

IDENTIFIKACE SOUSTAVY SEDAČKY (SEDAČKA C.I.E.B TYPOVÉ ŘADY 5) A NÁVRH REGULAČNÍHO OBVODU

GHARAZI SAYED MOHSEN

Technická univerzita v Liberci, fakulta strojní, katedra aplikované kybernetiky,

✉ Hájkova 6, 461 17 Liberec, ☎ (048) 5353284, 📠 (048) 5105882,

📧 sayed_mohsen_gharazi@vslib.cz

Abstract: Tento příspěvek se zabývá identifikací a regulací soustavy automobilové sedačky C.I.E.B typové řady 5 při různých vstupech signálu. Sedačka je vybavena nelineárním tlumičem, který je nastavitelný, tak aby se choval buď jako tvrdý nebo měkký tlumič. Při měření vstupních a výstupních signálů byl regulátor polohy odpojen, aby nezasahoval do dynamických vlastností samostatného systému.

Příspěvek bude rozdělena do tří hlavních částí. V první části budou analyzovány naměřené signály. V druhé části bude identifikována soustava sedačky na podkladě naměřených signálů. Poslední část se bude zabývat regulací identifikované soustavy.

Uvedená práce (identifikace, regulace a modelování soustavy) byla realizovaná v programu MATLAB od firmy Mathworks.

Klíčová slova: parametrická identifikace, neparametrická identifikace, impulzní, přechodová charakteristika, diferenciální rovnice.

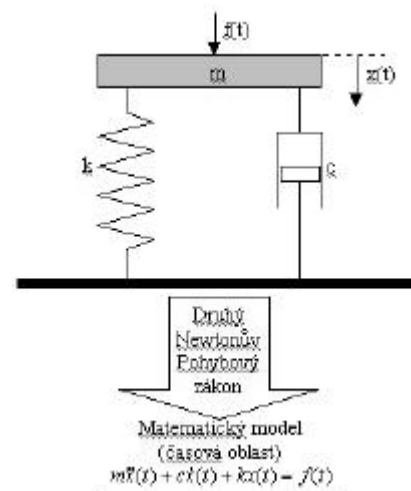
1. Matematický model identifikované soustavy

Metody výpočtu nelineárních soustav jsou obtížnější a časově náročnější, než metody řešení u lineárních soustav. Využíváme proto často různé matematické modely pro jejich zjednodušení. Matematické modely jsou účelné nebo nutné z následujících důvodů :

- pro pochopení a popis chování mechanických soustav při dynamickém namáhání
- pro modelování odezev na předpokládané vnější síly
- pro modelování dynamických charakteristik, měnících se v důsledku modifikací

Matematické modely nejsou obecnými modely vlastních soustav a konstrukcí, ale ve skutečnosti se jedná modely dynamických vlastností těchto soustav a konstrukcí.

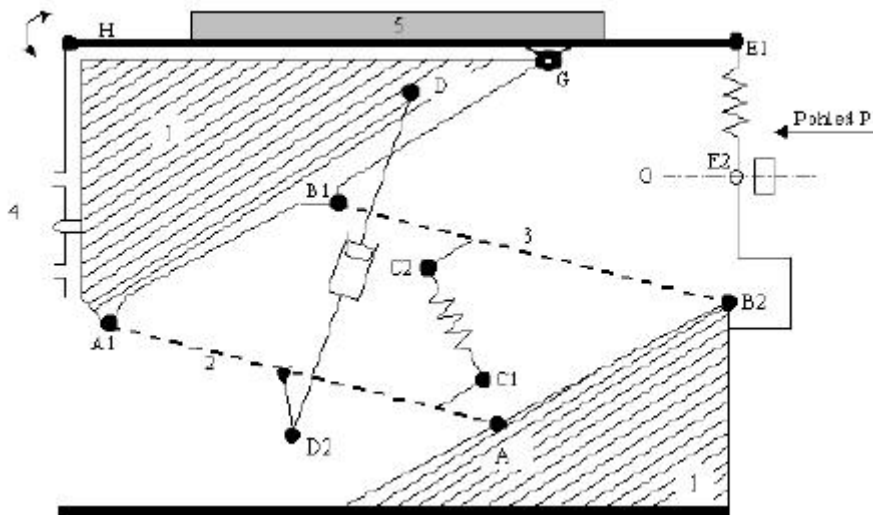
Matematický model dané soustavy v časové oblasti může být odvozen na základě analytického modelu pomocí druhého Newtonova pohybového zákona. Sestavením rovnosti vnitřních sil (setrvačných, tlumících a pružných sil) a vnějších sil (budících sil) je získán matematický model ve tvaru diferenciální rovnice druhého řádu.



