

NÁVRH ELEKTROMAGNETICKÉHO TLUMIČE S VYUŽITÍM COMSOL MULTIPHYSICS A MATLAB

R. Čermák

Západočeská univerzita v Plzni

Abstract

Príspevek se zabývá návrhem prototypu elektromagnetického tlumiče. Je studováno několik variant uspořádání. Jednak je studován čistě pasivní tlumič využívající disipaci energie v důsledku vířivých proudů vznikajících při pohybu permanentních magnetů nasazených na trnu uvnitř vodivého masivního měděného tubusu. Jednak je studován podobně navržený tlumič, kde je masivní měděný tubus nahrazen vinutím, což jednak umožní aplikovat myšlenky aktivního a semiaktivního tlumení, jednak otevírá prostor pro rekuperaci části energie, která je obvykle zmařena v pasivních tlumičích.

1 Úvod

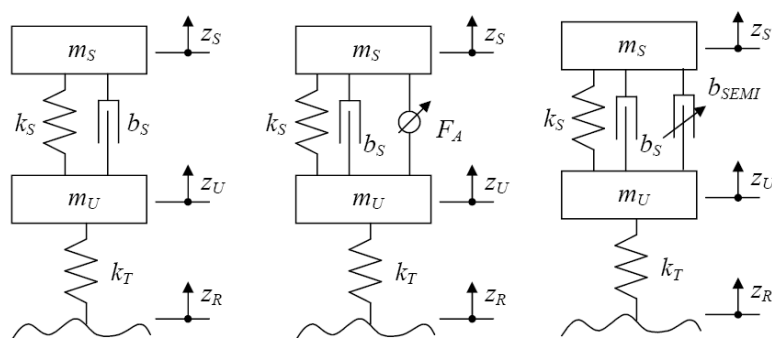
Automobilové tlumiče jsou jedním z důležitých komponent dnešních vozidel. Správné nalažené tlumení má velký vliv na jízdní pohodlí a tím i na bezpečnost jízdy při dlouhé expozici. Jak ukazuje celá řada studií kmitání (nejen vozidel) má významný vliv na obsluhu a v extrémním případě může znamenat i vážné poškození zdraví.

Nejčastěji používané běžné tzv. pasivní tlumiče jsou nalaženy na nejčastěji používané jízdní režimy, v ostatních situacích však nefungují optimálně. Je tedy vhodné uvažovat o tlumičích s nastavitelnými vlastnostmi, popř. o tlumičích s možností nastavení vlastností v průběhu jízdy, event. o tlumičích, které kompenzují kmitání generováním protisíly, tj. působením aktuátoru.

Různé publikované studie ukazují, že v běžných tlumičích běžného osobního automobilu se maří (v závislosti na dalších faktorech) cca. 100-1600W. Studie dále ukazují, že cca. 10% této energie by mohlo být rekuperováno. Toto zdánlivě malé množství rekuperované energie může nabývat většího významu při využití v elektromobilech nebo vozidlech s hybridním pohonem.

2 Modelování tlumičů vozidel

Svislé kmitání vozidel je modelováno různými způsoby, např. model čtvrtiny, poloviny nebo celého vozidla. Obrázek 1. ukazuje model čtvrtiny vozidla pro pasivní, semiaktivní a aktivní odpružení.

