

# ELEKTRONIKAI ESZKÖZÖKBEN HASZNÁLT HANGKELTŐK – AKUSZTIKA I.

Számos elektronikai eszköz rendelkezik olyan funkcióval, mely valamilyen akusztikus visszacsatolást igényel, illetve dallam, beszéd vagy zene lejátszására van szükség. A hangkeltő elnevezés egy gyűjtőfogalom: ebbe a körbe tartozik minden olyan eszköz, ami elektromos energia akusztikai hangenergiává történő konverzióját végzi. A hangkeltők lehetnek egyszerű, csak jelzésre alkalmas, adott frekvencián megszólaló, esetleg szűk frekvenciasávban működő eszközök is. A széles átviteli frekvenciatartományban használatos, esetleg HIFI hangviszaadásra alkalmas eszközök a mágneses elven működő dinamikus hangszórók, melyek szintén ugyanilyen energiaátalakítók. A komponensgyártók sokféle terméke közül sokszor nem egyszerű a választás – ez a cikk segítséget szeretne nyújtani a hangkeltők rendszerezésében, néhány alapfogalom és működési elv tisztázásában és az alkalmazási területek bemutatásában ahhoz, hogy a tervezőmérnökök a legjobb ár-érték arányú, az elektronikához és az akusztikai környezethez legjobban illeszkedő alkatrészt válasszathassák ki egy adott gyártó termékportfóliójából

## A jelzésre alkalmas eszközök – hangkeltők

Amikor a hang csak jelzésre és nem beszéd érthető visszaadására, illetve élvezhető zenei minőség előállítására szolgál, nincs szükség széles frekvenciasávban való átvitelre. Ezekben az alkalmazásokban rendszerint nincs szükség dinamikus hangszórók használatára, bőven megteszi egy piezoelektromos vagy elektromágneses elven működő transducer, illetve egyszerű buzzer is. A transducer és a buzzer közötti különbség az, hogy míg előbbi nem rendelkezik belső oszcillátor-áramkörrel, tehát a tápláló AC feszültség a saját elektronikánkból érkezik, addig a buzzer saját beépített oszcillátorral rendelkezik, így DC feszültség rákapcsolásával – általában egy állandó frekvenciájú – hangot ad ki.

Ezeknek az eszközöknek az előnye, hogy olcsók, robusztus és egyszerű felépítésűek, valamint alacsony fogyasztásúak.

## Piezo hangkeltők

A piezo hangkeltők alapeleme egy piezoelektromos tulajdonsággal rendelkező kerámialap, ami egy vékony, esetenként fél milliméternél is vékonyabb, fém (alumíniumtötvözet, bronz vagy rozsdamentes acél) membránhoz van ragasztva. A működés piezoelektromos hatás elvén alapul, a piezoelektromos kerámia a rákapcsolt AC feszültség hatására annak frekvenciája szerint tágul és húzódik össze, ami a ráragasztott membránt is mozgásra kényszeríti. Ez a rez-



gés megmozgatja a környező levegőt, amit az emberi dobhártya hangnyomásként érzékel. A legmagasabb hangnyomásszint (SPL), azaz a legerősebb hang a hangkeltő saját frekvenciája közelébe eső frekvenciával történő gerjesztése esetén nyerhető, azaz érdemes az eszközt tápláló oszcillátort erre a frekvenciára hangolni.

A feszültségnek a hangkeltőre jellemzően megengedhető legmagasabb érték közelébe való növelése szintén segít a maximális hangerő elérésében. A piezo hangkeltők fogyasztása sokkal kisebb, mint az elektromágneses elven működő társaiké, hiszen nem szükséges az elektromágneses mező gerjesztésére és fenntartására energiát használni. Fogyasztásuk mindösszesen néhány milli-ampér. A mágneses mező hiányából kifolyólag nem lesz probléma az elektromágneses kompatibilitással (EMC), mert a hangkeltő nem fog mágneses interferenciát (EMI) okozni. Mivel a piezo hangkeltő magas impedanciás eszköz, közvetlenül meghajtható



TTL-szinten az MCU kimenetéről, megfelelő frekvenciájú négyszögjelekkel. Természetesen mindenféle egyszerű tranzistoros oszcillátor-áramkör is alkalmas a meghajtásra.

