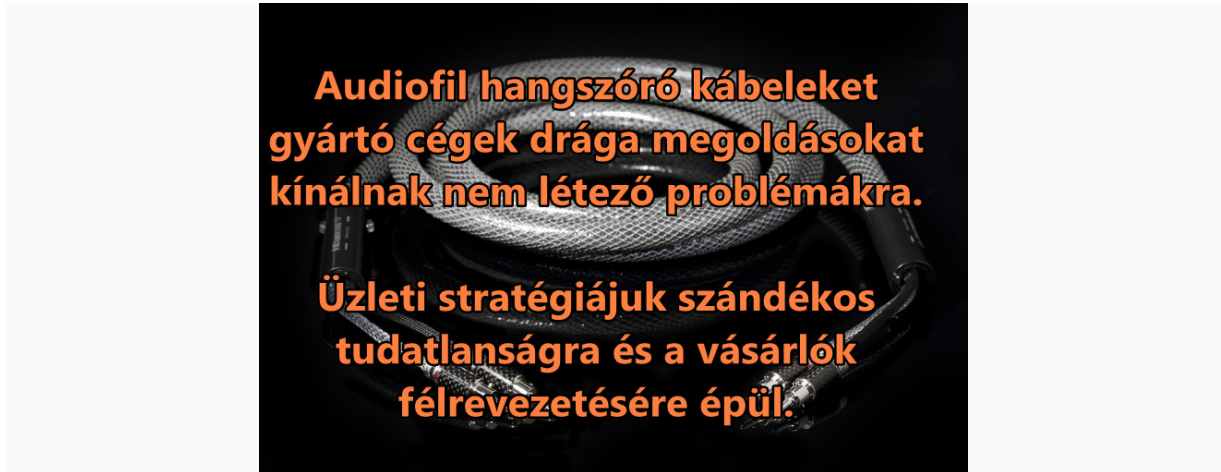
1.sz. ábra - Kábeli zűrzavar - sok húhó semmiért?

A kedves, aranyos "audiofil" hangfalkábel gyártó "cégek" (pl. Audioquest, HiDiamond, Kimber, Van Den Hul stb.) persze megpróbálnak mindent bevetni a hiszékeny zenehallgatókkal. A vásárlók elektronikai és akusztikai ismereteinek hiánya pedig egyenes utat jelent a babonás tévhitek felé... Az egyik ilyen tévhit, hogy a magasfrekvencián jelentkező szkin effektus már a hangfrekvenciás tartományban is hallható hatással van a frekvenciaátvitelre. A másik pedig a speciális technológiával kialakított kristályszerkezet hangképre gyakorolt jótékony hatása. "Futottak még" kategória az oxigénmentes réz, illetve az ezüstbevonat alkalmazása. Vannak azonban igazán örültek is: demagnetizált réz, irányított kábelek...

Nem babra megy a játék, hiszen ki ne szeretne minimális munkával maximális hasznot bezsebelni? Erre pedig a hangszóró kábel biznissz elég jó lehetőségnek tűnik....

*„Könnyebb becsapni az embereket, mint meggyőzni arról, hogy becsapják őket.”
(Mark Twain)*

A mítoszok életben tartásáról a gyártók mellett a hozzáértő, hatalmas háttérrel rendelkező "szakújságírók" is felelősek. Többnyire tudományos köntösbe öltöztetett értelmetlen halandzsza olvasható a tollukból. Olyan tulajdonságokat keresni egy kábelben, mint dinamika, vagy hangkarakter igen erős tudatlanságra vall ezen a téren. A neten olvasható szubjektív tesztek pedig többnyire nem egyebek, mint álcázott hirdetések. Talán érdemes lehet elgondolkodni azon az állításon is, ami a 2. ábrán szerepel.