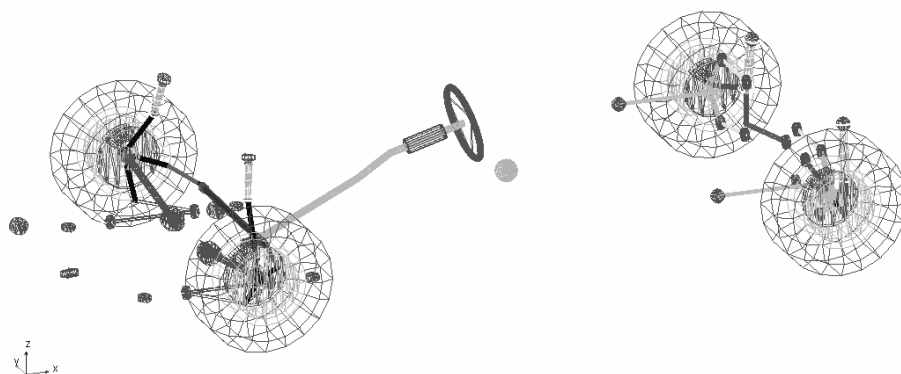


Obrázek 1: Model čtvrtiny vozidla, zleva pasivní, aktivní a semiaktivní tlumič

Hlavní rozdíl mezi pasivním, semiaktivním a aktivním tlumením spočívá ve formě energie, která do systému vstupuje. Tradiční pasivní tlumič maří energii tím, že ji přemění na teplo, které se odvede do okolí. Semiaktivní tlumiče využívají externí zdroj energie k nastavení nebo změně vlastností tlumiče. Množství energie k tomu potřebné je ale malé ve srovnání s energií mařenou v tlumičích. Aktivní strategie spočívá v přivádění energie srovnatelné s energií kmitajícího vozidla do aktuátoru, který působí proti směru pohybu.

Přestože je model čtvrtiny vozidla velmi jednoduchý, poskytuje značné množství informací. Pro komplexnější studie je potřeba uvažovat modely složitější, např. různě detailní modely celého vozidla. Složitost modelu mj. závisí i na způsobu použití modelu (offline nebo realtime simulace, apod.).

Jeden z komerčních systémů, používaných pro modelování celého vozidla je ADAMS/Car. Model zahrnuje celou řadu parametrů, jako např. modely pneumatik a kontaktu s vozovkou, kinematika celého podvozku, model pohonu včetně převodových mechanismů, modely chování řidiče, apod.



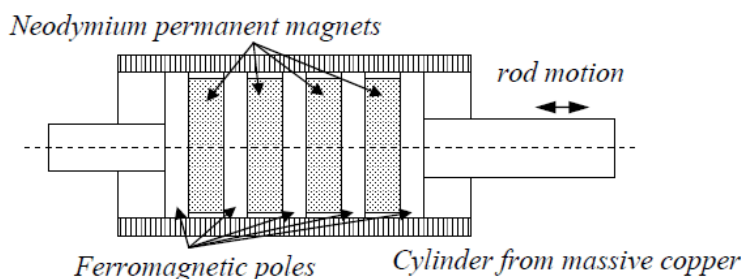
Obrázek 2: Grafické zobrazení modelu celého vozidla v ADAMS/Car

Modely celého vozidla v ADAMSu není možné provozovat v aplikacích v reálném čase z důvodu jejich příliš velké komplexnosti. Nicméně model je možné převést pomocí různých utilit do Simulinku (např. CarRealTime od VI-grade) a zjednodušený model pak zkompilovat a provozovat na realtime simulátoru.

Výše zmíněné modely jsou používány pro simulaci vozidel s různými typy tlumičů, jak komerčními (např. magneto-rheologické tlumiče z Audi TT, DCC tlumiče z VW Passat, apod.), tak tlumiči experimentálními - viz níže.

3 EM pasivní tlumič

EM pasivní tlumič se skládá z pohyblivé části na které jsou vhodným způsobem umístěny permanentní magnety (popř. ferromagnetické kroužky fungující jako póly) a stojící části, která je tvořena masivním tubusem z mědi (popř. jiného materiálu s dobrou elektrickou vodivostí). Schéma tlumiče a fotografie testovacího vzorku je uvedena na obrázku 1.



