

A KIPUFOGÓHANG AKTÍV FORMÁLÁSA

Sokan vallják, a szép motorhangnál, melybe beleborzongunk, nincs gyönyörűbb dolog a világon. Jellegzetes motorhangok márkákhoz is kötődnek. A gyártóknál és tuningcégeknél külön akusztikus mérnökcsapat feladata az autók kipufogóhangjának a megtervezése, kialakítása.



ÖRI PÉTER

Az akusztikusok feladatköréhez tartozik ennek ellentéte is, az utastér lecsendesítése. Ezeknek a nem egyszerű feladatoknak a megoldását is az elektronika teszi ma könnyebbé. Az aktív zajkioltás (ANC – Active Noise Cancellation) és az aktív hangformázás (ASD – Active Sound Design) technológiákat azért fejlesztették ki, hogy mind az utastérbe, mind a környezetbe átadott zajokat csökkentsék, illetve alakítsák a kipufogóból kijövő motorhangot, de, mint látni fogjuk, az elektromágneses beavatkozó szerkezetek használata más előnyökkel is jár.

A személyautók kipufogási hangjában a lökettérfogat-csökkentés és a kisebb üzemi fordulatszám-tartomány nagyobb hangnyomást eredményezett – főleg a kis frekvenciájú tartományban –, mint kevésbé forszírozott elődeik. Így nagyobb térfogatú passzív dobokkal lehet csak a kellő szintre csökkenteni a zajkibocsátásokat, ami gyakran nagyobb kipufogási ellennyomással párosul. Ezek a körülmények viszont hátráltatják az egyre szigorodó CO₂-kibocsátási normák teljesítését. Az aktív zajkioltás (ANC) képes megbirkózni a problémával, az elmúlt időkből többször is felvetődött a járműipari alkalmazása, mint a passzív kipufogódobokat leváltó technológia.

Általános tervezési szabály, hogy a megcélzott piaci szegmensnek megfelelően alakítják a jármű hangját, hiszen az

nagyban befolyásolja a vezetési élményt, a minőség- és komfortérzetet. Ezen kívül visszacsatolást ad a járművezetőnek az adott közlekedési szituációról, ezért kényelmes haladáskor nyugodtságot, teljes terheléses gyorsításkor pedig erőteljeséget kell sugallnia.

A hagyományos hangolási eszközök, mint a dobtérfogatok, kamrák és csőhosszok változtatása, már évtizedek óta ismertek a maguk korlátaival és kompromisszumaival együtt. Az elektromágneses aktuátorok azonban többé-kevésbé teljesen aktív hangszabályozást tesznek lehetővé. Érdeemes megjegyezni, hogy a modern belső égésű motorok közül a dízelmotorok zajcsökkentése és hangtisztítása az egyszerűbb, a részecskeszűrőnek köszönhetően. Ezeket a beépítéseket kis méretű hagyományos dobok és egy aktív elem jellemzik. Mivel a dízelrendszerek nagyon jól hangolhatók, ezért szokás az eljárást aktív hangformázásnak nevezni (ASD). Ezzel szemben a benzinmotoroknál nagyobb erőfeszítés árán érhető csak el a kívánt hang: nagyobb dobokkal és aktívan gerjesztett „ellenhanggal” küzdenek a nemkívánatos zajok ellen.

A szabadalmat birtokló Eberspächer ezt a technológiát ActiveSilence-nek (aktív csend) nevezte el, és magában foglalja a dízeleknél alkalmazott ASD funkcióit is. A szoftveres vezérlésnek köszönhetően a hang változtatásához nincs szükség szer-



