

Prilog istraživanju sila prigušenja u klasičnim amortizerima

MIROSLAV D. DEMIĆ, Akademija inženjerskih nauka Srbije, Beograd
GIOVANNI BELINGARDI, Politecnico di Torino, Torino, Italy

Originalni naučni rad
UDC: 629.3.027.3
DOI: 10.5937/tehnika1802232D

Amortizeri su fundamentalni deo sistema elastičnog oslanjanja motornih vozila. Kao što je poznato, sistem za oslanjanje omogućava stabilno upravljanje vozila, kao i dobru oscilatornu udobnost. Osnovni zahtev je da se tokom kretanja, svi točkovi nalaze u kontaktu sa tlom a oscilacije vozila treba da budu takve da su što prihvatljivije za korisnike vozila. Prilikom projektovanja vozila, pažnja se posvećuje pravilnom izboru strukture sistema za oslanjanje, krutosti opruga (uključujući stabilizatore) i prigušenja u amortizerima. U ovom radu će biti predstavljeni rezultati uticaja kinematičkih veličina (relativno: pomeranje, brzina i ubrzanje) na silu koja se javlja u amortizeru. Eksperimentalni rezultati su dobijeni na osnovu ispitivanja tri vrste klasičnih amortizera proizvodnje Manjeti Mareli - Torino, pod uticajem slučajnih pobuda. Da bi se utvrdio nivo uticaja pojedinih kinematičkih parametara na sile, korišćena je teorija parcijalnih funkcija koherenci.

Ključne reči: vozilo, amortizer, sila, funkcije parcijalnih koherenci

1. UVOD

Sistem za oslanjanje ima zadatak da obezbedi zadovoljavajuće parametre upravljivosti, oscilatorne udobnosti i kočenja vozila [1-5]. To zahteva pouzdan kontakt točkova i tla tokom kretanja vozila [1-5]. Istovremeno, sistem za oslanjanje treba da obezbedi da vibracije koje potiču od mikroprofila puta, pogonske grupe, kao i od aerodinamičkih sila budu što prihvatljivije za korisnike vozila [5].

Tokom projektovanja vozila se mora posvetiti značajna pažnja izboru parametara sistema za oslanjanje. Napominje se da je amortizer jedan od najkompleksnijih elemenata sistema za oslanjanje vozila [6]. U opštem slučaju on predstavlja nelinearan sistem sa veoma složenom strukturom (strujnje ulja, gasa i sl). U praksi se njegove karakteristike najčešće iskazuju dijagramima: sila – relativno pomeranje, sila - relativna brzina i sila - relativno ubrzanje [6]. Ukazuje se na činjenicu da se sila u amortizeru menja tokom eksploatacije, usled uticaja toplote koja se dobija pretvaranjem kinetičke energije u mehanički rad i degradacije njegovih karakteristika...

Da bi se istražio uticaj relativnog pomeranja, relativne brzine i relativnog ubrzanja na silu u amortizeru,

Adresa autora: Miroslav Demić, Akademija inženjerskih nauka, Beograd, Kraljice Marije 16
e-mail: demic@kg.ac.rs
Rad primljen: 09.10.2017.
Rad prihvaćen: 01.02.2018.

izvršena su eksperimentalna istraživanja u firmi Manjeti-Marelli iz Torina [6]. Eksperimentalni podaci su dobijeni ispitivanjem tri vrste klasičnih amortizera iz proizvodnog programa Manjeti-Marelli, pod dejstvom slučajnih oscilatornih pobuda ispitnog stola, čija je efektivna vrednost pobude bila 5 i 10 mm [6] (u daljem tekstu označenih slovima A, B i C).

Radi utvrđivanja nivoa uticaja pojedinačnih kinematičkih veličina, korišćena je teorija funkcija parcijalnih koherenci [7-9].

2. EKSPERIMENT

Merenja su vršena na MTS mašini za ispitivanje amortizera, koja je posedovala mogućnost generisanja slučajnih pobuda [6]. Tokom merenja, sila i relativno pomeranje su registrovani na pomenutoj mašini i memorisani uz korišćenje PC.