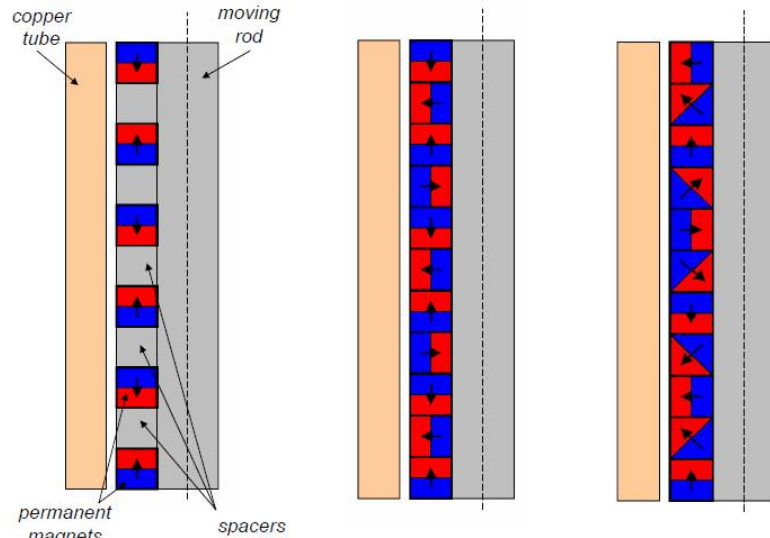
Obrázek 3: Schéma EM pasivního tlumiče a fotografie testovacího vzorku

Tlumicí efekt je vyvolán vířivými proudy, které se při pohybu tlumiče vytvoří v měděném tubusu. Návrhové parametry tlumiče jsou veličiny jako materiál a rozměry permanentních magnetů, rozměry distančních vložek – pólů, rozměry měděného tubusu (především jeho tloušťka), velikost vzduchové mezery, apod.

V procesu návrhu prototypového tlumiče bylo využito možnosti modelovat magnetické pole permanentních magnetů pomocí MKP. Byl využit jednak Comsol Multiphysics, modul AC/DC,

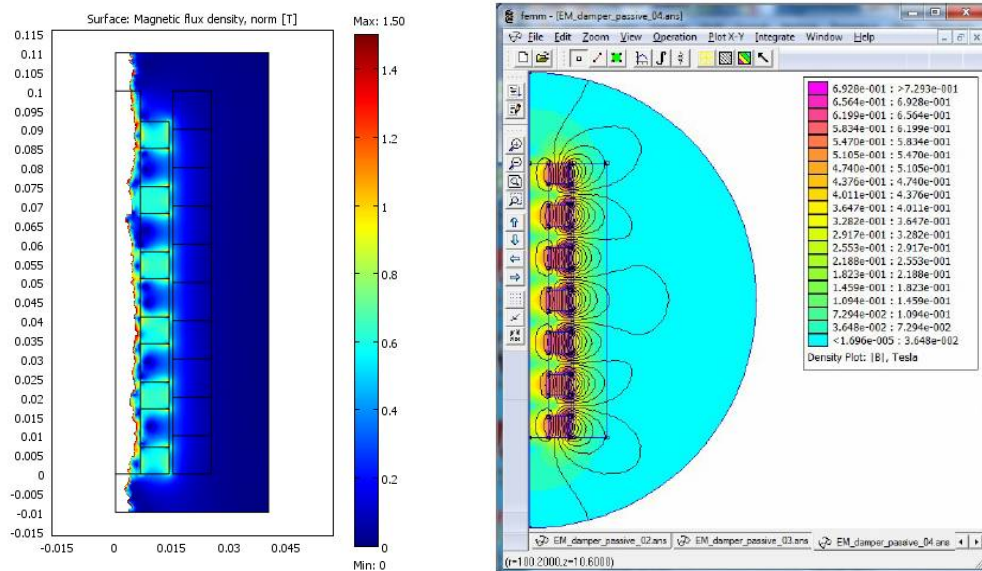
jednak open source systém FEMM. Pozornost byla věnována zejména vyhodnocení několika variant uspořádání permanentních magnetů a ferromagnetických pólů (vhodná orientace magnetického pole, počet magnetů, geometrické veličiny, apod.).