2.sz. ábra - Az audiofil hangszóró kábel biznisz lényege

Természetesen lehet hallható különbség két kábel között, de a különbség valódi oka nem az ezüst bevonatban, a vörösréz tisztaságában vagy egyéb fölösleges technikai csodában rejlik. Hallható különbséget mindig a kábel (túl nagy) ellenállása okozza. És ha valaki egy kicsit is tisztában van az akusztikai lánc működéssel, akkor felvetődik számára az ésszerű kérdés: vajon hogyan lehet különbséget tenni két, megfelelően méretezett 3 méteres hangszórókábel között, amikor a hangszóró lengőtekerce több méter hosszú hagyományos rézdrótot tartalmaz? Nem beszélve a transzformátorról az erősítőben...

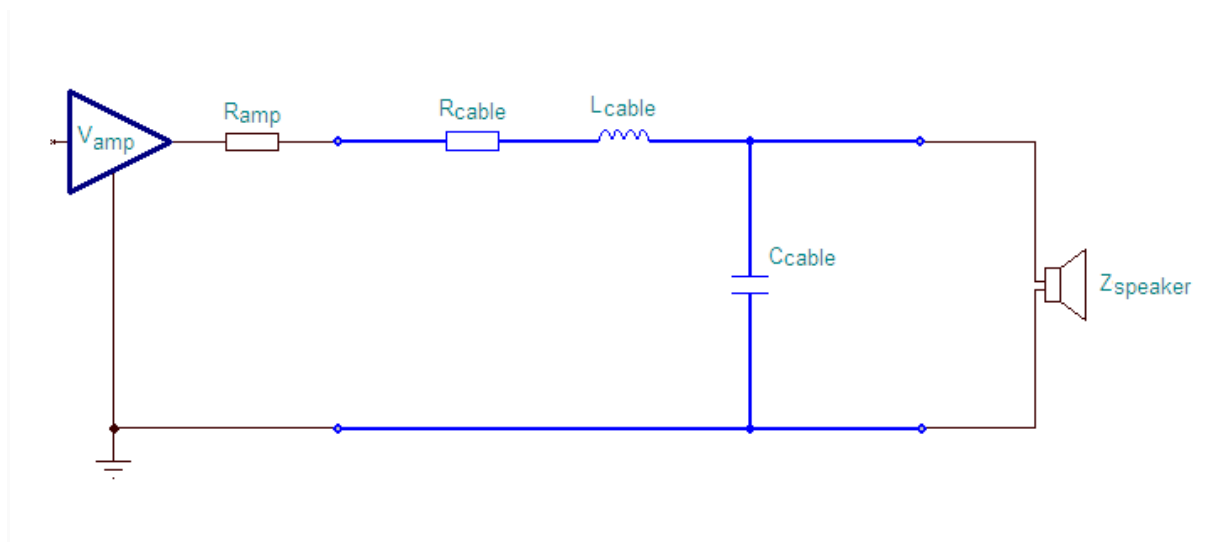
2. Az emberi hallás tesztelhetősége, jellemzői

Szerencsére, az elmúlt száz évben végzett rengeteg kutatásnak köszönhetően sok mindent megtudtunk az emberi hallásról. Ezek a kísérletek megtalálhatóak a *pszichoakusztikával* foglalkozó könyvekben - igaz rendszerint több száz oldalon, angolul... A pszichoakusztikai kutatások során vizsgálójelek széles spektrumát használják, egyszerűtől a bonyolult felé haladva: szinusz jel, fehér és rózsaszín, komplex periodikus jelek, impulzusok, és persze rövid zenei részletek. A vizsgálati alanyok többnyire 20 és 40 év közötti jó hallással rendelkező emberek (általában egyetemistákat toboroznak ezekre a vizsgálatokra). Olyan emberi képességek, mint a legkisebb észlelhető szintkülönbség egy egyszerű szinuszjelben, zajban, komplex periodikus jelben vagy impulzusban (Just-Noticeable Level Differences), legkisebb érzékelhető különbség a frekvenciában (Just-Noticeable Frequency Differences), időbeli és frekvenciatartományban történő maszkolási törvényszerűségek egyértelműen leírhatók. Pszichoakusztikai kutatások során ún. vakteszteket használnak. Leggyakoribb formája az ABX teszt, amikor egy ismeretlen jelről (X) kell eldönteni, hogy A vagy B, a másik amikor két ismeretlen lehetőség közül kell választani (two-alternative forced-choice test).

