

Noise and Vibration in Practice



Peer-reviewed
Proceedings
Vol. 21, 2016
annually
Vedecký
recenzovaný
zborník
Roč. 21, 2016

Štruktúrne analýzy a ich využitie pri optimalizácii elektromechanických systémov riadenia

Ján HAŠKO, Ing. PhD.
ZF TRW, Nové Mesto nad Váhom
e-mail: jan.hasko@zf.com

Úvod

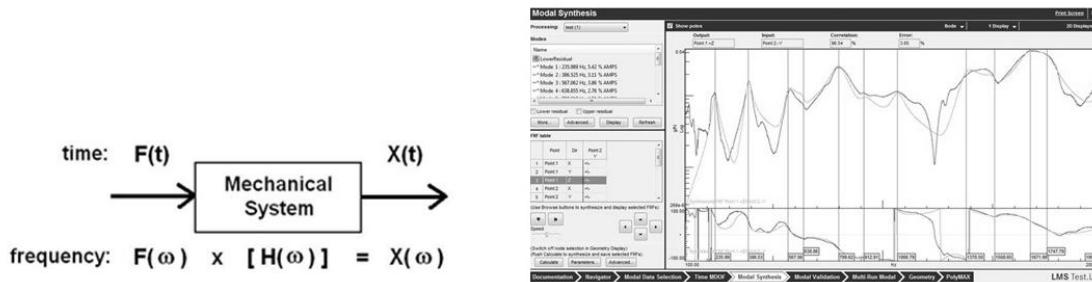
Kvalita vozidiel je zo strany zákazníka vnímaná do značnej miery i prostredníctvom akustického komfortu. To vytvára, spolu s legislatívnymi požiadavkami, značný tlak na výrobcov vozidiel zaoberať sa touto problematikou. V minulosti dominantné zdroje hlučnosti (hnací mechanizmus, podvozok, aerodynamické vlastnosti karosérie a pod.) už boli dobre zvládnuté a tak sa stalo nevyhnutným, z hľadiska ďalšieho zlepšovania akustického komfortu, 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. štruktúrne, akustické, tepelné, prúdenia a pod.), optimalizácie, tak i moderné experimentálne metódy (EMA, TPA, PCA, ODS a pod.) aplikované v rámci prototypových etáp vývoja vozidiel alebo ich komponentov.

V rámci tohto článku by som sa chcel zamerať najmä na NVH experimentálne metódy, ktoré využívame pri vývoji elektromechanických systémov riadenia a ich zabudovaní do vozidiel.

Experimentálna modálna analýza (EMA)

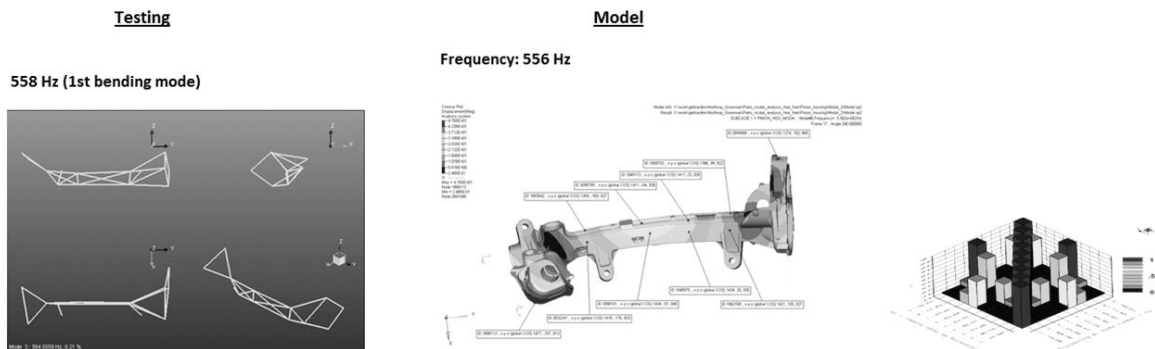
EMA je proces extrakcie dynamických charakteristík vibračného systému (vlastných frekvencií, tlmenia, tvarov kmitania) na základe experimentálnych prenosových funkcií. Prenosová funkcia je miera odozvy systému na určitý vstup. Pri tomto

druhu analýzy je vstupom obvyčajne silové pôsobenie a meraná odozva je pohyb, buď vo forme zrýchlenia, rýchlosti alebo posunutia (Obrázok 1).



