



IDENTIFICATION OF GLOBAL CHARACTERISTIC OF DAMPER

Radek VOTRUBEC, Jan ŠKLÍBA

***Summary:** In the paper there is projected a new method of an identification of a damper force. This method will be a global characteristic that expresses a damper force as a function of a velocity and an acceleration of the relative motion of a piston rod and working cylinder – instead of so called velocity characteristics with a hysteresis loop, that depends on a frequency.*

1. Úvod

V práci [2] s odvoláním na [1] je identifikována inerciální složka síly hydraulického tlumiče způsobující hysterezi rychlostní charakteristiky. Primární složka závisí na relativní rychlosti pístnice a pracovního válce a je vytvářena průtokem pracovní kapaliny tlumiče hydraulickými odpory (kalibrované otvory stálého průtoku a proměnné škrťací štěrby výkonových ventilů). Sekundární, inerciální složka závisí na zrychlení kapaliny v přívodních kanálech ke škrťacím elementům tlumiče a na časové změně hybnosti sloupců kapaliny v pracovních prostorách tlumiče. Při přesnější identifikaci síly hydraulického tlumiče je nutné respektovat obě složky a sílu vyjádřit jako funkci rychlosti a zrychlení relativního pohybu pístnice a pracovního válce, tedy

$$F = F_p(\dot{x}, \ddot{x}) \quad (1)$$

Ve [2] je tato charakteristika nazvána prostorovou charakteristikou tlumiče na rozdíl od rychlostní charakteristiky

$$F = F_R(\dot{x}) \quad (2)$$

na níž je možno druhou složku tušit z faktu, že tato závislost není jednoznačná, ale doprovázena hysterezní smyčkou. Uvedme, že v naší literatuře nemáme pro (1) vyjádření a zdá se, že vhodnějším názvem bude globální (celková, výsledná) charakteristika tlumiče.

Prof. RNDr. Jan Šklíba CSc., TU v Liberci, Hájkova 6, 461 17 Liberec 1, +42 048 535 4131 ,
jan.skliba@vslib.cz

Ing. Radek Votrubec, TU v Liberci, Hájkova 6, 461 17 Liberec 1, +42 048 535 3287,
radek.votrubec@vslib.cz

2. MODELOVÁNÍ GLOBÁLNÍ CHARAKTERISTIKY

V podstatě jsou možné dva způsoby:

- 1) první, vycházející z matematického modelu tlumiče se třemi tlaky, [3], [6], s dodatečným výpočtem inerciální složky podle [2].
- 2) druhý, vycházející z matematického modelu tlumiče se sedmi tlaky, stanovující výslednou sílu tlumiče včetně inerciální složky přímo [4].

Zde je třeba zdůraznit, že oba modely jsou značně složité, první představuje systém diferenciálních rovnic 11. řádu, druhý 19. řádu; oba doplněné systémem algebraických rovnic, vyjadřujících závislosti součinitelů průtoku škrtícími elementy na Reynoldsově čísla. A právě k získání těchto závislostí je nutné provést velmi náročné a drahé experimenty, vyžadující konstrukci speciálních měrných zařízení s miniaturními čidly tlaku a zdvihu.

3. KONSTRUKCE GLOBÁLNÍ CHARAKTERISTIKY Z EXPERIMENTU PROVEDENÉM NA MECHANICKÉM ZKUŠEBNÍM STAVU

V [2] je popsána tato konstrukce získaná z měření na mechanickém zkušebním stavu s kulisovým mechanismem, takže harmonický průběh zdvihu, rychlosti a zrychlení byl principiálně zaručen a vzájemné přiřazení $x(t)$ $\dot{x}(t)$ $\ddot{x}(t)$ bylo jednoznačné a stačilo tedy znát průběh $x(t)$ a zbývající veličiny určit početně. Zvolenému harmonickému pohybu s amplitudou A a frekvencí ω odpovídala ve fázové rovině $\dot{x}$ $\ddot{x}$ elipsa. Každému bodu elipsy byla přiřazena změřená hodnota F ; příslušná křivka tvořená body $[\dot{x}(t), \ddot{x}(t), F(\dot{x}(t), \ddot{x}(t))]$ odpovídající zvoleným parametrům harmonického kmitu A, ω bude ležet na globální charakteristice. Při alternování hodnot A, ω bylo možno vytvořit dostatečně hustou síť prostorových křivek a proložit jimi příslušnou plochu.