A hagyományos zenei 'tesztek' (ezek a 'meghallgattuk' típusú tesztek) hitelessége egyértelműen megkérdőjelezhető. Elsősorban azért, mert a zenei memória rövid és pontatlan: nagyon nagy különbségekre ugyan vissza tudunk emlékezni még hosszabb idő után is, apró árnyalatnyi eltérésekre azonban már pár másodperc után is igen nehéz. Tehát ezek a tesztek csak akkor lennének relevánsak, ha a teszt résztvevői maximum 5 másodperces zenei részleteket hasonlítanak össze minél gyorsabb átkapcsolással. A legtöbb audiofil hangszugárzó kábel 'teszt' pont a zenei memória tökéletlenségét használja ki. "Egy órával ezelőtt ez az album másképp szólt..." - gyakorlatilag értelmetlen kijelentés, mert a következő 59 perc felülírta a zenei emlékezetet...

Egy jó hallással rendelkező ember számára a legkisebb észlelhető szintkülönbség (Just-Noticeable Level Difference) 0,3 dB. Ez az érték tiszta szinuszos jelre vonatkozik, más típusú jelek esetén a küszöb magasabb. Ráadásul az emberi fül rendkívül érzéketlen az amplitúdóváltozásokra nagyon alacsony és nagyon magas frekvenciákon. Ha a kábel által okozott maximális amplitúdó hiba 0,3 dB vagy ez alatt van, akkor a kábel hatása gyakorlatilag nem hallható.

3. Az erősítő-hangszugárzókábel-hangszóró rendszer áramköri modellje



3.sz. ábra - Erősítő, hangszugárzó kábel és a hangdoboz villamos helyettesítő kapcsolása

Azért, hogy érthetőbb legyen, hogy miként hat a kábel az erősítőtől kijövő jelre, meg kell ismerkednünk a hangszugárzókábel villamos modelljével (helyettesítő kapcsolási rajz, RLC modell). A modellben a Z_{speaker} jelképezi a hangdoboz frekvenciafüggő impedanciáját, aminek később még nagy szerepe lesz. L_{cable} a kábel induktivitása (önindukciója), C_{cable} a kábel kapacitása, R_{cable} a kábel egyenáramú összes ellenállása (oda-vissza). Mivel a hangszugárzó impedanciája mérhető, a kábel paraméterei mérhetőek vagy katalógus adatokból kiszámolhatók, ezért az erősítő-kábel-hangszugárzó rendszer akár egy áramkör szimulációs programban is modellezhető.

Ami hiányzik a modellből, az a *szkin hatás*. Szerencsére hangszóró kábelekben hangfrekvencián a szkin hatás elhanyagolható. Pl. 1,5 mm² keresztmetszetű vezetéknél 20 kHz-en a szkin hatás miatt az ellenállás 12% növekedést mutat az egyenáramú ellenálláshoz mérten. A szkin hatásnak ugyanakkor van egy érdekes következménye: csökken a kábel

önindukciója. Nagyon hosszú kábeleknél az induktivitás nagyobb magasfrekvenciás veszteséget okoz, mint a szkin hatás!

A kábel kapacitása, induktivitása és ellenállása a kábel hosszúságával egyenesen arányos. A keresztmetszet növelésével az ellenállás arányosan csökken, a kapacitás kis mértékben nő, az induktivitás pedig kis mértékben csökken.

A kábel villamos paraméterei önmagában még nem határozzák meg teljesen, hogy milyen lesz a tényleges átvitele. Minden audio kábel viselkedése két további fontos tényező függvénye: az egyik, hogy milyen kimeneti ellenállású jelforrás hajtja meg, a másik pedig az, hogy milyen terhelés (terhelő ellenállás vagy terhelő impedancia) van a másik végén.

