

NVH experimentálne metódy využívané pri vývoji automobilov a ich komponentov

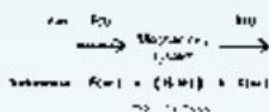
Kvalita vozidiel je zo strany zákazníka vnímaná do značnej miery aj prostredníctvom akustického komfortu. To vytvára, spolu s legislatívnymi požiadavkami, značný tlak na výrobcov vozidiel zaoberať sa touto problematikou. V minulosti dominantné zdroje hlučnosti (hnací mechanizmus, podvozok, aerodynamické vlastnosti karosérie a pod.) už boli dobre zvládnuté, a tak sa z hľadiska ďalšieho zlepšovania akustického komfortu stalo nevyhnutným, zaoberať sa i tzv. vedľajšími zdrojmi. Tieto ďalšie rôzne zdroje, okrem iného i nové elektromechanické systémy riadenia vozidiel, sú už pomerne vyrovnané a vyžadujú z hľadiska riešenia akustiky vozidiel náročnejšie postupy a stratégie. Riešenie tejto problematiky sa stalo neoddeliteľnou súčasťou vývojových etáp nových automobilov a zahŕňa ako rôzne „multiphysics“ simulácie (ako napr. štrukturálne, akustické, tepelné, prúdenia a pod.), viacparametrické optimalizácie, tak i moderné experimentálne metódy (EMA, TPA, PCA, ODS a pod.) aplikované v rámci prototypových etáp vývoja vozidiel alebo ich komponentov.

Experimentálna modálna analýza (EMA)

EMA je proces extrakcie dynamických charakteristík vibračného systému (vlastných frekvencií, tvarov kmitania, tlmenia) na základe experimentálnych prenosových funkcií. Prenosová funkcia je miera odozvy systému na určitý vstup. Pri tomto druhu analýzy je vstupom obvyčajne silové pôsobenie a meraná odozva je pohyb, buď vo forme zrýchlenia, rýchlosti alebo posunutia (obrázky 1 a 2). Pre získanie prenosovej funkcie je teda potrebné v určitom bode systému aplikovať známu silu a súčasne merať v ďalšom bode odozvu, napr. zrýchlenie. Prenosová funkcia môže byť potom získaná ako pomer týchto dvoch meraní. V závislosti od typu meranej odozvy môže byť definovaných nasledovných šesť druhov prenosových funkcií:

- **Dynamická poddajnosť (posunutie / sila)**
- **Mobilita (rýchlosť / sila)**
- **Zrýchlenosť (zrýchlenie / sila)**
- **Dynamická tuhosť (1 / Dynamická poddajnosť)**
- **Mechanická impedancia (1 / Mobilita)**
- **Zdanlivá hmotnosť (1 / Zrýchlenosť)**

Pri modálnej analýze sa prenosové funkcie zvyčajne získavajú meraním pomocou digitálneho testovacieho systému. Merania vstupu a odozvy sa digitalizujú a potom spracúvajú technikami rýchlej Fourierovej transformácie (FFT).



Obr. 1 Bloková schéma prenosovej funkcie $H(\omega)$

Obr. 2 Modálna analýza telesa systému riadenia



Modálne dáta sa uplatňujú pri návrhu karosérie a ďalších komponentov automobilu, s cieľom správneho modálneho naladenia systému (teda vylúčenie rezonancií z prevádzkového rozsahu). Môže ísť zároveň o akustické módy napr. interiéru vozidla a štrukturálne módy napr. strešného panelu vozidla (vznik tzv. „booming noise“). Renomovaní výrobcovia majú spracované mapy tzv. správneho rozloženia vlastných frekvencií svojich produktov. Správne modálne naladenie je spojené nielen so zmenšením hluku a vibrácií, ale aj s redukciou prídatných dynamických zaťažení a teda aj zlepšením únavových charakteristík jednotlivých komponentov. Vizualizácia tvarov kmitania môže pomôcť pri určení vhodných miest pre spájanie rôznych komponentov (uzly kmitania), optimálnom umiestnení tlmičov alebo tlmiacich materiálov (kmitne) a pod.