Zkoumané varianty jsou zjednodušeně uvedeny na obrázku č.4



Obrázek 4: Varianty uspořádání permanentních magnetů – zleva varianta 1, 2 a 3

Zkoumané varianty uspořádání magnetů zahrnují několik kombinací axiální, radiální a radiálně-axiální orientace magnetického pole. Varianta obr.4 vlevo obsahuje pouze axiálně magnetizované disky permanentních magnetů ze vzácných zemin (NdFeB) se střídavou orientací polarity, proložené disky z ferromagnetického materiálu. Varianta obr.4 uprostřed kombinuje magnetické kotouče s radiální a axiální orientací pole. Varianta obr.4 vpravo je inspirována myšlenkou tzv. Hallbachova pole. Kombinuje axiální, radiální a radiálně-axiální orientaci magnetického pole permanentních magnetů.

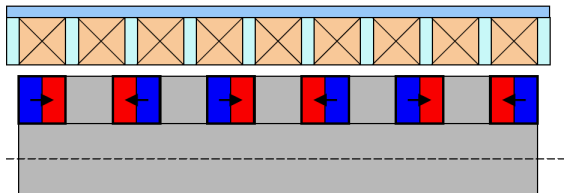


Obrázek 5: Vizualizace magnetického pole pro variantu 1 (obr.4 vlevo) v Comsol Multiphysics a v FEMM

Po vyhodnocení variant se jako nejlepší z pohledu magnetického pole v mezeře ukázala nejkomplicovanější varianta obr.4 vpravo. Rozdíly variant, řádově v desítkách procent (magnetický tok v mezeře), ale nedokáží kompenzovat rozdíly ve složitosti a ekonomické náročnosti jednotlivých řešení. Proto byla pro výsledný návrh vybrána varianta 1 (vlevo – nejjednodušší) - viz obr.3.

4 Aktivní, adaptivní tlumič

Modifikovaný návrh tlumiče nahrazuje masivní měděný tubus vinutím. Tlumič je pak uspořádán podobně jako tubulární lineární motor, což umožní jednak měnit v jistém rozsahu charakteristiku tlumícího prvku a vytvořit tak nastavitelný tlumič, jednak využít tlumič jako aktuátor a pokusit se využít techniky aktivního tlumení, jednak využít tlumič jako generátor a studovat možnosti rekuperace energie, která je jinak obvykle přeměněna na teplo a zmařena.

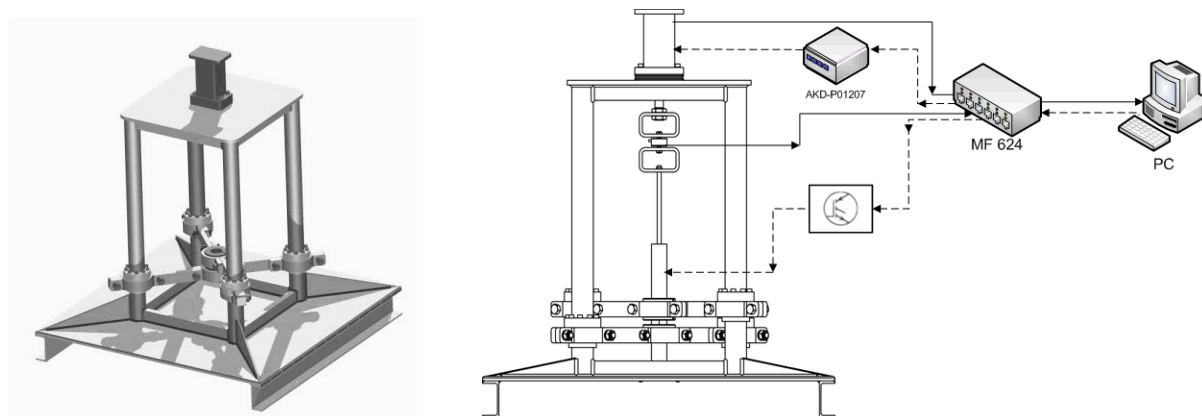


Obrázek 6: Aktivní, adaptivní EM tlumič

Tato varianta je ve vývoji a ještě nebyla simulována. Návrh pohyblivé části vychází z pasivního tlumiče, stator bude tvořen vinutím.