3.1. A villamos kapacitás hatása

A hangszórókábelek talán legkevésbé fontos paramétere a kapacitás. Gyakorlatilag pár mondatban össze lehet foglalni a kapacitással kapcsolatos tudnivalókat:

1. A **hangszórókábel kapacitásának nincs hatása a végfokozatok átvitelére a hangfrekvenciás tartományban**, ha a kábel 100 méternél rövidebb ($C = 200 \text{ pF/m}$ értékkel számolva). Vagy másképpen megfogalmazva: egy 10 méter hosszú 'mezei' hangszórókábelnek nincs akkora kapacitása, hogy bármilyen végfok átvitelét 200 kHz alatt befolyásolja!
2. Mivel a kábel kapacitásának nincs hatása a frekvenciaátvitelre a hangfrekvenciás tartományban (és gyakorlatilag az audio jel teljes tartományában), ezért a **szigetelőanyag linearitása nem számít**. (Linearitás szempontjából teljesen mindegy, hogy a szigetelés PVC, gumi, teflon stb...)
3. A kábel kapacitása, mint kapacitív terhelés elhanyagolható.
4. A hagyományos PVC szigetelésű hangszórókábelek fajlagos kapacitása 70 pF/m-től 170 pF/m-ig terjed. A speciális szövésű audiofil hangszóró kábelek fajlagos kapacitása általában ennek a sokszorosa.

3.2. Az induktivitás hatása

A kábel önindukciós együtthatója egy aluláteresztő szűrőt alkot a rá kapcsolt hangszóróval.

Minél nagyobb az induktivitás vagy minél kisebb a terhelő impedancia, annál alacsonyabb lesz az aluláteresztő szűrő töréspontja. Szerencsére 15-20 méterig az induktivitás nem okoz jelentős (0,5 dB-nél nagyobb) magas veszteséget. A 4 ohmos névleges impedanciájú hangsugárzók érzékenyebbek az induktivitásra, mint a 8 ohmos rendszerek.

3.3. Az ellenállás hatás

Most pedig nézzük a **hangszóró kábelek legfontosabb paraméterét, az egyenáramú ellenállást**. A vezeték ellenállása és a hangsugárzó változó impedanciája együtt egy frekvenciafüggő csillapító tagot (feszültségosztót) képez. Az osztásnak van egy fix (DC) komponense és egy frekvenciafüggő része. Egy igencsak alulméretezett rendszerben az első hangerő csökkenésként, az utóbbi hangszín változásként jelentkezik (egy kétutas hangdoboznál mély és közép kiemelésként).

A kábel ellenállása a hangsugárzó impedanciájától függ: minél alacsonyabb a hangszóró vagy hangsugárzó impedanciája (terhelő impedancia), annál kisebbnek kell lennie a kábel ellenállásának. Ha maximum 0,3 dB csillapítást engedünk meg a kábelen, akkor a kábel ellenállása a hangszóró minimális impedanciájának 4%-a lehet. Ha 0,5 dB maximális csillapítást okozhat a kábel, akkor a kábel ellenállása a hangszóró minimális impedanciájának