Obrázok 1 – Prenosová funkcia (FRF).

Modálne dáta nám pomáhajú pri dizajne jednotlivých komponentov systémov riadenia, s cieľom správneho modálneho naladenia vlastného systému (t. j. vylúčení rezonancií z prevádzkového rozsahu), príp. i ďalších súvisiacich komponentov vozidla. To je spojené nielen so znížením hluku a vibrácií ale i s redukciou prídavných dynamických zaťažení a teda i zlepšením únavových charakteristík jednotlivých komponentov. Dáta z experimentálnej modálnej analýzy používame i pri overovaní FEM modelov a ich “update” - hybrid modeling a pod. (Obrázok 2).

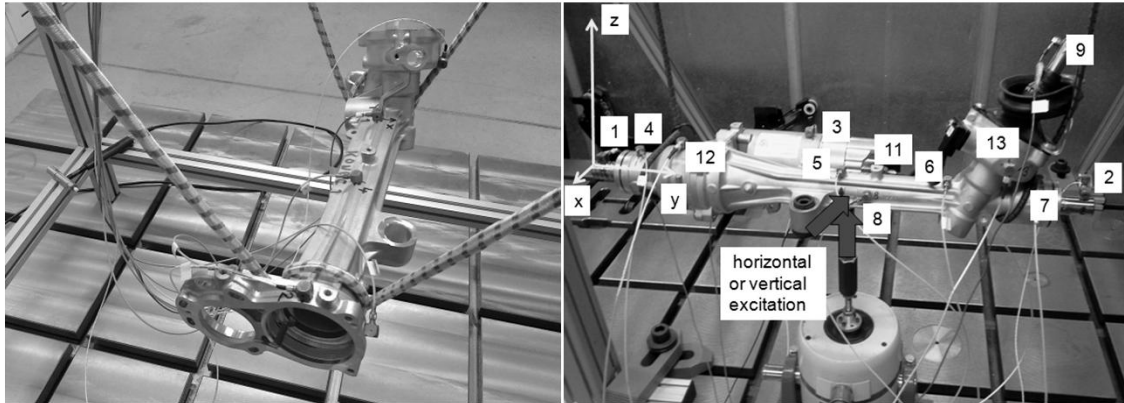


Obrázok 2 – EMA vs FEM, korelácia (MAC).

Pri EMA využívame DAQ systém LMS SCADAS (Obrázok 3) a programové vybavenie LMS Test.Lab. Bežne realizujeme experimentálnu modálnu analýzu v laboratórnych podmienkach (budenie pomocou modálneho kladivka alebo elektrodynamického budiča – Obrázok 4) ale je možné robiť i tzv. operačnú modálnu analýzu, napr. využitím našich testovacích dráh.



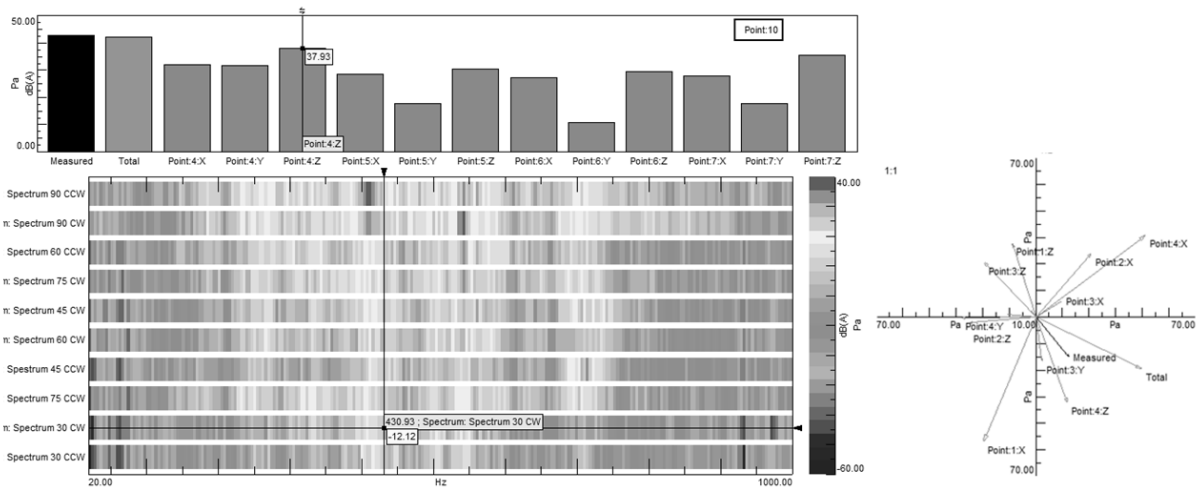
Obrázok 3 – DAQ systém LMS SCADAS.