Az AC táplálású transducerek és a DC meghajtású, saját beépített oszcillátorral rendelkező buzzerok sokféle kialakításban, méretben, alakban és frekvenciával kaphatók, olcsók és kellően hangosak, ami ideálissá teszi őket riasztók, konyhagépek, telefonok, számítógépek, ébresztőórák, időzítők, orvoselektronikai készülékek és játékok hangforrásaiként. Általánosságban elmondható, hogy ahol nincs szükség széles frekvenciaátvitelre és egyszerű, olcsó hangkeltőre is megfelel, ott a piezo transducer a legjobb megoldás.

## Piezo hangszórók



Amikor az egyszerű jelzésnél komolyabb akusztikai feladat áll előttünk, de a széles átviteli frekvenciatartományt nem igényli az alkalmazás – elég pl. az elérhető beszéd –, a piezo hangkeltő és a hangszóró kombinációja használható. A piezoelektromos hangszóró műanyag membránja és a kerámialap összeragasztásával a piezo transducereknél

szélesebb frekvenciasávban reprodukálható hang, valamint nagyobb hangerő is elérhető. Jól megtervezett dobozolásal nem ritka a 2 méteren mért 110 dB hangnyomásszint sem, ami ideálissá teszi riasztórendszerek szirénájaként való felhasználásra. A piezoelektromos hangszórók további előnyös tulajdonsága az elektromágneses elven működő társaikhoz képest (már ahol elegendő a frekvenciaátvitelük) a túlterheléssel szembeni állóképességük, az egyszerű és robusztus felépítésük, műanyag membránjuk okán pedig az időjárás-, elsősorban vízálló mivoltuk.

Hátrányuk természetesen a szűkebb frekvenciaátvitel, elsősorban a közép- és alacsony frekvenciás (basszus) sávban. Emiatt gyakran találkozunk ezekkel a hangszórókkal ott, ahol a hangerő fontosabb, mint a hangminőség.

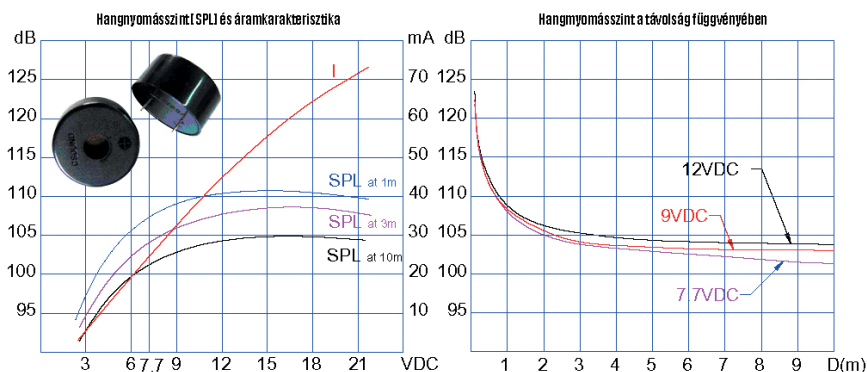
## Elektromágneses hangkeltők

keltett mechanikai hullámokat az emberi fül hangként érzékeli. Ezek az elektromágneses transzducerek piezoelektromos társaiknál szélesebb frekvenciaátvitelre képesek, így ideálisak az olyan alkalmazásokban, ahol többféle frekvencia megszólaltatására, egyszerű dallam lejátszására van szükség. Jellemző felhasználási terület a háztartási gépek, orvoselektronikai eszközök, mobiltelefonok világa. Általánosságban elmondható, hogy ezeknek az eszközöknek az áramfelvétele egy nagyságrenddel nagyobb a piezoelektromos elven működőkéknél (100 mA), hiszen a mágneses tér fenntartásához energia szükséges, azonban a maximális hangerő eléréséhez szükséges üzemi feszültségük jóval alacsonyabb (2–4 V).