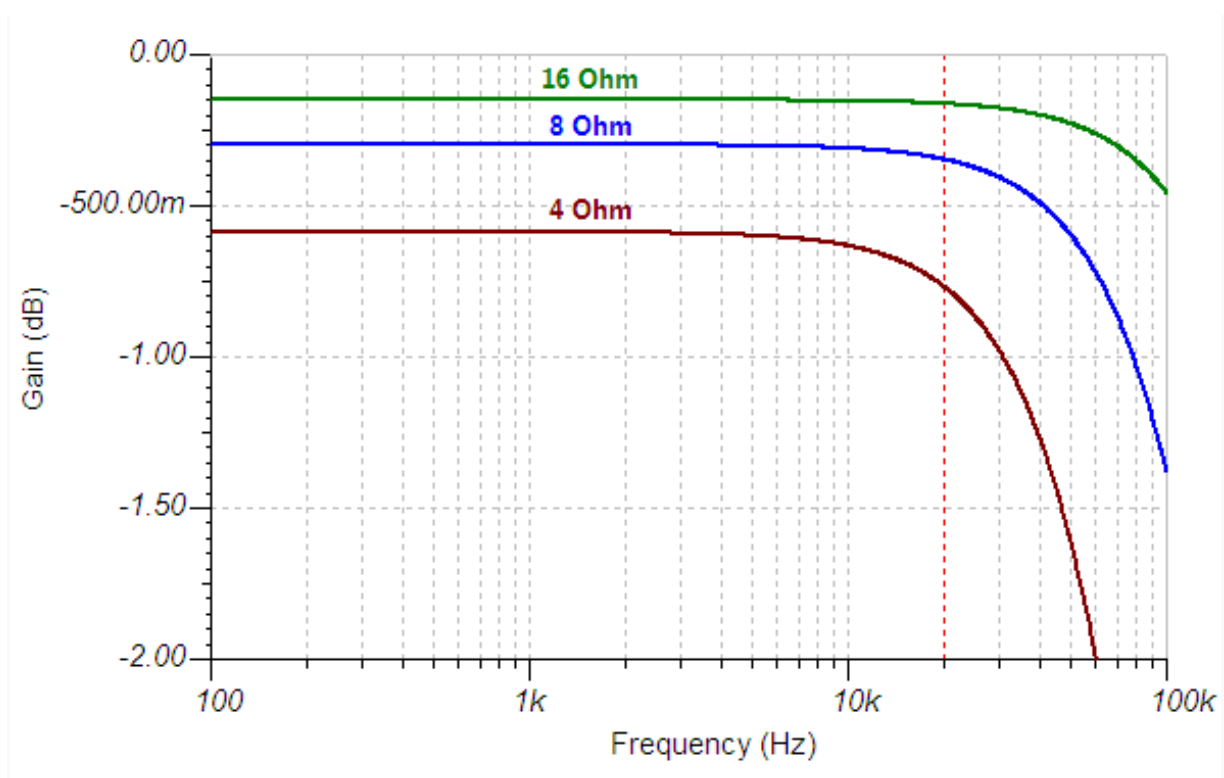
6%-a lehet. Ha pedig 1 dB maximális csillapítást engedünk meg, akkor a kábel ellenállása a hangszóró minimális impedanciájának 12%-a lehet.

4. A vizsgálatok eredménye

Miután a villamos paraméterek hatását és a villamos paraméterek és a kábel hossza és keresztmetszete közötti összefüggéseket tisztáztuk, a továbbiakban egyszerűbb azt vizsgálni, hogy egy adott hosszúságú, keresztmetszetű kábel egy adott terheléssel hogyan viselkedik. Ekkor az alábbi lehetőségek maradnak:

1. Egy adott hosszúságú és keresztmetszetű kábel átvitele hogyan változik a terhelés függvényében.
2. Egy adott keresztmetszetű kábel átvitele hogyan változik a hosszúság függvényében, adott terhelés mellett.
3. Egy adott hosszúságú kábel átvitele hogyan változik a keresztmetszet függvényében, adott terhelés mellett.

A vizsgálatok (mérések, szimulációk) elvégezhetőek mind ideális ('ohmos' vagy másképp rezisztív) terheléssel vagy valós (hangsugárzót jobban leíró) terheléssel. Az első esetet bemutatom egy ideális terheléssel, a harmadik esetet egy valós terheléssel.