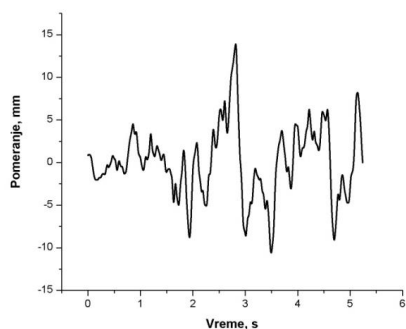
Ubrzanja klipnjače i tela amortizera su registrovana pretvaračima ubrzanja Bruel&Kjajer, a relativno ubrzanje je izraženo njihovom razlikom.

Relativna brzina je izračunata na dva načina: integracijom relativnog ubrzanja i diferenciranjem relativnog pomeranja. U konkretnom slučaju su oba pristupa bila zastupljena, a dobijeni rezultati su imali zane-marljiva odstupanja [6].

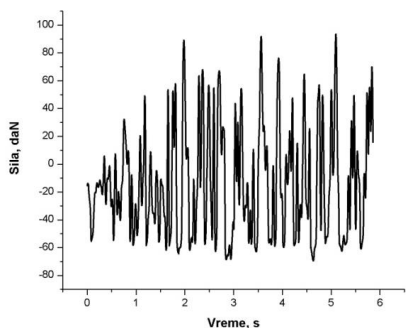
Tokom ispitivanja, amortizerima su skinuti gumeni elementi [6]. Ispitivanja su vršena sa slučajnim pobudama čije su efektivne vrednosti bile 5 i 10, mm, u intervalu učestanosti 0.1 do 20, Hz. Tokom eksperimenta, korak diskretizacije je bio 0.00195 s, a sile su

registrovane u 30.722 tačke, što je omogućilo dobijanje pouzdanih rezultata u intervalu $1,6929 \cdot 10^{-4}$ do oko 250 Hz [8, 9]. Pri tome je „bias“ greška -0.02, slučajna greška analize spektara 0.1, a slučajna greška izračunavanja krosspektara 0.118 [7-9]. Te vrednosti su zadovoljavajuće kada se ima u vidu cilj realizovanih istraživanja [5].

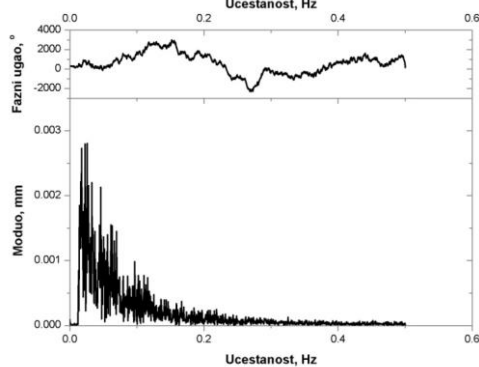
Radi ilustracije, na slici 1 je prikazan karakter pobude za efektivnu amplitudu od 10 mm, na slici 2 vremenska serija sile za efektivnu amplitudu od 5 mm i amortizer A, a na slici 3 spektar amplituda i fazni ugao za amortizer A i pobudu sa efektivnom amplitudom od 10 mm. Sa pomenutih slika se jasno uočava slučajni karakter registrovanih veličina, pri čemu spektar amplituda ima najveće vrednosti pri nižim učestanostima.