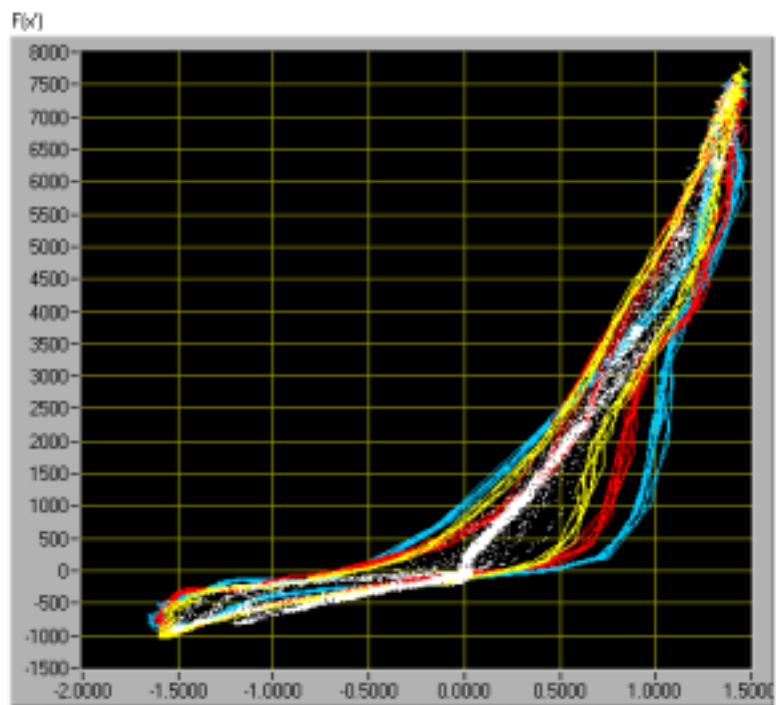
Průsečnicí globální charakteristiky s rovinou $\ddot{x} = 0$ získáme křivku, kterou nazýváme statickou rychlostní charakteristikou, a která je geometrickým místem $[\dot{x}_{\max}, F(\dot{x}, 0)]$, tedy sil, změřených při maximální rychlosti. Statická rychlostní charakteristika je základní charakteristikou tlumiče a její průběh je výrobcem podle příslušné normy zaručen.

4. KONSTRUKCE GLOBÁLNÍ CHARAKTERISTIKY Z EXPERIMENTU PROVEDENÉM NA ELEKTRO-HYDRAULICKÉM PULZÁTORU

Elektrohydraulický pulzátor nezaručuje stoprocentní dodržení "harmoničnosti" signálu. V takovém případě jsme nuceni v každém okamžiku snímat hodnoty $x(t)$, $\ddot{x}(t)$, $F(t)$ a $\dot{x}(t)$ stanovit integrací zrychlení nebo derivací zdvihu, samozřejmě při jejich náležitém ošetření.

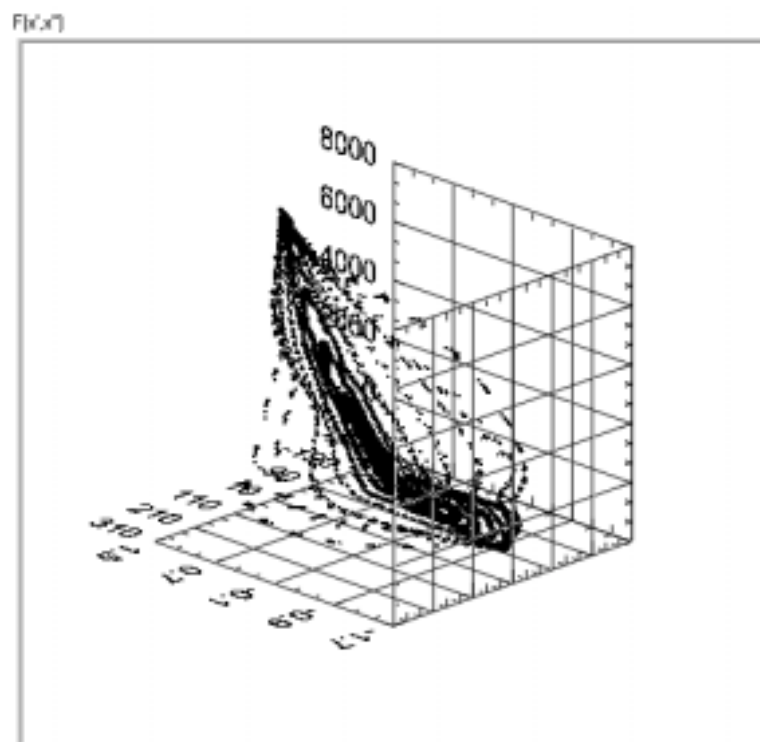
Na druhé straně můžeme využít možností, které elektrohydraulický pulzátor má - a sice realizovat trojúhelníkový kmit (s konstantní rychlostí) a parabolický kmit (s konstantním zrychlením), případně kvaziharmonický signál s pomalu se měnící amplitudou a frekvencí tak, aby jejich součin zůstal konstantní (a tedy s konstantní amplitudou rychlosti).

