

# Spracovanie a analýza signálov tribologických charakteristík

Príspevok sa zaoberá využitím systému MATLAB&Simulink pri spracovaní a analýze tribologických charakteristík na zariadení twin disk tribometer Amsler a využitím blocksetov Simulinku na spracovanie signálov v oblasti sledovania zmien tribologických charakteristík v závislosti od času na lepšie posúdenie procesov trenia a opotrebovania. Analýza signálov tribologických veličín sa realizovala návrhom vhodných parametrov filtrov a následným filtrovaním záznamov získaných počas tribologickej skúšky.

## Úvod

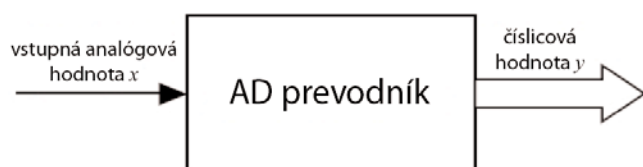
Spracovanie signálov je jedným z významných a rýchlo sa rozvíjajúcich odborov s aplikáciami v rôznych oblastiach ľudskej činnosti od telekomunikácií a audiovizuálnej techniky cez spracovanie výsledkov meraní až po identifikáciu systémov v strojárskom, stavebnom alebo chemickom priemysle, v lekárskej a biomedicínskej oblasti [1]. Spracovanie signálov v oblasti analýzy tribologických veličín je dôležité na posúdenie procesov trenia a opotrebovania. Veľkosť trecích síl, zaťaženie a teplota, pri ktorej prebiehajú tribologické deje, sú ovplyvnené radom faktorov a sú dôležité na stanovenie opotrebovania v závislosti od času. Získavanie tribologických charakteristík sa realizovalo na zariadení twin disk tribometer Amsler, ktoré je súčasťou laboratória tribológie na KTaM SJF TU v Košiciach.

## PVD povlaky

Rozvoj PVD oteruvzdorných vrstiev prináša neustále rad novinek a proces povlakovania tenkými tvrdými vrstvami sa v súčasnosti stáva samozrejmosťou. Spôsobov prípravy, resp. nanášania povlakov je niekoľko. Výber spôsobu nanášania závisí od vlastností materiálu povlaku, vlastností základného materiálu, požadovanej hĺbky povlaku, oblasti aplikácie a pod. Dôležitú úlohu pri systéme tenká vrstva - základný materiál zohrávajú fyzikálne vlastnosti (adhézne vlastnosti, tvrdosť, hrúbka, drsnosť atď.), chemické vlastnosti (odolnosť proti oxidáciám, chemická a tepelná stabilita a pod.) a tribologické vlastnosti [6]. Tribologické veličiny (COF, normálové zaťaženie, teplotu a iné) pri skúšaní trecích dvojíc s tenkými tvrdými vrstvami (predovšetkým ich zmien v čase) treba neustále analyzovať s cieľom predikcie opotrebovania.

## Signál a spracovanie signálu

Signál je fyzikálne vyjadrenie správy. Je to určitá fyzikálna kvalita alebo kvantita, ktorá sprostredkuje informáciu. Vo všeobecnosti prenáša informáciu o stave alebo správaní sa fyzikálnych systémov a často sa syntetizuje na výmenu informácií medzi ľuďmi alebo medzi človekom a strojom [2]. Prechod z analógového na digitálny signál môžeme definovať ako proces, ktorý zmení vstupnú analógovú hodnotu  $x$  (zvyčajne signál napätia) na číslicovú hodnotu  $y$  (zvyčajne binárny kód).

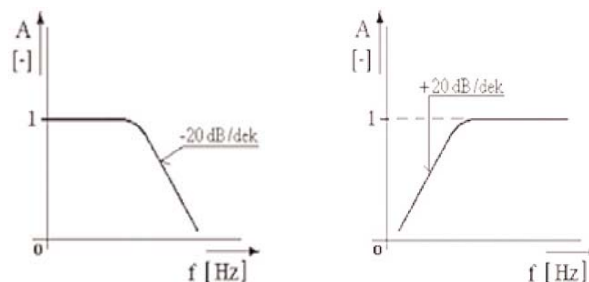


Obr.1 Princíp AD prevodníka

Prechod od excitácie (budenia) k reakcii (response) sa nazýva spracovanie signálu. Typickým príkladom spracovania signálov je odstránenie alebo potlačenie neželaného signálu - rušenia [4]. Etapami spracovania sú spracovanie, analýza, rozpoznávanie a klasifikácia [2].