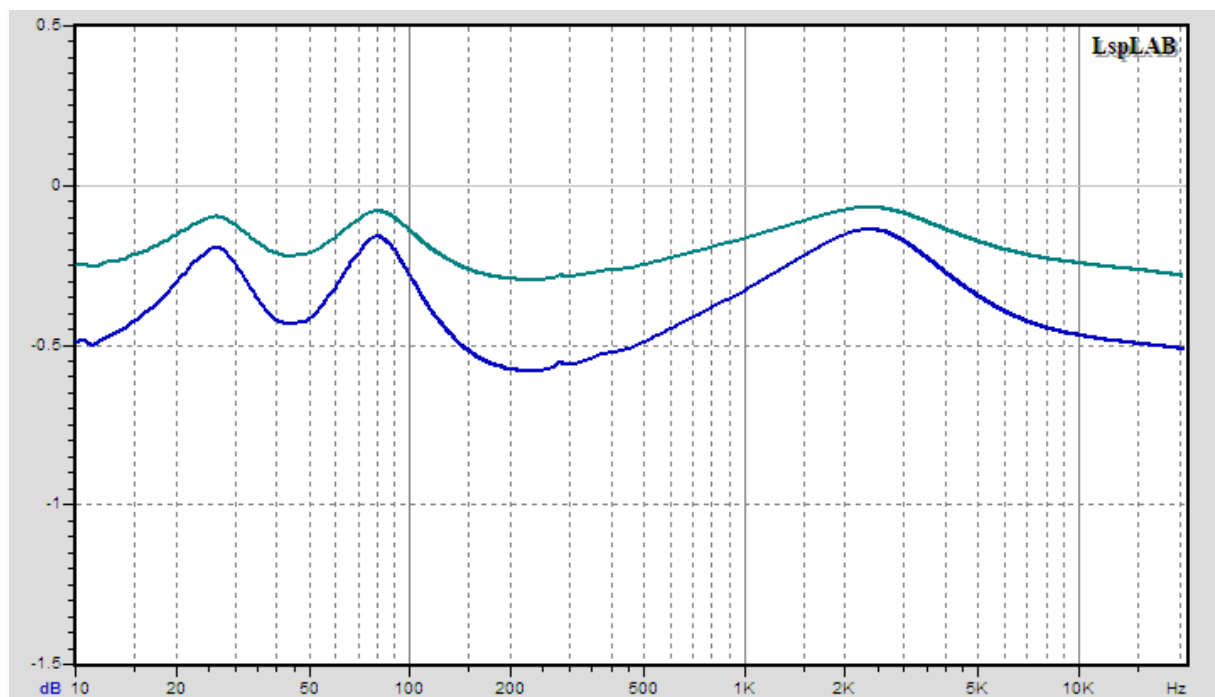


4.sz. ábra - 10 méter hosszú közönséges 1,5mm²-es kéteres hangszórókábel frekvenciaátvitele 4, 8 és 16 Ohm-os ellenállással

A fenti ábrán egy 10 méter hosszú 1,5mm²-es kéteres hangszórókábel frekvenciaátvitele látható 4, 8 és 16 ohmos ellenállással, mint terheléssel. A kábel induktivitása 0,7 uH/m. A 4 ohmos terhelő ellenállásnak nem csak a csillapítása nagyobb, de a magasfrekvenciás esése is hamarabb kezdődik. Ugyanezen fajlagos paraméterekkel számolva a 4 ohmos esetnek megfelelő átvitelt érhetünk el egy 8 ohmos ellenállással 10 méter helyett 20 méteres

kábellel vagy 16 ohmos ellenállással 40 méter kábellel! **Minél kisebb a terhelőellenállás (minél kisebb a hangszugárzó impedanciája), annál érzékenyebb a kábel ellenállására és induktivitására - és minél nagyobb, annál érzéketlenebb.** Másképp: adott vezeték-keresztmetszethez 8 ohmos hangszugárzóval kétszer nagyobb maximális kábelhossz tartozik, mint egy 4 ohmos rendszerrel.

Mivel a hangdobozok váltakozóáramú ellenállása (impedanciája) a frekvencia függvényében változik, ezért a kábel csillapítása is frekvenciafüggő lesz. A váltakozóáramú ellenállás változása a frekvencia függvényében a hangszugárzó impedanciamenetével ábrázolható. Ott, ahol a hangdoboz ellenállása jelentősen megnő a névleges értékhez képest (pl. rezonanciafrekvencián, keresztelési frekvencián), a csillapítás jóval kisebb lesz, mint azokon a szakaszokon, ahol a hangdoboz impedanciája az egyenáramú ellenálláshoz közelít. Azaz, **minél nagyobb a hangszórókábel ellenállása, annál inkább tükröződik a hangszugárzó görögys impedanciamenete a frekvenciaátvitelben.**