Na obr.1 je naměřená závislost síly na rychlosti při sinusovém signálu se zvyšující se rychlostí. Malé frekvenci odpovídá zřetelně se rýsující bílá jednoduchá rychlostní charakteristika. Pro frekvence vyšší se objevuje zmiňovaná hystereze.



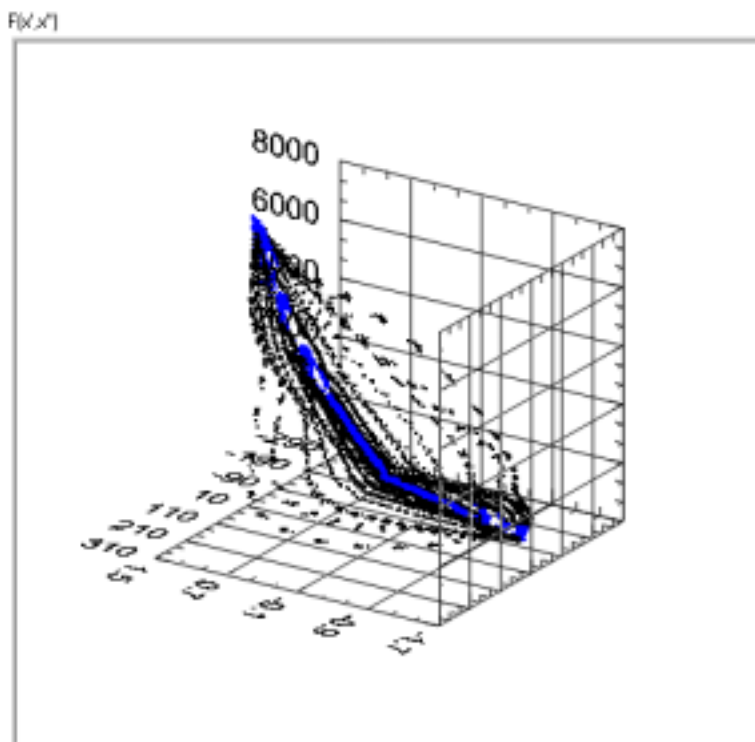
Obr.1 Rychlostní charakteristika tlumiče s hysterezí

Vyneseme-li naměřenou sílu v závislosti na rychlosti a zrychlení dostaneme prostorový útvar na obr.2.