Obrázok 4 – Usporiadanie EMA pri budení modálnym kladivkom a el. budičom.

Analýza prenosových ciest (TPA)

TPA umožňuje sledovať tok vibroakustickej energie zo zdroja cez rôzne prenosové cesty do určitého miesta. V našom prípade ju využívame najmä na kvantifikáciu a vizualizáciu príspevku jednotlivých montážnych miest (a smerov) systému riadenia, spravidla upevneného cez pomocný rám do karosérie vozidla, na hladine akustického tlaku (SPL) v mieste vodiča (Obrázok 5).



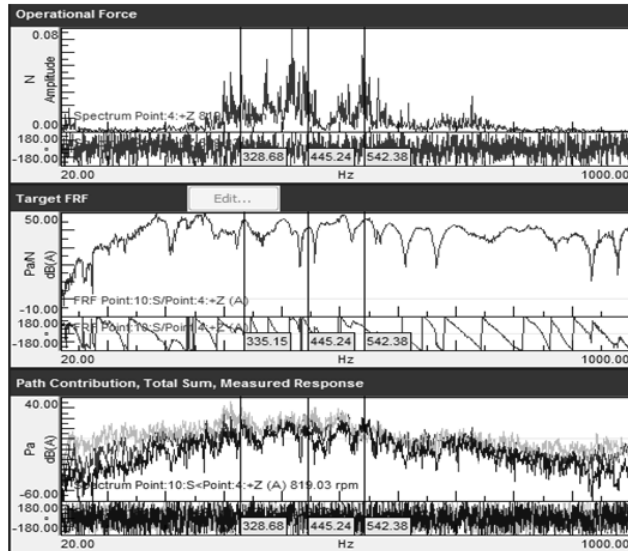
Obrázok 5 – Príspevky jednotlivých montážnych miest a smerov na SPL v mieste vodiča.

Tradičná TPA je založená na princípe superpozície, teda platí pre lineárne systémy. Čiastkové príspevky jednotlivých prenosových ciest, v našom prípade montážnych miest a smerov, do určitého miesta, napr. SPL v mieste vodiča, môžeme vyjadriť vzťahom (1):

$$P(\omega) = H(\omega) \cdot F(\omega) \quad (1)$$

- kde $H(\omega)$ je v našom prípade prenosová funkcia medzi akustickým tlakom v mieste vodiča a určitým montážnym miestom (v príslušnom smere) pripojenia systému riadenia

- $F(\omega)$ je spektrum sily, v príslušnom montážnom bode a smere (Obrázok 6)



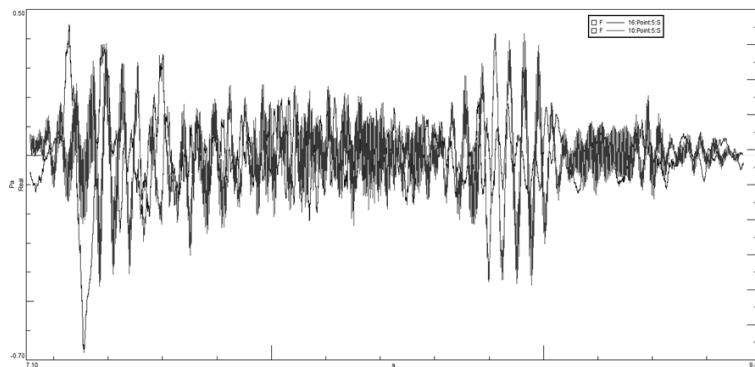
$F(\omega)$

 $H(\omega)$

 $P(\omega)$

Obrázok 6 – Čiastkový príspevok určitého montážneho miesta a smeru na SPL v mieste vodiča.

V prípade skúmania rýchlych prechodových dejov (rázy a pod.) využívame i TPA v časovej doméne (Obrázok 7). Pri nej sa uplatňujú i tzv. posluchové štúdie.



Obrázok 7 – TPA v časovej doméne.