Modálny model je možné použiť pre simulácie a dizajnové štúdie, napr. štrukturálne modifikácie systému. Pomocou štrukturálnych modifikácií je možné zmenou hmotnosti, tuhosti alebo tlmenia vhodne ovplyvňovať dynamické vlastnosti konštrukcie. Táto technika sa môže rozšíriť na iteračný proces, často nazývaný analýza citlivosti. Citlivosť je definovaná ako pomer medzi zmenou vlastnej frekvencie a príslušnou zmenou hmotnosti, tuhosti alebo tlmenia štruktúry. Dáta z experimentálnej modálnej analýzy sa používajú i pri overovaní FEM modelov a ich „update“ - hybrid modeling a pod.

Operačná modálna analýza sa využíva pri analýze modálnych vlastností rozmerých konštrukcií, tiež pri monitorovaní modálnych vlastností rôznych zariadení z hľadiska včasnej detekcie lomov, trhlin a pod. Miesto vlastných tvarov kmitania sa pri tejto analýze určujú prevádzkové tvary kmitania (napr. z fázového posunu medzi meranými bodmi pre príslušné vlastné frekvencie).

Analyza prenosových ciest (TPA)

TPA umožňuje sledovať tok vibroakustickej energie zo zdroja cez rôzne prenosové cesty do určitého miesta. V prípade systémov riadenia sa využíva najmä na kvantifikáciu a vizualizáciu príspevku jednotlivých montážnych miest (a smerov) systému na hladine akustického tlaku v mieste hlavy vodiča.

Tradičná TPA je založená na princípe superpozície, teda platí pre lineárne systémy. Čiastkové príspevky jednotlivých prenosových ciest, v prípade „belt drive“ systémov riadenia montážnych miest a smerov, do určitého miesta (napr. hladine akustického tlaku v mieste hlavy vodiča) môžeme vyjadriť vzťahom:

$$Y_k(\omega) = \underbrace{\sum FRF_{ik}(\omega) \cdot F_i(\omega)}_{\text{structural}} + \underbrace{\sum FRF_{jk}(\omega) \cdot Q_j(\omega)}_{\text{airborne}}$$

- kde $FRF_{ik,jk}(\omega)$ sú príslušné prenosové funkcie (napr. medzi akustickým tlakom v mieste hlavy vodiča a určitým montážnym miestom systému riadenia, v príslušnom smere, merané s demontovaným systémom riadenia)

- $F_i(\omega)$ je spektrum prevádzkovej sily, v príslušnom montážnom mieste a smere

- $Q_j^*(\omega)$ je spektrum prevádzkového akustického zaťaženia pre príslušnú plochu komponentu (napr. motor, remeňový prevod a pod.)

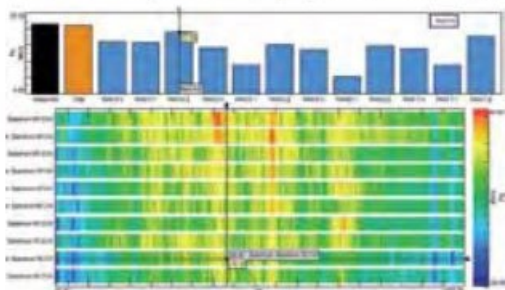
Vzhľadom k tomu, že pri analýzach systému riadenia je potrebné merať aj akustické prenosové funkcie, ako aj zvuk v mieste vodiča pre rôzne skúmané prevádzkové režimy, táto analýza vyžaduje okrem viackanálového DAQ aj vhodnú polo-bezdozvukovú komoru, vybavenú zdvihákom (resp. montážnou jamou), na zabezpečenie prístupu k montážnym bodom systému do vozidla. Meranie sa vykonáva bez spusteného motora a teda je potrebné zabezpečiť aj vhodné napájanie systému riadenia z externého zdroja.

Možnosti TPA analýzy

Analýza prenosových ciest umožňuje identifikovať miesta spojené s veľkým prenosom energie. Modifikáciou týchto miest je možné napr. účinne znížiť hladinu akustického tlaku v mieste hlavy vodiča, vibrácie na volante a pod. Úprava môže spočívať v optimalizácii pružného člena, správnom sfázovaní jednotlivých prenosových ciest, zmene modálnych vlastností (napr. komponentov systému riadenia, karosérie ako aj akustických módov interiéru vozidla), návrhu vhodného dynamického tlmiča a pod.

Na obrázku 3 je analýza príspevkov jednotlivých montážnych miest a smerov „belt drive“ systému riadenia na hladinu akustického tlaku (SPL) v mieste hlavy vodiča.