5 Testovací zařízení

Zjišťování charakteristik tlumičů jednak pro modely uvedené v kap.2, jednak pro ověřování funkce prototypů je velmi důležitým krokem. Pro tyto účely bylo navrženo a vyrobeno testovací zařízení pro testování automobilových tlumičů. Viz obrázek 7.



Obrázek 7: Testovací zařízení pro automobilové tlumiče

Zařízení se skládá z mechanické části tvořené rámem se čtyřmi sloupy. Testovaný tlumič se upíná pomocí ramen uvnitř rámu. Pohyb tlumiče zajišťuje lineární motor, umístěný v horní části zařízení. Mezi motorem a tlumičem je umístěna silová buňka pro zjišťování zatížení. Parametry pohonu jsou navrženy tak, aby bylo možné testovat běžné automobilové tlumiče. Maximální axiální síla je 5kN. Zařízení umožňuje řízení rychlosti v širokém rozsahu.

Řídicí část experimentu je tvořena PC z převodníkovou kartou MF624 a se SW MATLAB a několika toolboxy. Pomocí MATLABu je možné jednak nastavovat podmínky experimentu (nastavování pohybu motoru), jednak měřit sílu ze silové buňky a výchylku z inkrementálních čidel na motoru, jednak je možné nastavovat parametry zkoumaného tlumiče, popř. vyhodnocovat další veličiny.

Zařízení může být využito jednak jako testovací pro zjišťování charakteristik tlumičů, jednak jako simulátor jízdních podmínek.

6 Závěr

Příspěvek má za cíl informovat o možnostech využití MATLAB, Simulinku a Comsol Multiphysics (a dalšího SW) v procesu modelování kmitání, návrhu tlumičů a jejich testování. Jsou stručně popsány modely kmitání vozidel, návrh elektromagnetického tlumiče a zařízení pro testování tlumičů, kde jsou výše zmíněné nástroje využívány.

References

- [1] Guglielmino, E.; Sireteanu, T.; Stammers, C.W.; Ghita G. & Giuclea, M. (2008). *Semi-active Suspension Control*, ISBN 978-1-84800-230-2, Springer, London
- [2] Savaresi, S.M.; Poussot-Vassal, C.; Spelta, C.; Sename, O. & Dugard, L. (2010). *Semi-active Suspension Control Design for Vehicles*, ISBN 978-0-08-096678-6, Elsevier Ltd.
- [3] Rajesh Rajamani (2006). *Vehicle Dynamics and Control*, ISBN 0-387-26396-9, Springer, New York
- [4] Fijalkowski, B.T. (2011). *Automotive Mechatronics: Operational and Practical Issues, Vol.II*, ISBN 978-94-007-1182-2, Springer, New York
- [5] Dixon, J.C. (2007). *The Shock Absorber Handbook*, Second Edition, ISBN 978-0-7680-1843-1, John Wiley & Sons, Chichester, England
- [6] Slípka, F. (2012). *Active systems in vehicle chassis*. Diploma thesis, UWB Pilsen, Czech Republic (in Czech)
- [7] Babak Ebrahimi (2009). *Development of Hybrid Electromagnetic Dampers for Vehicle Suspension Systems*. Doctoral dissertation, University of Waterloo, Ontario, Canada
- [8] Pei Sheng Zhang (2010). *Design of Electromagnetic Shock Absorbers for Energy Harvesting from Vehicle Suspensions*. Master Thesis, Stony Brook University, NY, US
- [9] Zhu S, Shen WA and Xu YL (2012) *Linear electromagnetic devices for vibration damping and energy harvesting: modeling and testing*. Engineering Structures. 34: 198-212
- [10] Mustapha Zaouia et al (2014). *2D-FEM Modeling of an Electromagnetic Energy Recovery Damper for Vehicle Applications*. International Journal on Electrical Engineering and Informatics, Volume 6, Number 1: 93-106

Roman Čermák

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Univerzitní 8, 30614 Plzeň, Czech Republic

email: rcermak@kks.zcu.cz