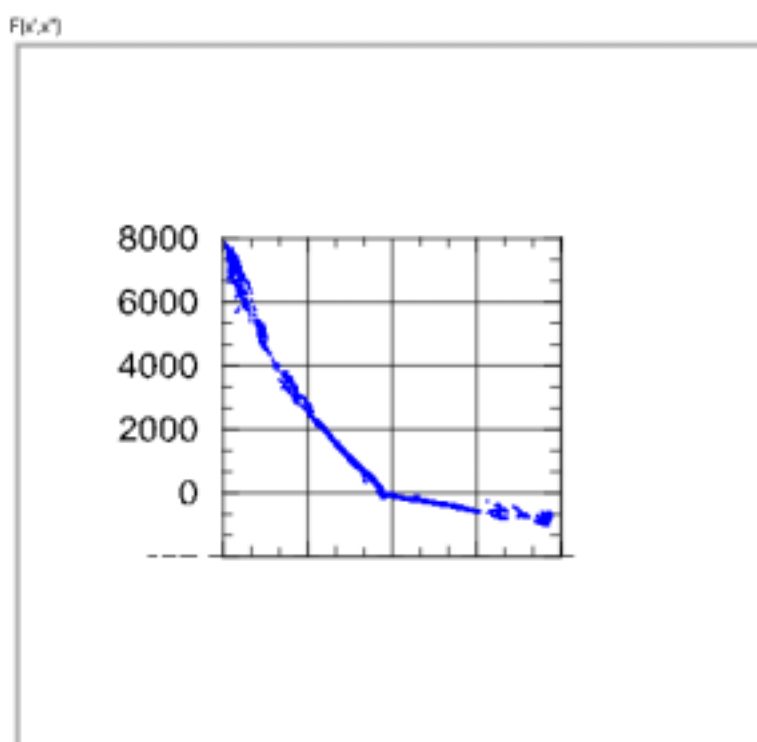


Obr.2 Síla v závislosti na rychlosti a zrychlení

Pro nulové zrychlení musíme dostat statickou rychlostní charakteristiku. Na obr.3 jsou zvýrazněna data, jimž odpovídá zrychlení z intervalu $-10ms^{-2} \leq \ddot{x} \leq 10ms^{-2}$, na obr.4 pak jejich průmět do roviny síla-rychlost.

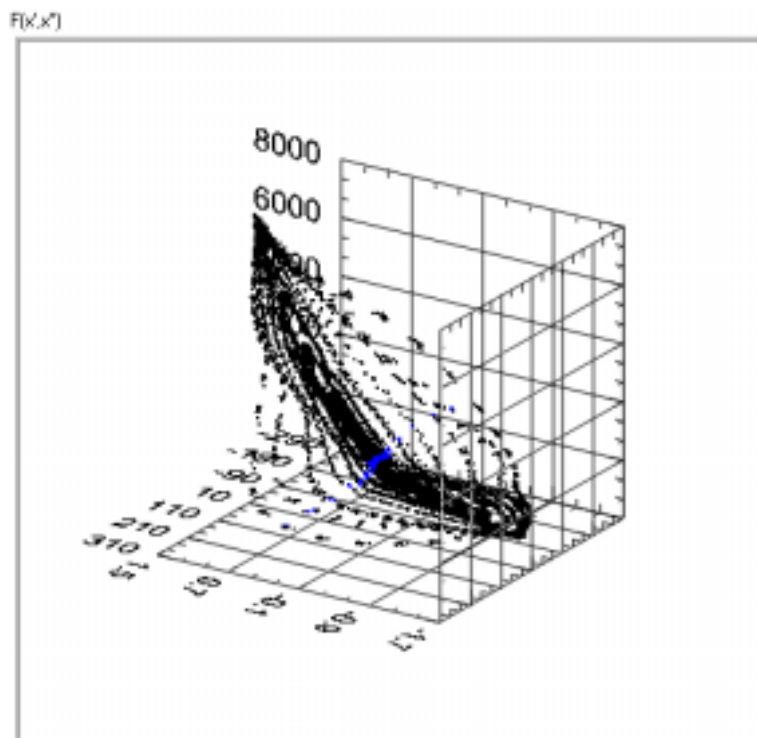


Obr.3 Statická rychlostní charakteristika

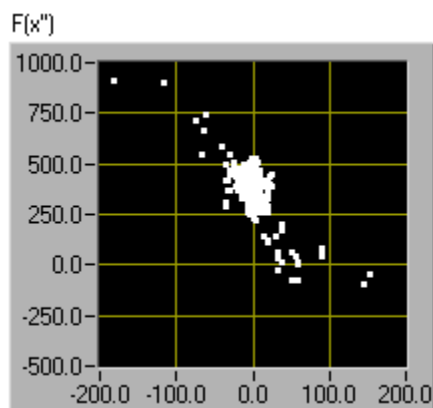


Obr.4 Průmět statické rychlostní charakteristiky

Pro lepší ilustraci závislosti na zrychlení jsou na obr.5 zvýrazněna data pro úzký interval rychlosti a na obr.6 pak jejich průmět do roviny síla-zrychlení.