Analýza prenosových ciest nám teda pomáha identifikovať miesta spojené s vysokým prenosom energie. Modifikáciou týchto miest je možné v našom prípade účinne znížiť SPL v mieste vodiča a pod. Úprava môže spočívať v optimalizácii pružného člena, správnom sfázovaní jednotlivých prenosových ciest, zmene modálnych vlastností (napr. komponentov systému, karosérie ako i akustických módov interiéru vozidla), návrhu vhodného dynamického tlmiča a pod.

Vzhľadom k tomu, že v našom prípade je potrebné merať i akustické prenosové funkcie, ako i zvuk v mieste vodiča, pre rôzne skúmané prevádzkové režimy, táto analýza vyžaduje okrem viackanálového DAQ i 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 i vhodné napájanie systému riadenia z externého zdroja.

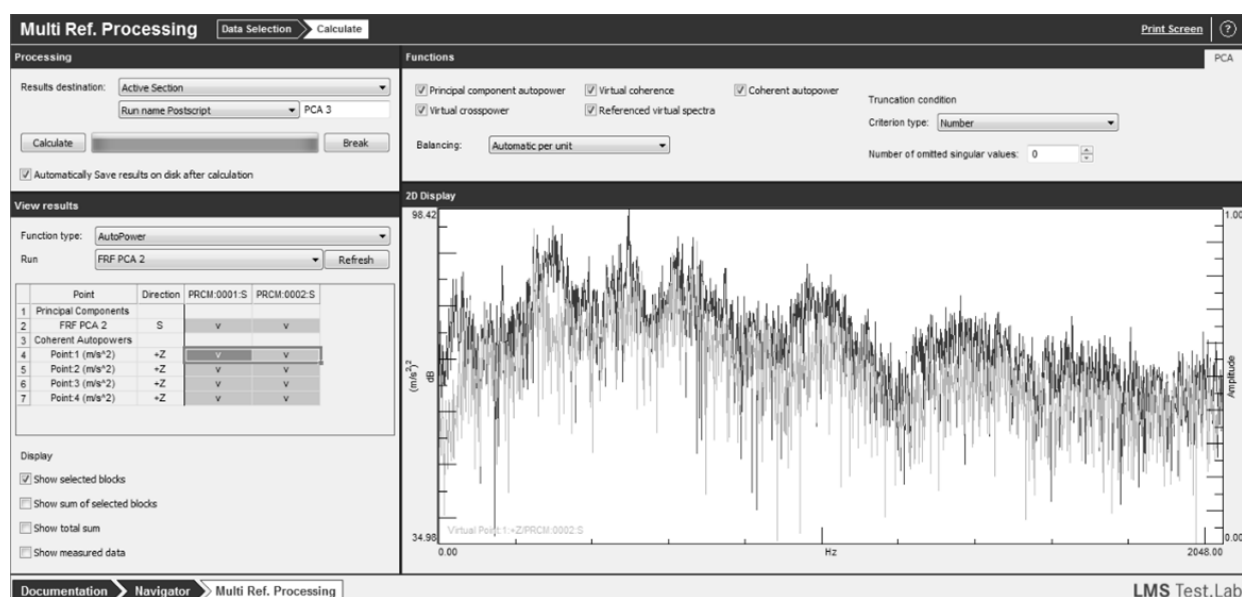
Analýza hlavných komponentov budenia (PCA)

Táto analýza umožňuje určiť príspevky väčšieho počtu zdrojov budenia (principal 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 programového vybavenia LMS Test.Lab pre túto analýzu je možné vypočítať nasledovné funkcie:

- principal component autopower, virtual crosspower, virtual coherence, referenced virtual spectra, coherent autopower (Obrázok 8)

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.