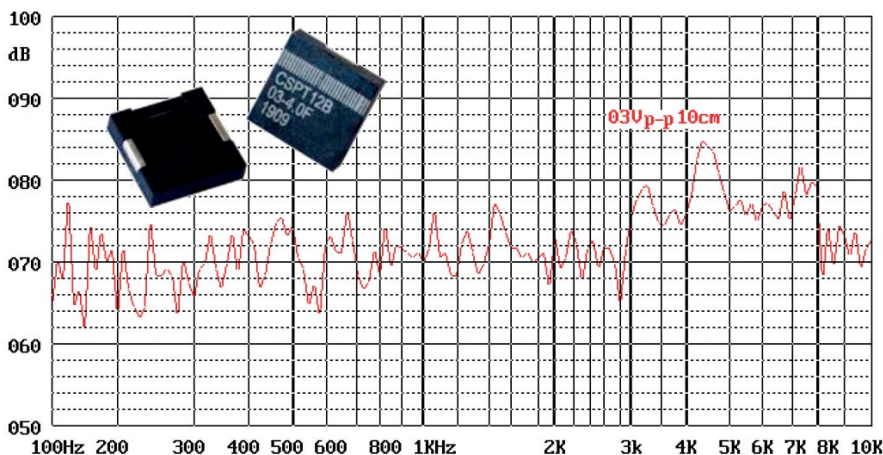
## Dinamikus hangszórók

Az eddig említett hangforrások elsősorban jelzésteknikai célokra, illetve rosszabb minőségű hangátvitelre alkalmazhatóak, ám nem

Piezo Buzzer (beépített oszcillátor-áramkörrel) - karakterisztika



Piezo transducer frekvenciakarakterisztika (nincs beépített oszcillátor)



Az elektromágneses hangkeltők egy lengő fémmembránból és az ezt vezérlő elektromágneses áramkörből állnak. Az AC feszültség hatására a tekercsben váltakozó áram keletkezik, ami a fémmembránt mozgásra kényszeríti, az így

megfelelő minőségi beszéd vagy gazdag zenei hang reprodukálására. Ez utóbbi célokra az általános megoldás a piacon rendkívül változatos formában elérhető dinamikus hangszórók használata. Beszéljünk akár

endrich

components of life

## Hőelem mátrix alapú jelenlét érzékelő szenzor I<sup>2</sup>C busszal



endrich  
components of life

### Felhasználási terület

#### Biztonságtechnika :

- Foglaltság érzékelés
- Emberek számolása, több ember mozgásának egyidejű monitorozása

#### Háztartás

- Sütőkben / mikrohullámú sütőkben az étel hőmérsékletének követése
- Klíma berendezések, fűtés kapcsolása

#### Orvoselektronika

- Páciens követés, Mozgásérzékelés
- Hőterképezés, Pozíció érzékelés

#### Világítástechnika

- Mozgásérzékelés nélküli jelenlét érzékelés

#### Ipari hőmérsékletmérés

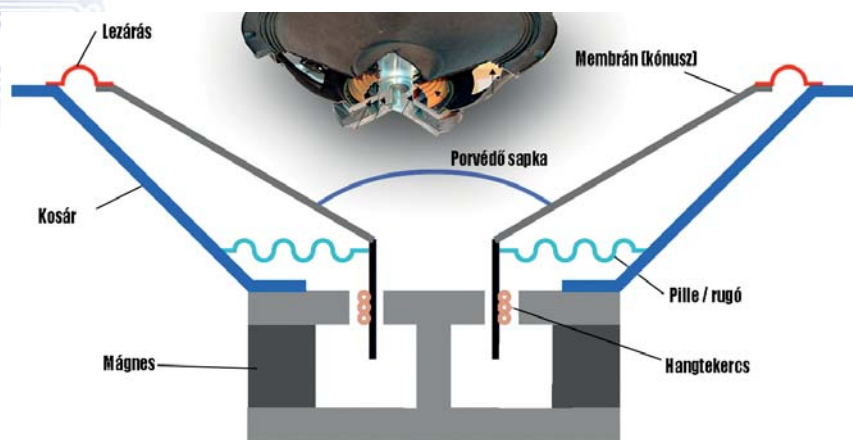
- Ipari folyamatirányítás
- Érintésmentes hőmérsékletmérés