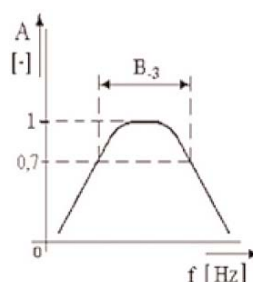
## Filtrácia a návrh filtrov

Filtrácia sa spravidla formuluje ako spracovanie slúžiace na výber istých zložiek zo zmesi signálov a na potlačení iných zložiek. Vo všeobecnosti možno filtráciu chápať ako prostriedok umožňujúci meniť vlastnosti jednotlivých zložiek, napríklad ich pomerné zastúpenie alebo vzájomné časové vzťahy vo výslednom signáli. Zložky signálu sa najčastejšie chápu vo frekvenčnej oblasti; ide o harmonické komponenty, ktorých amplitúdy a časové vzťahy sa filtráciou pozmenia, čo vystihujú dve frekvenčné charakteristiky: amplitúdová a fázová. Vzhľadom na diskretný charakter signálov sú tieto charakteristiky periodické a stačí udávať ich hodnoty len v rozsahu  $(0, \omega_s/2)$ , kde  $\omega_s$  je uhlový vzorkovací kmitočet [1]. Digitálny filter je v zásade výpočtový proces, ktorý konvertuje jednu postupnosť čísel  $x_n$ , reprezentujúcu vstup, do inej postupnosti  $y_n$ , ktorá reprezentuje výstup. Číslcový filter je obvod alebo algoritmus (program), ktorý požadovaným spôsobom mení spektrum vstupného signálu. Príkladom aplikácie môže byť potlačenie rušivých vplyvov, frekvenčná analýza [3].

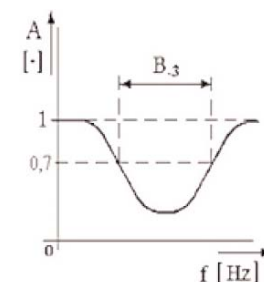


a) typ DP

a) typ HP



a) typ PP

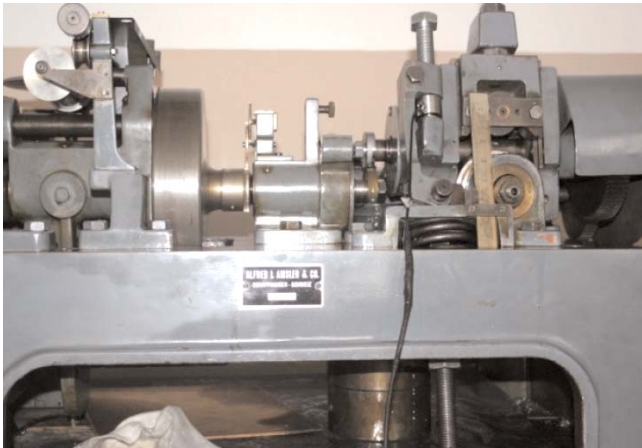


a) typ PZ

Obr.2 Rozdelenie FIR filtrov

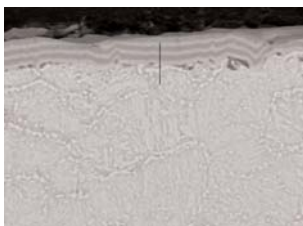
## Experimentálna časť

Spracovanie a analýza signálov sa realizovali na tribologických charakteristikách: koeficiente trenia a teploty z experimentálneho výskumu kontaktnej únavy na twin disk tribometri Amsler (obr. 3), ktorým je vybavené laboratórium tribológie na KTaM SJF TU v Košiciach. Trecia dvojica pozostávala z dvoch rotujúcich diskov, pričom rotujúci disk s multivrstvou (CrN-TiN/x3) 3  $\mu\text{m}$  a protikus, materiál 14 220, bol mazaný olejom PP30.