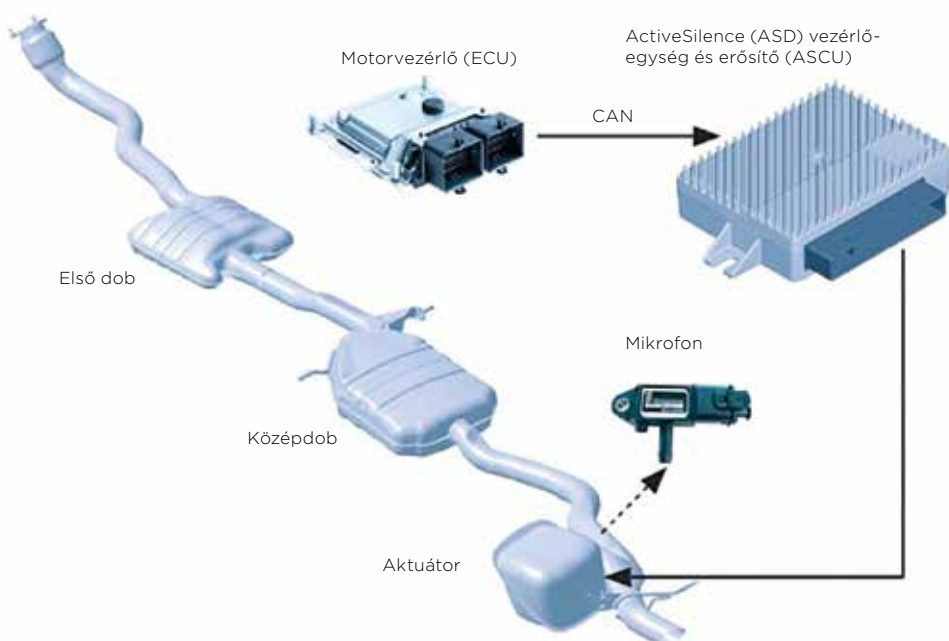
számcsere és a gyártósor átalakítására, a tervezés későbbi fázisában is lehet még módosításokat eszközölni, ezáltal a fejlesztési idő is csökken.

Az elmúlt évek fejlesztései során az aktív komponensek (működtetők, vezérlő hardver és szoftver) robusztussága sokat javult és elegendő tesztet végeztek, hogy garantálják a rendszer működését a jármű élettartama alatt. A járműves beépítés **1** során a hátsó kipufogódob helyére kerül az aktuátor, aminek a vezérlő jelét az ActiveSilence Control Unit (ASCU) szolgáltatja. A mikroszámítógépen futó

algorithmus a motorvezérlőből (fordulatszám, terhelés) és a kipufogócsőben elhelyezett mikrofonból nyeri a bemenő adatokat, melyek alapján elkészíti az ellenzaj jelét, ami egy erősítőn át jut el a működtetőig. Az algoritmus bizonyos paraméterei egy egyszerű PC-vel és megfelelő interfésszel módosíthatók. A motorvezérlő hardvere egy kivitelben készül, csak minimális különbségek vannak, az autógyártók különböző igényeinek megfelelően. Minden beépítésben a működtető egy elektromágneses hangszórót tartalmaz, ami egy mellékágon

csatlakozik a kipufogórendszerbe, így van védve az áramló kipufogógáz hőjétől. A motortól függően lehet változtatni a térfogatát és elhelyezkedését: általában 6–10 liter térfogatú, tömege 3–4 kg.

A technológia eredményeit egy négyhengerrű, 2 liter lökettérfogatú, turbós Otto-motoron mutatjuk be, ami a modern motortervezési trendek alapján készült, 155 kW teljesítményre és 350 Nm leadására képes. Az átépítés során a kipufogógáz emissziós utókezelése és a rendszer rögzítőpontjai sem változtak. Az eredeti rendszert a **2**. ábra mutatja. Jól látható, hogy 4 dob szük-



1 Az ActiveSilence felépítése

	SZÉRIA KIPUFOGÓRENDSZER	AKTÍV KIPUFOGÓRENDSZER
Első és középső dob térfogata [liter]	7+14=21	7+14=21
Hátsó dobok térfogata [liter]	2x14,5=29	10 (aktuátor)
Teljes dobtérfogat [liter]	50	31
Kipufogógáz-ellennyomás [mbar]	160	150
Teljes tömeg [kg]	28	22