Endrich Bauelemente Vertriebs GmbH



Tel.: (+361) 297-4191  
z.kiss@endrich.com  
www.endrich.com



A dinamikus hangszóró felépítése

HIFI hangfalakról, vagy az autóban használt parkolást segítő rendszer, műszerfal akusztikai eleméről, MP3 lejátszó, okostelefon, táblagép vagy notebook zenelejátszásra is alkalmas hangkeltőjéről, az ideális megoldás mindenhol a dinamikus hangszóró. Felépítését tekintve ez az eszköz kicsit bonyolultabb, mint az eddig megismert hangkeltők, alapeleme egy vékony, könnyű, merev papír, műanyag vagy esetleg fémmembrán, melyet rugalmas felfüggesztéssel a hangszóró kosarához rögzítettek. A membránhoz tartozik egy kis méretű, könnyű tekeres, a hangtekeres, mely a hangszóró testét képező állandó mágnes hengeres légrésében axiális mozgást végez. Amikor rajta AC áram folyik, a menetek körül mágneses mező indukálódik, mely az állandó mágnes mezőjével kölcsönhatásba lép. Az elektromágnes és az állandó mágnes terének interakciója mechanikai erőhatást hoz létre, ami az elektromágnes tekercsét és így

a hozzá rögzített membránt az átfolyó váltakozó áram frekvenciájával arányos sebességgel kezdi előre és hátra mozgatni. A membrán mozgása a környező levegőben hanghullámokat kelt, amit a dobhártyánk érzékel. A membrán rendszerint kúpos kialakítású és nagyon merev, hogy csak az átfolyó áram hatására kezdjen mozogni, és érzéketlen legyen külső rezonanciára. Emellett kis tehetetlenségre van szükség, hogy gyorsan reagáljon az áramváltozások okozta mágneses tér változására, és csillapítani is kell mozgását, hogy a jel megszűnésével azonnal megálljon. A különböző membránanyagok eltérő tulajdonságokkal bírnak, és sajnos minden jó tulajdonságot egyik anyag sem hordozza egyszerre. A papír például vékony, könnyű és jól csillapít, de nem elég merev, a fém merev és könnyű, de „zeng”, azaz rosszul csillapított, a műanyag könnyű, de ha merevítve van, rossz a csillapítása. A memb-

rán rugalmas felfüggesztésének feladata a hangtekeres légrésben való tartása és semleges pozícióba állítása a jel megszűnésekor. A tipikus felfüggesztés-kialakítás az erő nagy részét felvevő, hullámos anyagból készült pillerugó és a membrán élét lezáró – a későbbiekben tárgyal, egyéb feladatra is alkalmazott – külső tömítőgyűrűből áll. A mai hangszórók kerámia, ferrit, Alnico (alumínium-ötvözet) vagy ritkaföldfém (szamárium-kobalt és neodímium)-mágnesek. A készülékdizájn-irányvonala ma egyre könnyebb alkatrészeket kíván meg, emiatt a ritkaföldfém-mágnesek kerültek előtérbe.

Az Endrich termékpalettáján mindenféle furatszerelt, rugós érintkezővel szerelt, illetve felületszerelt hangszórót talál az érdeklődő változatos formákban, akár egyedi csatlakoztatással. A kínálatban sokféle, kör alakú (ø15 mm–57 mm) és négyzetes (25 mm×10 mm–50 mm×50 mm) eszköz szerepel 4 Ω–150 Ω impedanciával, 0,1 W–5 W névleges teljesítménnyel, 200 Hz-től 20 kHz-ig terjedő frekvenciaátviteli sávval és –40 °C-tól +85 °C-ig terjedő hőmérséklet-tartománnyal.



FRED KUBERT OKL. VILLAMOSMÉRNÖK  
 TERMÉKMENEDZSER-AKUSZTIKA,  
 KISS ZOLTÁN OKL. VILLAMOSMÉRNÖK  
 KELET-EURÓPAI ÉRTÉKESÍTÉSI VEZETŐ  
 ENDRICH BAUELEMENTE VERTRIEBS GMBH  
 WWW.ENDRICH.COM