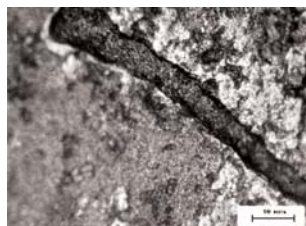
Obr.3 Tribometer Amsler

Duplexný PVD povlak bol pripravený dvojkomorovým procesom: v prvej fáze pulzná plazmová nitridácia (550°C/20hod., N<sub>2</sub>:H<sub>2</sub> = 1:3), v ruhej fáze depozícia multivrstvy (CrN-TiN/x3) 3  $\mu\text{m}$  PVD technológiou: základný materiál 31CrMoV9 [4,5]. Štruktúra povlaku a povrch po opotrebovaní sú na obr. 4a, 4b. Spracované záznamy tribologických charakteristik sú na obr. 6, 7 a 8 pri zaťažení  $F_n = 1\,400\text{ N}$  a počte cyklov  $n = 1,16 \cdot 10^6$ .



a) typ PP

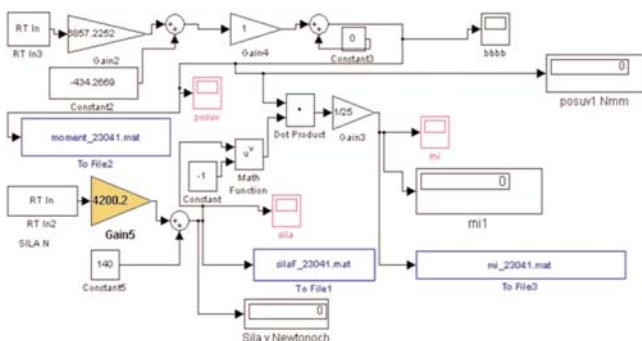
Obr.4a) Štruktúra povlaku



a) typ PZ

4b) Povrch o opotrebovaní

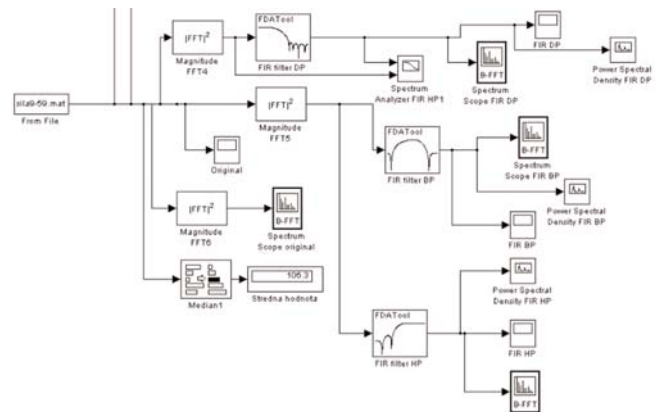
Záznamy sa načítali pomocou nadstavby Matlabu - Simulink prostredníctvom blokovej schémy (obr. 5), ktorá prezentuje bloky, kde sa vytvorili grafické reprezentácie v závislosti od nastavených parametrov.



Obr.5 Načítanie tribologických charakteristik - schéma

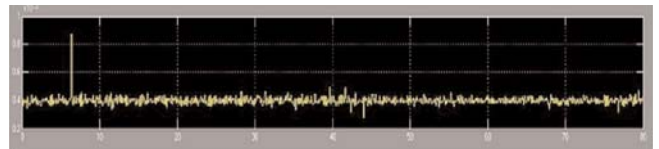
Záznamy tribologických veličín sa načítali (digitalizovali) pomocou nadstavby Matlabu - Simulink a uložili do súboru, spracovali sa v systéme Matlab a preniesli opäť do Simulinku. Na filtráciu záznamov bola navrhnutá simulačná schéma (obr. 6), v ktorej sa nástrojom FDA navrhli filter typu dolný priepust, pomocou ktorého sa sledovali zmeny tribologických charakteristik. Analýza signálov a parametre filtrov boli reali-

zované pomocou nástroja FDA v závislosti na type signálu, jeho charakteristikách a požadovaných výstupov. Blok FDA umožňuje používať definovanie parametrov filtra na pokročilej úrovni.