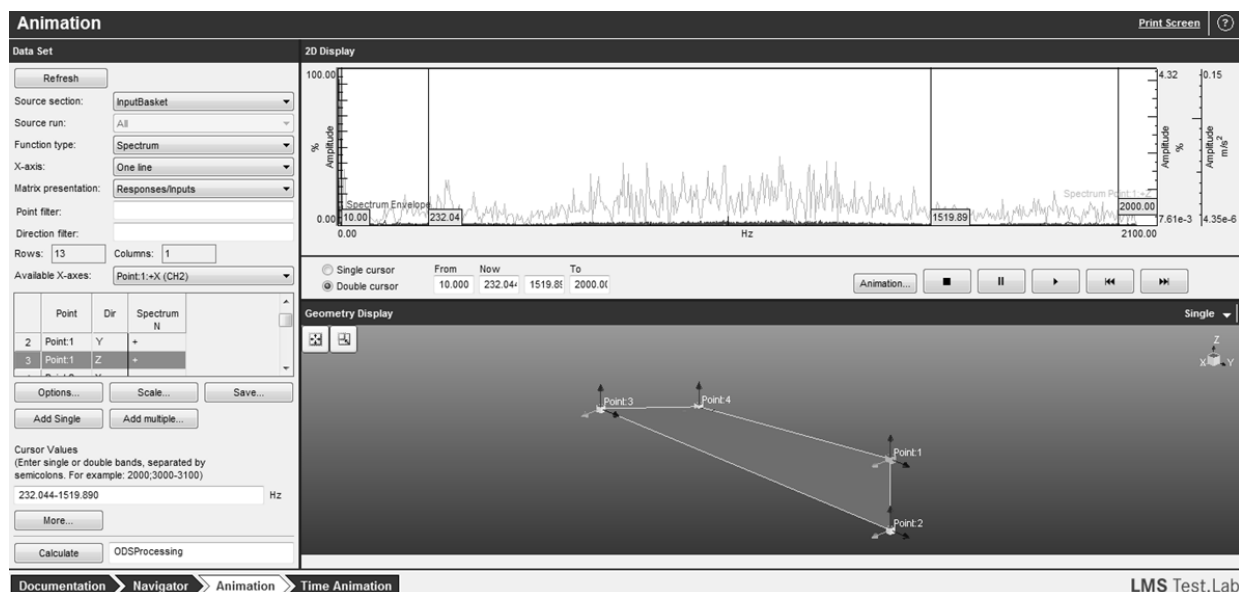


Obrázok 8 – Možnosti PCA analýzy.

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 vyšetovaných štruktúr, v našom prípade napr. v miestach pripojenia systému riadenia ku pomocnému rámu na vozidle. Z týchto priebehov je potom možné, pomocou programového vybavenia LMS Test.Lab, vytvoriť časové animácie kmitania (Obrázok 9). Namerané časové priebehy je však okrem toho možné využiť i pre tzv. operačnú modálnu analýzu. Výpočet animácií môže byť realizovaný ako na základe spektier signálu v meraných miestach, tak i priamo z časových priebehov zrýchlenia. Takto získané animácie umožňujú študovať vibračné správanie sa štruktúr a identifikovať prípadné kritické miesta, či komponenty. Vyššie uvedené programové vybavenie umožňuje počítať animácie ODS ako pre určitú problémovú frekvenčnú

zložku, tak i pre zložky v širšom frekvenčnom rozsahu. Riešenie je spravidla spojené s vystužením konštrukcie, zmenou rozloženia hmotnosti, zvýšením tlmenia alebo aplikáciu vhodného dynamického tlmiča (TMD).



Obrázok 9 – Animácie kmitania využitím ODS.

Záver

Len systematický prístup a včasné integrovania NVH problematiky do vývojových fáz vozidiel a ich komponentov, môže zabezpečiť akusticky optimálne a zároveň cenovo dostupné vozidlá. Moderné metódy akustickej optimalizácie sa tak stali neodlučiteľnou súčasťou procesu vývoja nových vozidiel a ich komponentov. Implementovanie vyššie uvedených experimentálnych metód do vývojového procesu prinieslo i spoločnosti ZF TRW vyššiu kvalitu a konkurencieschopnosť produktov.

Literatúra

[1] Interné materiály spoločnosti ZF TRW

Resumé

Structural analysis and their utilisation at the optimization of electromechanical steering systems. Further improving the acoustic comfort of cars requires a more sophisticated approach to the design of the vehicle as a whole as well as its components. Also, the company ZF TRW, as one of the biggest suppliers of components for the automotive industry, devotes considerable attention to this problematic. This contribution is focused mainly on the experimental methods, used in the development of electromechanical steering systems, related to the structural properties. By optimizing these properties is possible to improve significantly not only a ride comfort of the vehicles but also functional characteristics of the steering systems, to reduce a stress, wear of their individual components and the like. Mastering this problematic has become a prerequisite for success in a highly competitive environment of the automotive suppliers.

Poďakovanie

Ďakujem vedeniu spoločnosti ZF TRW v Novom Meste nad Váhom, že mi umožnilo účasť a prezentáciu interných materiálov spoločnosti na tomto podujatí.