# AZ AKUSZTIKAI RÖVIDZÁRLAT FOGALMA

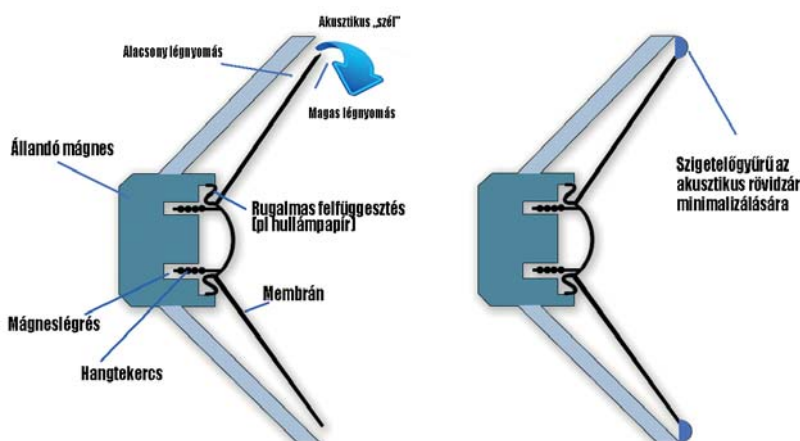
## — AKUSZTIKA II.

Amikor dinamikus hangszórókkal ellátott rendszereket használunk, melyek elektromos jeleket mechanikai rezgéshullámokká, hanggá alakítanak, gyakran szembesülünk azzal, hogy a hangkeltő sugárzási karakterisztikája, így végső soron a hangzás minősége erősen függ a beépítés és az elhelyezés módjától, azaz az úgynevezett „akusztikai környezettől”. Ezt szem előtt tartva kell például a hangszóró méretét, beépítésének módját és a komplett kialakítást megválasztani, mert akusztikai szempontból másképp viselkedik egy szabadon álló (pl. konyharádió), egy változó helyzetű (pl. telefon), illetve egy fix elhelyezésű (pl. liftelefon) rendszer. Cikkünkben a burkolatlan hangszórók esetén fellépő, előlő és hátsó hanghullámok egymásra való kedvezőtlen hatását, az úgynevezett akusztikai rövidzár fogalmát járjuk körbe, és megpróbálunk megoldási javaslatokat tenni ennek kiküszöbölésére

### A jelenség

A gyakorlatban megfigyelhető, hogy a dinamikus hangszórórendszerek általunk érzékelt hangminősége jelentősen eltér különböző elhelyezések esetén, illetve attól függően, hogy más mechanikai hatások (pl. ráhelyezett tárgy) befolyása alatt áll-e az eszköz. A tervezés és gyártás során a hangszórókat a lehető legjobb hangvisszaadási képességgel ruházzák fel a gyártók, mind az átviteli frekvencia, mind az elérhető maximális hangnyomásszint tekintetében, ahhoz, hogy ösz-

## Dinamikus hangszóró – az „akusztikus rövidzárlat”



szetett jelek, mint a beszédhang vagy a zene élvezhető minőségben legyenek reprodukálhatóak. Bármelyik hangszórót is nézzük, a rá jellemző frekvenciaárviteli tartomány csak rész-halmaza lesz az emberi fül által hallható komplett spektrumnak, mely általában az oszcillátorrendszer rezonáns saját frekvenciáitól egy meghatározott maximális felső frekvenciaértékig terjed (kHz-tartomány). Természetesen a szélső értékek alatti és feletti frekvenciákon is fog sugározni a hangszóró, de itt a hang erőssége szignifikánsan alacsonyabb lesz, mint az átviteli tartományban. A gyakorlatban ez a működési frekvenciatartomány sokkal szűkebb, ha a hangszórót önállóan, szabadon állva használjuk, például egy asztalon, mint-ha beépítenénk a végső helyére.

Ha a hangszóró zenét sugároz, kevésbé gazdag, inkább vékony, szegényes, fátyolos hangzás jellemzi. A rendszer drámai változáson megy keresztül, mielőtt a hangszórót „dobozoljuk”: ekkor a hangzás hirtelen terjedelmessé, teljessé válik.