Slika 1 - Karakter pobude za efektivnu amplitudu od 10 mm

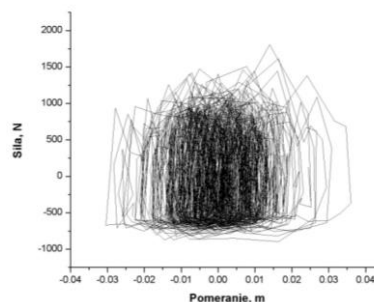


Slika 2 - Vremenska serija za efektivnu amplitudu od 5 mm i amortizer A

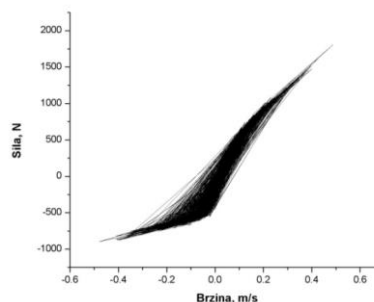


Slika 3 - Spektar amplituda pobude za efektivnu amplitudu od 10 mm i amortizer A

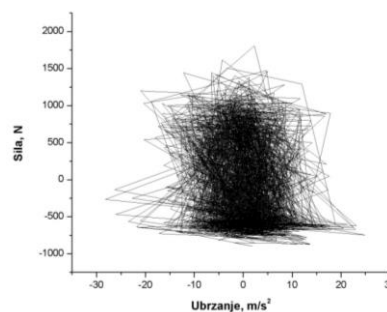
Istraživanja [10-16] su pokazala da na silu u amortizeru utiče relativno pomeranje, relativna brzina, kao i relativno ubrzanje. Zbog toga su na slikama 4-6 prikazane, radi ilustracije, zavisnosti sile u amortizerima od pomeranja, brzine i ubrzanja (ilustrovano za amortizer A, i pobudu sa efektivnom amplitudom od 10 mm).



Slika 4 - Zavisnost sile od relativnog pomeranja za amortizer A i za efektivnu amplitudu od 10, mm



Slika 5 - Zavisnost sile od relativne brzine za amortizer A i za efektivnu amplitudu od 10 mm

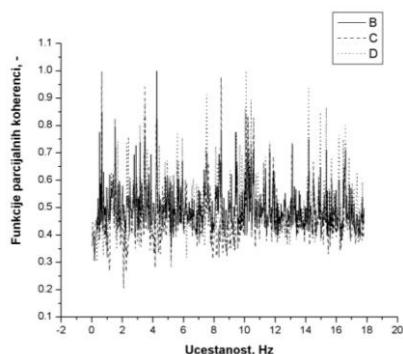


Slika 6 - Zavisnost sile od relativnog ubrzanja za amortizer A i za efektivnu amplitudu od 10 mm

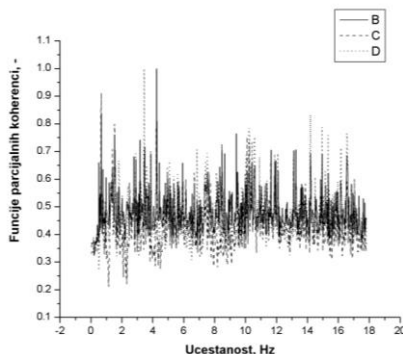
3. ANALIZA REZULTATA

Imajući u vidu da sila u amortizeru zavisi od relativnih vrednosti pomeranja, brzine i ubrzanja, ocenjeno je celishodnim da se istraži koja od ovih veličina ima najveći uticaj. U te svrhe su korišćene funkcije parcijalnih koherenci, čija je teorija poznata iz [8, 9], pa o tome neće biti više reči. Primenom softvera DEMPARCOH [17], izračunate su parcijalne funkcije koherenci za dva nivoa pobude (efektivne amplitude od 5 i 10 mm) i sva tri tipa ispitanih amortizera (A, B i

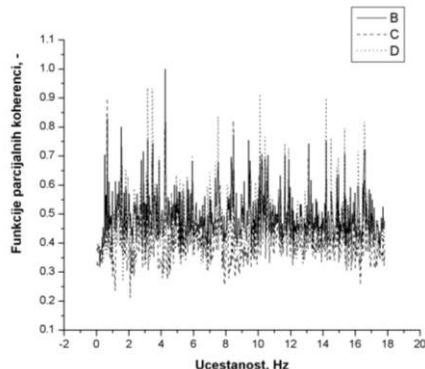
C). Dobijeni rezultati su delimično prikazani na slikama 7-9.



Slika 7 - Parcijalne funkcije koherenci za amortizer A i efektivnu amplitudu od 10 mm (B-relativno pomeranje, C-relativna brzina sa isključenim uticajem relativnog pomeranja, D-relativno ubrzanje, sa isključenim uticajem relativne brzine i relativnog pomeranja)



Slika 8 - Parcijalne funkcije koherenci za amortizer B i efektivnu amplitudu od 5 mm (B-relativno pomeranje, C-relativna brzina sa isključenim uticajem relativnog pomeranja, D-relativno ubrzanje, sa isključenim uticajem relativne brzine i relativnog pomeranja)



Slika 9 - Parcijalne funkcije koherenci za amortizer C i efektivnu amplitudu od 10 mm (B-relativno pomeranje, C-relativna brzina sa isključenim uticajem relativnog pomeranja, D-relativno ubrzanje, sa isključenim uticajem relativne brzine i relativnog pomeranja)