1 táblázat

séges, hogy a kívánt hangminőséget elérjék, a beépítési környezet kötöttségei és az ellennyomás határérték alatt tartása mellett. Ez több mint 50 liter dobúrtartalmat jelent. Az 1. ábrán látható aktív rendszer ezzel szemben csak 2 dobot tartalmaz, és a hátsó dobokat egy-egy aktuátorra cserélték. Mindkét rendszer hangját görgős padon végzett járatás során mérték 0,5 m távolságból és 45°-os szögéből. A 3. ábra egy teljes terheléses gyorsítás során mért hangnyomásértékeket mutatja. Három esetet vizsgáltak: az eredeti rendszert, az aktív rendszert kikapcsolt állapotban és az aktív rendszert bekapcsolt állapotban. Jól kivehető, hogy az aktív rendszer ki- és bekapcsolt állapota között 3000 min⁻¹ fordulatszám fölött nincs eltérés. Ez azért van, mert ebben a felső tartományban már az áramlási zaj dominál. Kis fordulaton a motorjárási egyenlőtlenégekből keletkező zajok az erősebbek. Az aktív szabályozással sikerült az eredeti hangnyomás-karakterisztikát elérni, sőt az üzemi tartomány nagy részén alá is lehetett menni. De ez önmagában nem lenne elég a rendszer létjogosultságához. Az igazi előnyeit az 1. táblázatban foglaltuk össze. Sikerült 19 liter szabad térfogatot nyerni, amit fel lehet használni más rendszerekhez, az autó tömege 6 kg-mal csökkent, és ha csak minimálisan, de a kipufogógáz-ellennyomás is csökkent.

Az Eberspächer 2012-ben adta be a szabadalmát az ActiveSilence-re, azóta to-

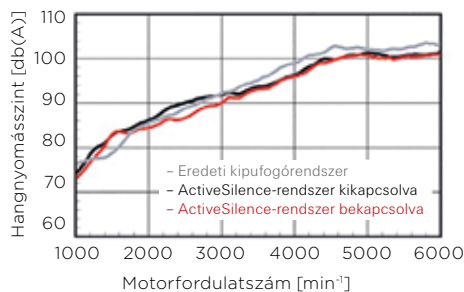
HANGKIOLTÁS AZ UTASTÉRBEN IS

A Bose hangtechnikai cég aktív hangmenedzsment-rendszere (Active Sound Management System – ASM) az utastérben hivatott kioltani a motorból érkező zajokat. A vezérlő – akárcsak az Eberspächer esetében – a motorvezérlőből CAN-üzenet formájában megkapja a motor üzemi paramétereit, valamint az utastérben elhelyezett mikrofonok jeleit felhasználva kompenzálja az algoritmusát és adja ki a hangszórók bemeneti jelét. A kioltáshoz a motorzajjal megegyező frekvenciájú és amplitúdójú, de ellenkező fázisú hullámokat bocsát ki. Mivel az utastér eleve rendelkezik hangszórókkal, ezért a mikrofonok



és a logika kerül többletköltségbe, ráadásul nemcsak a motorzaj, hanem a többi menetzaj elnyomására is képes. A rendszer logikáját gyártó NXP Semiconductors engedélyt kapott a szabad értékesítésre, ezért már minden gyártó rendszerével megvalósítható a belső zajscökkentés a mikrofonok beszerelése után.

vábbfejlesztette és szériaéretté tette. A Frankfurti Autószalonon az egyik legjobban protezsált termékeként állította ki és nagy reményeket fűz hozzá, hiszen alkalmazása rugalmas kipufogóhangolást tesz lehetővé kis szerszámköltségek és kis dobtérfogatok mellett is. A csökkentett ellennyomás pedig kedvező hatással van a motor teljesítményére és tüzelőanyag-fogyasztására, valamint bármely CAN-hálózattal rendelkező autóra könnyen illeszthető. Elterjedése elsősorban



3 teljes terheléses gyorsítás során mért hangnyomásértékek

a prémium márkákban várható majd, hiszen a hangszóró, a mikrofon és a vezérlő elektronika is költségnövelő. ■

Forrás:

ATZ Worldwide 2013. 07-08. p. 5-8.,
<http://www.eberspaecher.com>,
<http://www.bose.com>



2 a gyári kipufogórendszer 4 dobot tartalmazott