„Measured“ – hladina akustického tlaku v mieste hlavy vodiča v dB(A). „Total“ – vektorový súčet všetkých príspevkov (miesta, smery).



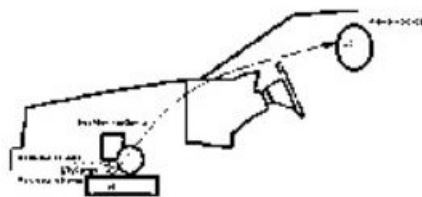
Ďalšie využívané drúhy TPA analýz

Operačná TPA (OTPA)

Ide o metódu, ktorá redukuje počet meraní, pri zachovaní kvality analýzou získaných informácií. Namiesto analýzy príspevkov jednotlivých prenosových ciest sú merané tzv. transmissibility medzi snímačmi na vstupoch a výstupe (pozrite vzťah nižšie), pre rôzne nezávislé prevádzkové režimy (rôzne otáčky, zaťaženia a pod.).

$$TR_{3/4}(\omega) = u_3(\omega) / u_4(\omega)$$

- kde $TR_{3/4}(\omega)$ = matica transmissibility (napr. zo 4 = path do 3 = target, pressure / acceleration (pozrite obrázok 4), $u_4(\omega)$ sú zrýchlenia na pasívnej strane v blízkosti uložení systému riadenia - vstupy, $u_3(\omega)$ je akustický tlak v mieste ucha vodiča - výstup



Obr. 4 Merania „transmissibilities“

Tieto merania sú vykonávané na zmontovanom finálnom produkte, čím sa tiež šetrí čas na demontáž aktívnych komponentov. Príspevky prenosových ciest sú určené na základe meraní v správne vybraných meracích miestach, v okolí uložení zdrojov vibrácií. Tieto meracie miesta sú vstupmi do operačnej TPA. Výsledok analýzy je závislý hlavne od správnej voľby týchto meracích miest. Dôležité je zahrnúť všetky prenosové cesty. Operačná TPA umožňuje jednoducho kombinovať merania využitím rôznych druhov snímačov na vstupe a výstupe (meranie fyzikálnych veličín ako sú zrýchlenia, rýchlosti, akustické tlaky, sily a pod.). Ide o vhodnú metódu na rýchle zhodnotenie podielu „airborne & structural“ príspevkov.

Multi-reference TPA

Využíva sa pri systémoch, kde niekoľko vstupov pôsobí súčasne (napr. pri automobiloch, pri analýzach hluku budeného počas jazdy povrchom vozovky, v mieste hlavy vodiča – jednotlivé vstupy tu zodpovedajú jednotlivým zaveseniam kolies vozidla). Rieši sa to rozdelením na niekoľko nezávislých „single reference“ problémov (single reference TPA), potom napr. celkový hluk v mieste hlavy vodiča je vypočítaný ako súčet rms hodnôt príspevkov od jednotlivých vstupov – zavesení kolies vozidla.

Component TPA

Umožňuje nastavenie tzv. „targets“ pre rôzne komponenty vozidla vo forme hraničných spektrier síl, v miestach uloženia týchto komponentov (tzv. „blocked forces“). Tieto spektrá síl sú vlastnosťou príslušných komponentov, bez ohľadu na typ vozidla, do ktorého budú montované. Na získanie týchto spektrier sa využíva napr. metóda podľa ISO 9611, tzv. „free velocity“.

Obr. 3 Príspevky jednotlivých montážnych miest a smerov na SPL v mieste hlavy vodiča

Analýza hlavných komponentov budenia (PCA)

Táto analýza umožňuje určiť príspevky väčšieho počtu zdrojov budenia (princípals components) na odozve v určitom mieste skúmaného zariadenia (napr. vibrácie na volante a pod.). Inak povedané, je to dekompozícia odozvy na príspevky od jednotlivých zdrojov budenia (napr. jednotlivých kolies vozidla počas jazdy, spaľovacieho motora, či iných zdrojov budenia). Zdroje budenia musia byť vzájomne nezávislé (ortogonálne).

Využitím príslušného programového vybavenia pre túto analýzu je možné vypočítať nasledovné funkcie - principal component auto-power, virtual crosspower, virtual coherence, referenced virtual spectra, coherent autopower a pod.