### Háttér és magyarázat

Vajon miért történik ez? A megértéshez emlékeztetnünk kell az olvasót, hogy a hang nem más, mint „légmogás”, a levegő periodikus előre és hátra történő mozgása. Hasonlóan a meteorológiában tapasztaltakhoz, a hangszóró membránja előremozdulásakor keltett léghullámok a kónusz előtt nagy nyomású, háta mögött pedig kis nyomású zónát hoznak létre. Mivel a valóságban a membrán nagy frekvenciával előre és hátra is mozog, a teljes hangszórót dinamikus rendszerként kell tekinteni, mely minden időpillanatban a nyomáskülönbségek kiegyenlítésére törekszik. A membrán előremozgásakor keletkező sűrített levegő kiegyenlíteni igyekszik a hátul keletkező alacsony nyomású, vákuumszerű légréteget. A

jelenséget a meteorológia szélként definiálja, ugyanez a helyzet az akusztikában is. (Ne feledjük, itt is légmogásról van szó, még ha az intenzitása sokkal kisebb is!)

■ A hanghullám (mozgó levegő) mindig a legrövidebben bejárható utat teszi meg ahhoz, hogy a nyomáskülönbséget kompenzálni tudja, ez pedig a membrán szélének közvetlen megkerülésével valósítható meg legegyszerűbben, szabadon használt hangszóró esetén. A keletkező szél károsan befolyásolja a hangminőséget, mert a visszafelé áramló levegőhullámok elnyomják a membrán keltette hanghullámok egy részét. Ahhoz, hogy a hatást csökkentsük, az utat növelni kell, ehhez pedig érdemes először is lezárni a membrán élei és a kosár közötti rést egy hab, impregnált szövet, hullámpapír vagy gumi tömítőgyűrűvel, ami mechanikai támogatást is nyújt a rugalmas felfüggesztés számára. A lezárás alakja és anyaga jelentősen befolyásolja a hangminőséget. Minden anyagnak vannak előnyös és hátrányos tulajdonságai (a poliészter hab például könnyű és olcsó, de az ózonnal, UV-sugárzásra, a páratartalomra és a magas hőmérsékletre érzékeny).

■ A hatás erőssége függ a hullámhossztól, így végső soron a membrán frekvenciájától: alacsonyabb frekvencián jelentősebb, mint magas frekvenciákon.

■ Szélessávú átvitel (beszéd vagy zene) esetén elsősorban a mély hangok (basszus) nyomódnak el, az akusztikus szél hatására. Egyidejűleg a középfhangoknál kevésbé, a magas hangok esetén egyáltalán nem érzékelhető a negatív hatás.

A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy az eredeti zene mély-magas hangaránya eltolódik, a hangzás vékonyabb, szegényesebb lesz. (Fontos megjegyezni, hogy magával a hang-

szóróval nincs semmi baj, az éllezárás önmagában nem oldja meg a problémát, azt majd a beépítés során kell orvosolni: a hangszóró nem hibás és nem is rossz. Ahhoz, hogy ideális módon lehessen mérni az akusztikai jellemzőket, a gyártók adatlapjaikban specifikálják a rekonstruálható mérési elrendezéseket, a beépítés pontos módját.)

Összefoglalva: a membrán mögötti hullámok részben kioltják a membrán előtti alacsony frekvenciás hanghullámokat, lévén azok ellenfázisúak (180°). Magasabb frekvenciákon a jelenség nem okoz gondot.

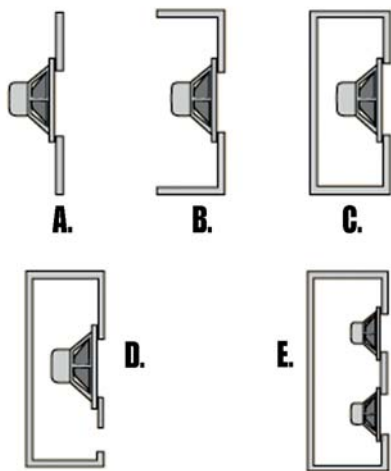
### Lehetséges megoldások

■ Az egyik lehetséges megoldás a hanghullámok hosszabb útra terelése, mielőtt a nyomásszintek kiegyenlítődnének. Egy érdekes kísérlettel bemutatható ennek a hatása. A dinamikus hangszóró, mely membránjának éle természetesen gyárilag le van zárva, tehát önmagában tökéletes eszköz, egy hosszú, lyukakkal ellátott csőbe van szorosán építve (lásd ábra). Amennyiben zenét játszunk le rajta keresztül, a hangzás szegényes lesz. A membrán előtti nagyobb légnyomás és a hangszóró mögötti kisebb légnyomás a lyukakon keresztül rövid úton áramló akusztikus szelet kelt, ami igyekszik kiegyenlíteni a nyomáskülönbséget. Ahhoz, hogy ezt az utat meg-növeljük, a lyukakat egy, a csőre húzott papírtekerccsel lezárjuk: ezzel a szelet a cső hátsó végén lévő nyílás felé irányítjuk, és ennek hatására a hangminőség azonnal javul, sokkal teltebb hangzás tapasztalható.