Analizom podataka svih funkcija parcijalnih koherenci, koje su delimično prikazane na slikama 7-9, može se utvrditi da se njihov karakter slučajno menja u zavisnosti od učestanosti, i da zavise od tipa ispitnog amortizera, kao i od relativnih vrednosti pomeranja, brzine i ubrzanja. Kako grafici na prikazanim slikama nisu pregledni, radi detaljnije analize je ocenjeno celishodnim da se izračunaju minimalne, maksimalne i efektivne vrednosti svih izračunatih vrednosti funkcija parcijalnih koherenci. To je učinjeno uz korišćenje programa ANALSIGDEM [18], a rezultati prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. Karakteristične vrednosti parcijalnih funkcija koherenci

Tip amortizera i amplituda pobude, mm	Ef. vredn, -	Min, -	Max, -
A:Ef. vr. 10-Pomeranje	0.504	0.306	1.00
Brzina	0.473	0.205	1.00
Ubrzanje	0.513	0.282	1.00
A: Ef. vr. 5-Pomeranje	0.508	0.309	1.00
Brzina	0.455	0.211	1.00
Ubrzanje	0.513	0.310	1.00
B: Ef. vr. 10- omeranje	0.499	0.329	1.00
Brzina	0.468	0.219	1.00
Ubrzanje	0.552	0.322	1.00
B: Ef. vr. 5-Pomeranje	0.491	0.323	1.00
Brzina	0.436	0.211	1.00
Ubrzanje	0.476	0.270	1.00
C: Ef. vr. 10- omeranje	0.500	0.330	1.00
Brzina	0.421	0.212	1.00
Ubrzanje	0.479	0.268	1.00
C: Ef. vr. 5-Pomeranje	0.457	0.319	1.00
Brzina	0.415	0.200	1.00
Ubrzanje	0.456	0.281	1.00

Na osnovu analize podataka iz tabele 1. može se utvrditi da je minimalna vrednost izračunatih funkcija parcijalnih koherenci za oba nivoa pobude (A-0.205, B-0.211, C-0.200), a maksimalna vrednost u sva tri slučaja jednaka jedinici. Imajući u vidu ove vrednosti, očigledno je da postoji zavisnost između sile u amortizeru i kinematičkih parametara pobude (relativno: pomeranje, brzina i ubrzanje) [8, 9].

Uticao posmatranih kinematičkih parametara se može, preciznije, sagledati analizom efektivnih vrednosti izračunatih parcijalnih funkcija koherenci iz tabele 1. Očigledno je da su one najveće kod amortizera A za relativno ubrzanje. U slučaju amortizera B su najveće za relativno ubrzanje - amplitudu 10, a za amplitudu 5 - relativno pomeranje, a kod amortizera C je za oba nivoa pobude najveći uticaj relativnog

pomeranja. Međutim, treba ukazati i na činjenicu da te razlike, najčešće, nisu velike...

Ove činjenice ukazuju na to da kinematički parametri pobude (relativno: pomeranje, brzina, ubrzanje) utiču na veličinu sile u amortizeru. Međutim rang uticaja nije uvek jednoznačan kod svih tipova ispitanih amortizera. U nekim slučajevima je najveći uticaj relativnog pomeranja, a u nekim relativnog ubrzanja, uz neznatno manji uticaj relativne brzine. Ovo, donekle, menja naša saznanja o uticajnim parametrima na silu u amortizeru [10, 15, 16], ali se napominje da ne postoje pouzdanija istraživanja o nivou uticaja kinematičkih parametara na sile koje se u njemu javljaju. Treba ukazati i na činjenicu da su u ovom radu korišćene funkcije parcijalnih koherenci koje predstavljaju rezultat višestrukog (2048) usrednjavanja ulaznih podataka tokom izračunavanja spektara [8,9], dok pri istraživanjima u vremenskom domenu ta usrednjavanja ne postoje. Imajući to u vidu, normalno je očekivanje da se pojave razlike u dobijenim podacima...

Zbog toga se pri modeliranju sile metodom „crne kutije“ moraju uzeti u obzir sve tri kinematičke veličine [11-13], posebno zbog činjenice da je u većini dosadašnjih istraživanja prioritet dat uticaju relativne brzine.