5.sz. ábra - 10 méter hosszú közönséges kéteres hangszóró kábel átvitele egy kétutas reflex hangdobozzal (vezető keresztmetszet: 1,5mm² (zöld) és 0,75mm² (kék))

A fenti ábrán egy közönséges 1,5 mm² keresztmetszetű és egy 0,75 mm² keresztmetszetű, 10 méter hosszú kéteres hangszóró kábel átvitele látható egy kétutas reflex hangdobozzal. A hangdoboz névleges impedanciája 8 ohm, ugyanakkor az impedancia 20 Hz és 20 kHz között 6,6 ohm és 30 ohm között ingadozik a frekvencia függvényében. Az impedanciagörbe által generált legnagyobb hullámzás az amplitúdóban kb. 0,25 dB az 1,5 mm²-es kábelnél, és 0,4 dB a 0,75 mm²-es kábelnél, ami nem hallható kategória.

Mivel a vezeték ellenállása a vezeték hosszával egyenesen, a keresztmetszet növelésével pedig fordított arányban változik, ezért minél hosszabb egy vezeték, annál nagyobb keresztmetszetűnek kell lennie. Minden egyes hosszúsághoz és névleges impedanciához tartozik egy minimális vezeték keresztmetszet, aminél kisebbet nem szabad alkalmazni. Ugyanakkor a minimálnál jóval nagyobb keresztmetszet alkalmazása fölösleges. (A minimális vezeték keresztmetszetet a teljesítmény is befolyásolja, azonban ez csak a 2

méternél rövidebb kábeleknél lehet kritikus, ill. olyan PA rendszereknél, ahol az erősítő teljesítménye eléri az 1000 wattot.)

A hangszóró kábel a legegyszerűbb áramköri elem: funkciója a hangfrekvenciás áram (teljesítmény) torzítás- és veszteségmentes eljuttatása az erősítőtől a hangszóróig. Semmilyen bonyolult többlépcsős jelátalakítás (erősítés, szűrés, energiaátalakítás, moduláció) nem történik benne, mint az aktív elemekben (az erősítőben) vagy a hangszóróban (elektromechanikus átalakítás). Lényegében akkora szerepe van, mint bármelyik ellenállásnak az erősítőben, ami a jelútban található. Se több, se kevesebb.

5. Összegzés

Minden kábel, vezeték aluláteresztő szűrőként viselkedik az induktivitás és a szkin hatás miatt. Azonban otthoni körülmények között ezek a hatások jóval a hangfrekvenciás sáv felett (gyakorlatilag csak 100 kHz felett) jelentkeznek. Ami viszont lényeges, hogy a vezeték ellenállása és a hangsugárzó változó impedanciája együtt egy frekvenciafüggő csillapító tagot (feszültségosztót) képez. Megfelelő keresztmetszetű, közönséges sodort réz kábelekkel elérhető, hogy ez a frekvenciafüggő csillapítás a hangfrekvenciás tartományban elegendően alacsony legyen. A csillapítás nem hallható, ha a hangszórókábel ellenállása nem éri el a hangsugárzó impedancia minimumának 4%-át.

Aki a drága hangszórókábelekben keresi a jó hangzás titkát, igen messze jár az igazságtól. **A különleges kivitelű és túlárzott hangszóró vezetékek, kábelek alkalmazása helyett fontosabb, hogy jó minőségű hangsugárzó csatlakozókat használjunk.** Egy hangrendszer hibáin drága hangszórókábelekkel sem javíthatunk, ahhoz pedig nagyon rossz minőségű (pl. alulméretezett és eloxidálódott) kábelekre és csatlakozókra van szükség, hogy pont a kábelek cseréje okozzon javulást. A hi-end hangszóró kábelek lényegében optikailag „feltuningolt”, többnyire közönséges hangszórókábelek, és - bár összeszerelési minőségük vitathatatlan - az a rengeteg hókuszpókusz, ami marketingjüket illeti, hamisnak vehető.

Forrás: Horváth Csaba - <http://www.tonestack.hu/cikkek/hangszorokabel.html>