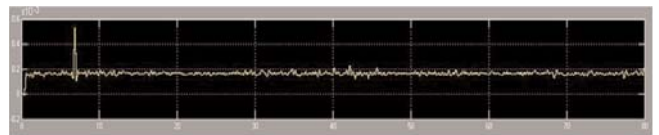


Obr.6 Schéma filtrácie tribologických parametrov

Pomocou filtrov typu FIR sa analyzovali zmeny v priebehu koeficientu trenia a teploty v závislosti od definovaného času. Z výsledkov spracovania tribologických charakteristik: koeficient trenia (obr. 7) COF mierne vzrástol vplyvom častíc opotrebovania v oleji PP30. Tribo-častice dosahovali veľkosť niekoľkých  $\mu\text{m}$  a s mazivom v oblasti kontaktu vytvárali sekundárnu osciláciu záznamov v podobe krátkotrvajúcich zmien. Záznam teploty (obr. 8) má relatívne nízke vychýlenie od priemernej hodnoty na začiatku snímania.

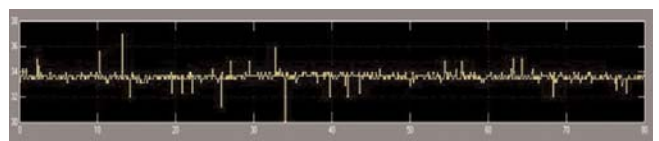


a) Priebeh COF

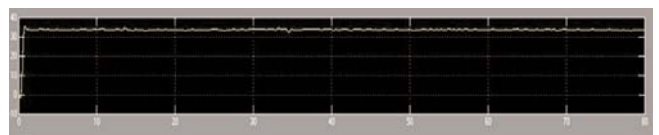


b) Filter typu DP

Obr.7 Koeficient trenia - analýza signálu



a) Priebeh teploty



b) Filter typu DP

Obr.8 Teplota - analýza signálu

## Záver

Pri pozorovaní tribologických charakteristik (koeficientu trenia a teploty) sa nevyskytli výrazné zmeny a záznamy vykazujú relatívne konštantný priebeh. Pri koeficiente trenia nastal pokles v interval 40 – 50 s (obr. 7a), a to aj po odfiltrovaní (obr. 7b), čo však nemá zásadný vplyv na zmenu COF. Priebeh teploty (obr. 8a) pri odfiltrovaní dolnopriepustným filtrom nemá výrazné zmeny a teplota bola relatívne konštantná. Vizualizácia charakteristik a použitie filtrov typu FIR zjednodušujú interpretáciu výsledkov vo výskume trenia a opotrebovania v reálnom čase.

## PodĎakovanie

Príspevok vznikol pri riešení projektov COST 532-M7,  
VEGA 1/0390/08 podporovaných MŠ SR.

## Literatúra

- [1] Jan, J.: Číslcová filtrácia, analýza a restaurácia signálov, 2. Upravené a rozšírené vydanie. Brno 2002.
- [2] Zaplatílek, K. - Doňar, B.: Matlab, začínáme se signály. 1. vydanie. Praha: BEN - Technická literatúra 2006.
- [3] Karris T. Steven: Signals and systems with matlab computing and simulink computing. 4th edition, Orchard publications, 2008.
- [4] Suchánek, J. et al.: Contact fatigue of duplex treated low alloy steels. In: ECOTRIB 2007. Joint European Conference on Tribology and Final conference of COST 532 action: Tribos-cience and Tribotechnology. Ljubljana, Slovenia, June 12 – 15, 2007. Ljubljana, Slovenian Society for Tribology, 2007. p. 667 - 677. ISBN 978-961-90254-8-2.
- [5] [www.unms.sk](http://www.unms.sk)
- [6] Zdravecká, E. - Perháč, Š. - Jančo, V. - Tkáčová, J. - Fecsu, Š.: Aplikácia systému Mat-lab pri modernizácii tribometra. X. medzinárodné sympóziu Intertribo 2009, s. 139 – 140.
- [7] Ondáč, M.: Analýza obrazu systémom Matlab. Novus Scientia 2009, XI. Celoštátna konferencia doktorandov strojnických fakúlt technických vysokých škôl a univerzít, Košice, 25. 11. 2009, ISBN 978-80-553-0305-5.

## Ing. Miroslav Ondáč

doc. Ing. Eva Zdravecká, CSc.  
Ing. Štefan Fecsu  
Technická univerzita v Košiciach  
Strojnícka fakulta  
Katedra technológií a materiálov  
Mäsiarska 74  
040 02 Košice  
[ondacmiroslav@gmail.com](mailto:ondacmiroslav@gmail.com)  
[eva.zdravecká@tuke.sk](mailto:eva.zdravecká@tuke.sk)  
[sfecsu12@gmail.com](mailto:sfecsu12@gmail.com)