Prostredníctvom týchto funkcií je možné napr. posúdiť koreláciu signálov z miesta budenia a odozvy v určitom frekvenčnom rozsahu, identifikovať príspevky jednotlivých zdrojov budenia na odozve a pod.

Prevádzkové tvary kmitania (ODS)

Pri tejto analýze je skúmaná odozva štruktúr na reálne prevádzkové budenie. Realizuje sa spravidla súčasným meraním časových priebehov zrýchlenia v rôznych miestach vyšetrovaných štruktúr. Z týchto priebehov je potom možné pomocou príslušného programového vybavenia vytvoriť časové animácie kmitania.

Výpočet animácií môže byť realizovaný ako na základe spektier signálu v meraných miestach (analýza stacionárnych režimov v oblasti dominantných frekvenčných zložiek), tak i priamo z časových priebehov zrýchlenia (využívané pre štúdium správania sa najmä pre prechodové ale i stacionárne režimy). Takto získané animácie umožňujú študovať vibračné správanie sa štruktúr a identifikovať prípadné kritické



Obr. 5 Príprava na meranie vozidla v polo-bezdzukovej komore (TPA analýza)

miesta, či komponenty. Je možné počítať animácie ODS ako pre určitú problémovú frekvenčnú zložku, tak i pre zložky v širšom frekvenčnom rozsahu. Riešenie je spravidla spojené s vystužením konštrukcie, úpravou rozloženia hmotností, zväčšením tlmenia alebo aplikovaním vhodného dynamického tlmiča (TMD).

Tento článok je zameraný na využitie NVH experimentálnych metód (štruktúrnych analýz) pri vývoji elektromechanických systémov riadenia a ich zabudovaní do vozidiel. Vyššie uvedené metódy sa však samozrejme využívajú aj v iných oblastiach techniky a vhodne dopĺňajú rôzne ďalšie postupy používané pri vývoji strojov a zariadení s cieľom dosiahnuť požadované vibroakustické vlastnosti.

Ing. Ján HAŠKO, PhD. (autor článku pracuje ako špecialista v oblasti technickej diagnostiky u jedného z významných dodávateľov automobilového priemyslu)

PRVÝ pohľad do interiéru vozidla ŠKODA SLAVIA

ŠKODA AUTO prináša prostredníctvom oficiálnej dizajnovej skice prvý pohľad do interiéru nového vozidla SLAVIA určeného pre indický trh. V novom sedane je použitý súčasný koncept interiéru známy z ostatných automobilov ŠKODA, vrátane aktuálnych dizajnových prvkov. K nim patria napríklad výrazné kruhové bočné výduchy ventilácie, farebná horizontálna dekoratívna lišta či nápis ŠKODA po stranách obloženia prístrojového štítu. Nová SLAVIA rozširuje segment A0, ktorý je v Indii veľmi obľúbený. SLAVIA je rovnako ako SUV KUSHAQ, predstavený na začiatku roka 2021, súčasťou projektu INDIA 2. 0.

Centrálным prvkom interiérov súčasných vozidiel ŠKODA je samostatne stojaca obrazovka infotainmentu. Tá bude zdobiť tiež interiér nového vozidla ŠKODA SLAVIA. Pod dotykovým displejom s uhlopriečkou až 10" kopíruje charakteristická línia tvar masky chladiča a vytvára aj opierku pre ruku pri ovládaní. Šírku interiéru s veľkorysým priestorom typickým pre značku ŠKODA zdôrazňuje horizontálna farebná dekoratívna lišta. Pôsobí dojemom, ako keby sa vznášala a tiahne sa až k výrazným kruhovým bočným výduchom ventilácie. Za dvojramenným multifunkčným volantom je vidieť obrazovku digitálneho prístrojového panelu.



ŠKODA SLAVIA je rovnako ako SUV KUSHAQ postavená na platforme MQB-A0-IN koncernu Volkswagen, ktorú vyvinula ŠKODA AUTO špeciálne pre indický trh. Táto platforma sa vyvíja a vyrába priamo v Indii a spĺňa tamojšie nové, prísnejšie bezpečnostné a emisné normy. Technický vývoj prebiehal v Technologickom centre spoločnosti ŠKODA AUTO v Pune. Samotná výroba bude z 95 % prebiehať lokálne v Indii.