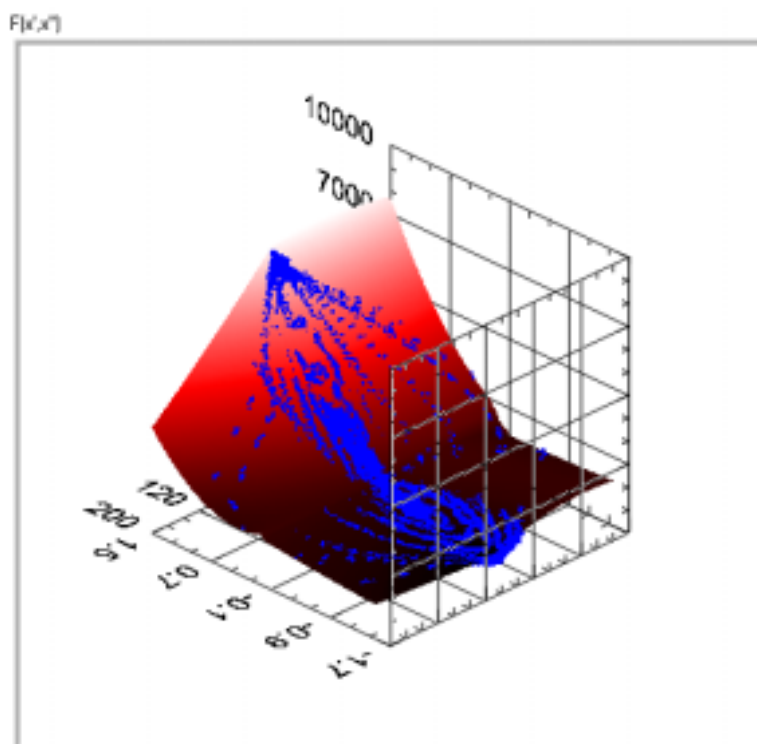


Obr.5 Závislost síly na zrychlení pro danou rychlost



Obr.6 Průmět závislosti síly na zrychlení pro úzký interval rychlostí

Při konstrukci globální charakteristiky je nutné ještě zúžit interval rychlosti a podle vývoje průmětů do roviny síla-zrychlení v závislosti na rychlosti navrhnout rozdělení roviny proměnných $\dot{x}$ a $\ddot{x}$ na prostorové intervaly, na kterých se provede dvoudimenzionální polynomiální regrese. Minimální počet intervalů na ose rychlosti je dán rychlostní charakteristikou, která je obvykle popsána po úsecích polynomy. Při dvoudimenzionální polynomiální regresi je třeba uvažovat vazební podmínky, které zaručí, že průsečíkem identifikované globální charakteristiky s rovinou $\ddot{x} = 0$ bude právě statická rychlostní charakteristika. Získaná globální charakteristika je na obr.7.



Obr.7 Identifikovaná globální charakteristika tlumiče

5. ZÁVĚR

Je navržena nová metoda identifikace síly tlumiče jako funkce dvou stavových veličin – rychlosti a zrychlení relativního pohybu pístnice a pracovního válce – tzv. globální charakteristika, na rozdíl od dosud obvyklé rychlostní charakteristiky s hysterezní smyčkou, závisující na frekvenci. Je ukázán způsob konstrukce globální charakteristiky a její souvislost se statickou rychlostní charakteristikou.

Práce vznikla s podporou výzkumného záměru MŠMT CEZ:MSM242100003 „Interakce vibroizolačního objektu s člověkem a okolním prostředím“

6. LITERATURA

- [1] Šklíba J.: Inerciální složka výsledné síly jednoplášťového hydraulického tlumiče, Konference “Dynamika, pevnost a pružnost stojních konstrukcí”, Svratka 1992
- [2] Šklíba J., Svoboda R.: Identifikace sekundární složky síly dvojplášťového tlumiče, VII. mezinárodní konference “Teorie strojů a mechanismů”, Liberec 1996
- [3] Šklíba J., Svoboda R.: Some problem of hydraulic damper modeling, Colloquium Dynamics of Machines 2000, Praha 2000
- [4] Šklíba J., Svoboda R.: Rozložení tlaků v hydraulickém tlumiči, VIII. mezinárodní konference “Teorie strojů a mechanismů”, Liberec 2000
- [5] Svoboda R., Šklíba: Problémy numerické integrace modelu hydraulického tlumiče, Computational Mechanics 2000, konference s mezinárodní účastí, Nečtiny 2000
- [6] Šklíba J.: Zur Problematik der Modellierung eines hydraulischen Dämpfers, Sborník XIV. konference “Dynamika strojů”, Liblice 1983