4. ZAKLJUČAK

Realizovana istraživanja su omogućila da se utvrdi da sile u amortizerima zavise od tri kinematičke veličine relativnog: pomeranja, brzine i ubrzanja. Istraživanja zasnovana na metodi funkcija parcijalnih koherenci su omogućila da se utvrdi da ne postoji jednoznačan uticaj pomenutih parametara na silu u amortizeru. Zbog toga se pri modeliranju sile metodom „crne kutije“ moraju posmatrati sve tri kinematičke veličine.

LITERATURA

- [1] Genta, G. *Motor Vehicle Dynamics*, Verlag, 2003.
- [2] Gillespie T *Fundamental of Vehicle Dynamics*, SAE, 1992.
- [3] Mitschke M, *Dynamik der Kraftfahrzeuge*, Springer, 1973.
- [4] Rotenberg V, *Vehicle suspension*, Mašinstrojenje. Moscow (in Russian), 1972.
- [5] Simić D, *Dinamika motornih vozila*, Naučna knjiga, Beograd, 1988.
- [6] Magneti Marelli Torino, *Informacije*, 2010.
- [7] Bendat J. S, *Nonlinear Systems-Techniques and Applications*. John Wiley and Sons, London, 1998.
- [8] Bendat J. S, Piersol A.G, *Random Data Analysis and Measurement Procedures*, John Wiley and Sons, London, 2000.
- [9] Bendat J. S, Piersol, A. G, *Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis*, John Wiley and Sons, London, 1980.
- [10] Audenino A, Belingardi G, Garibaldi L, An application of the restoring force mapping method for the diagnostic of vehicular shock absorbers dynamic behaviour. *Proc. of the 2nd Int. Machinery monitoring and diagnostic conference & exhibition*, LA, pp. 560-566, 1990.
- [11] Belingardi G, Demić M. A, Contribution to shock absorber modelling by using “Black Box” method, *University of Pitesti, Romania, Scientific Bulletin, Automotive series XV*, No 19, Vol B, pp. 1-15, 2009.
- [12] Belingardi G, Demić M, A possibility for shock absorber modeling by using “black box” method, *Journal of Applied Engineering Science*. Vol 7, No4, pp. 45-53, 2009.
- [13] Demić M, Belingardi G. A, contribution to shock absorber modelling and analysis of their influence on vehicle ride characteristics, *Journal of Middle European Construction and Design of Cars (MECCA)*, No1, pp. 6-17, 2011.
- [14] Gardulski J, Warczek J, Investigation of forces in frictional kinematic pairs to assess their influence on shock absorber characteristics, *Transport problems*, Tom 3 pp. 19-24, 2008.
- [15] Lee C. T, Moon B. Y, Simulation and experimental validation of vehicle dynamic characteristics for displacement sensitive shock absorber using fluid-flow modelling, *Mechanical Systems and signal processing*, Vol. 20, pp. 373-388, 2006.
- [16] Ping Y, Experimental and mathematical evaluation of dynamic behaviour of an oil-air coupling shock absorber, *Mechanical Systems and signal processing*, Vol 17, pp. 1367-1379, 2003.
- [17] Demić M, “DEMPARCOH” Software for partial coherence function calculation [dostupno na, www.ptt.rs/korisnici/i/m/imizm034/], 2003.
- [18] Demić M, “ANALSIGDEM” – Software for signal analysis, [dostupno na, www.ptt.rs/korisnici/i/m/imizm034/], 2003.

SUMMARY

A CONTRIBUTION TO INVESTIGATION OF THE DAMPING FORCES IN CLASSICAL SHOCK ABSORBERS

Shock absorbers are fundamental part of the vehicle suspension. Suspensions are needed to guarantee vehicle handling, passenger riding comfort and braking. Bearing that in mind, the tire-road contact forces need to be as stable as possible. Each wheel should always remain in contact with the ground. Comfort means that vibrations, induced by road profile during riding, are of a minimal nuisance to the passengers. When designing a new vehicle, a lot of development effort is focused on the optimal choice of the suspension parameters, stiffness (including stabilisers) and damping.

In this paper will be presented the results of influence of the cinematic parameters (relative: displacement, velocity and acceleration) to the force that occurs in the shock absorber. The experimental results are obtained by testing of three types of classic shock absorbers from the production of Magnety-Marelli - Turin, under the influence of random excitation. To determine the level of influence of individual cinematic parameters, the theory of the partial coherence functions was used.

Key words: *Vehicle, Shock absorber, Forces, Partial Coherence Function*