- Ki kell emelni, hogy a sikeres nyomáskompenzálás hangenergia-vesztéssel jár, emiatt a hasznos (hallható) hang gyengébb minőségű (kisebb intenzitású a basszus).
- Másik megoldás – mint ahogy azt már írtuk előbb is – a hangszóró szélének szorosabb zárása a gyártáskor. Használhatók az említett tömítőgyűrűk, de néha teljes lezárást is alkalmaznak a gyártók, például ragasztással.

### Gyakorlati segítség



A fent említett módszerek gyakorlati alkalmazásával a membrán éle mentén fellépő közvetlen nyomáskompenzáció nemkívánt hatása eredményesen csökkenthető. A

beépítés nyújtotta lehetőség szerint a hang a lehető legrövidebb lehetséges úton igyekszik kiegyenlíteni a nyomásváltozást, ennek az útnak a hossza a legközelebbi nyílás távolságától függ. Ha ezt a távolságot a tervezés során növelni tudjuk, a basszushangokat fel tudjuk erősíteni. A tervezőknek különböző beépítési módokat ajánlanak a gyártók, ezek közül veszünk sorra néhányat az alábbiakban. A hangszóró élei körüli lezárás tehát a hang útját növeli meg a hangszóró háta mögé, ezzel javítva a basszushangok erősségét.

A legkézenfekvőbb és legkönnyebb eljárás az akusztikai rövidzár elkerülésére a hangszóró nagy méretű, egy helyen kilyukasztott panelbe való építése (A).

Még ennél is hosszabb utat tudunk kialakítani, ha a fal éleit is lehajtjuk (B), így a negatív hatást még inkább megszüntetjük. Ilyen elrendezést találunk egy sor olyan végerősítőben, ahol a hűtés miatt a hátoldal teljesen nyitott, vagy lyuggatott lemezzel zárt (pl. egyes gitárerősítők).

A teljesen zárt és a hangszórók élei mentén megfelelően hangszigetelt dobozok sokszor a legegyszerűbb és legjobb megoldást kínálják (C és E), de subwoofer-rendszerekhez nem alkalmasak, mert a veszteségek túl nagyok, és a hatásfok jelentősen csökken.

Egy, a teljesen zárt dobozból származtatott megoldás lehet a bass-reflex tokozás (D), ahol a háznak van még egy nyílása és egy

hangcsatornája a panel elején, közel a hangszóróhoz. A rendszert oly módon kell megtervezni, hogy a dobozban kialakuló légpárna rezonátorként működjön. A hangolástól függő saját frekvencia környékén gerjesztve a hangfalat nagyobb hangnyomásszint érhető el. Ez alatt a frekvencia alatt az akusztikus rövidzár miatt a kimenet csillapított, felette pedig nincs jelentősége a problémának. Ezzel a módszerrel a hangfal sávzélessége egy oktávval is megnövelhető.

A hangszóró éleinek leghatásosabb lezárása mellett van még egy gyárilag kivitelezhető megoldás az akusztikai rövidzár negatív hatásának kiküszöbölésére, mégpedig a hangszóró teljesen zárt, miniatűr dobozba való gyári teljesen visszahajtott és lezárt, így a nemkívánt nyomáskompenzálás, az akusztikai rövidzár nem is lehetséges. Az Endrich kínálatában ezek a gyári tokozású hangszórók is megtalálhatóak.



FRED KUBERT OKL. VILLAMOSMÉRNÖK  
 TERMÉKMENEDZSER-AKUSZTIKA,  
 KISS ZOLTÁN OKL. VILLAMOSMÉRNÖK  
 KELET-EURÓPAI ÉRTÉKESÍTÉSI VEZETŐ  
 ENDRICH BAUELEMENTE VERTRIEBS GMBH  
 WWW.ENDRICH.COM