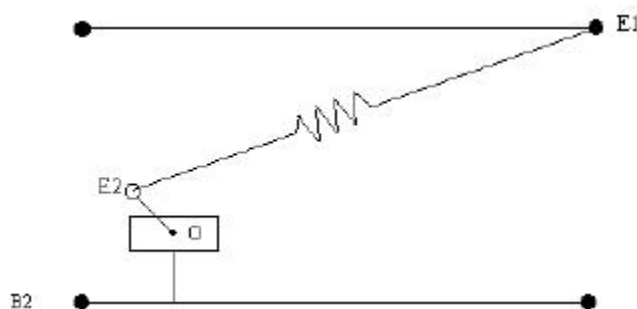
Obr. 1 Zjednodušený model dynamického systému

2. Základní popis identifikovaného systému

Sedačka má paralelogramové uspořádání s polohovou regulací, nastavitelný tlumič ATESO, vzduchová pružina je dvouvlná, dorazová soustava je pevná s pryžovými silenbloky. Tlumič je upevněn v podélné ose sedačky mezi spodním ramenem paralelogramu a nepřímým vrchním rámem podstavce. Nastavení tvrdosti tlumiče se provádí plynule páčkou bez zajištění polohy. Nastavení výšky sedáku vzhledem k podlaze kabiny se provádí ručním kolečkem s přesuvnou maticí na osičce. Přesuvná matice je s polohovým regulátorem spojena táhlem přes vinutou pružinu. Pro identifikaci dynamických vlastností soustavy byl odpojen regulátor polohy sedačky. Vzduchová pružina byla uzavřena, tlak v pružině byl nastaven na $p=0.25$ Mp



Obr. 2 Kinematické schéma identifikovaného systému



Obr. 3 Pohled P

| | | | |
|--------|---|--------|-----------------------------------|
| 1 | základní rám a buzená část (neodpružená část) | D1, D2 | úchyty tlumiče |
| 2,3 | ramena mechanismu sedačky | E1, E2 | přenosová člen ovládaní regulátor |
| 4 | aretační páka se třemi otvory | G | otáčení |
| 5 | zátěž | H | desky |
| E2O | rameno regulátoru | I | odpružená část |
| A2, B2 | klouby základního rámu | O | osa polohového regulátoru |
| A1, B1 | klouby kotevního rámu sedačky | ● | kotevní klouby |
| I, C2 | úchyty pružiny | ○ | pohyblivý kloub |

3. Signály

Důležitou součástí identifikace je volba a generování vhodných testovacích signálů. Tyto signály mohou být deterministické, stochastické nebo tzv. pseudonáhodné.

Deterministické signály lze analyticky popsat a patří mezi ně skoková změna, rampový signál, impuls, obdélníkový harmonický signál atd.

Stochastické signály jsou charakteristické tím, že jsou analyticky nepopsatelné. Každá taková realizace je náhodná a neopakovatelná. Klasickým představitelem tohoto druhu signálu je bílý šum.

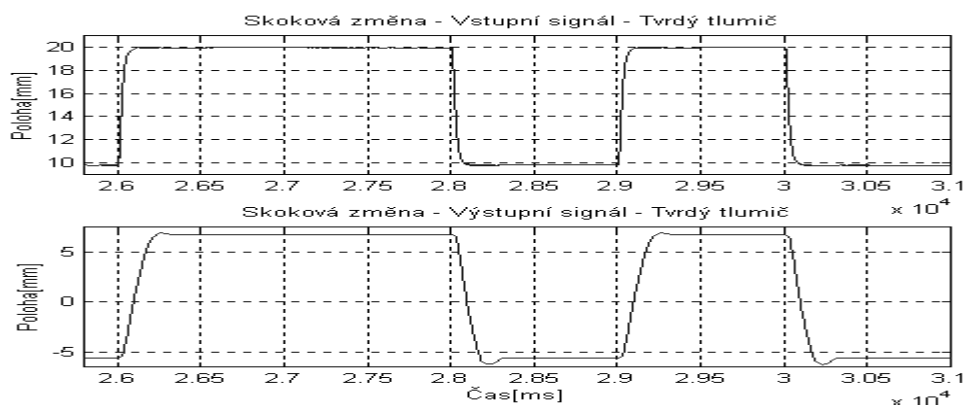
Pseudonáhodné signály lze popsat jako náhodné signály, jejichž vlastnosti mohou být za daných podmínek stejné jako u stochastických signálů, ale jsou získané deterministickým způsobem a jsou tedy opakovatelné.

Pro buzení identifikovaného systému byly použity 3 druhy signálů :

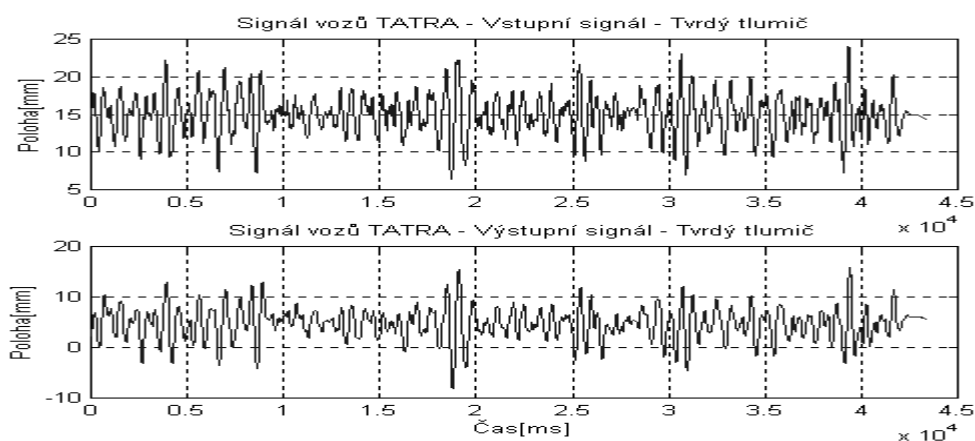
- skokové změny s amplitudou 10 mm vytvořené s pomocí programu Matlabu
- signál, který byl naměřen v kabině vozu TATRA během jízdy na dálnici (signál vozu TATRA).

c) signál, který byl naměřen v kabině vozu LIAZ 400 během jízdy na silnici (signál vozu LIAZ 400).

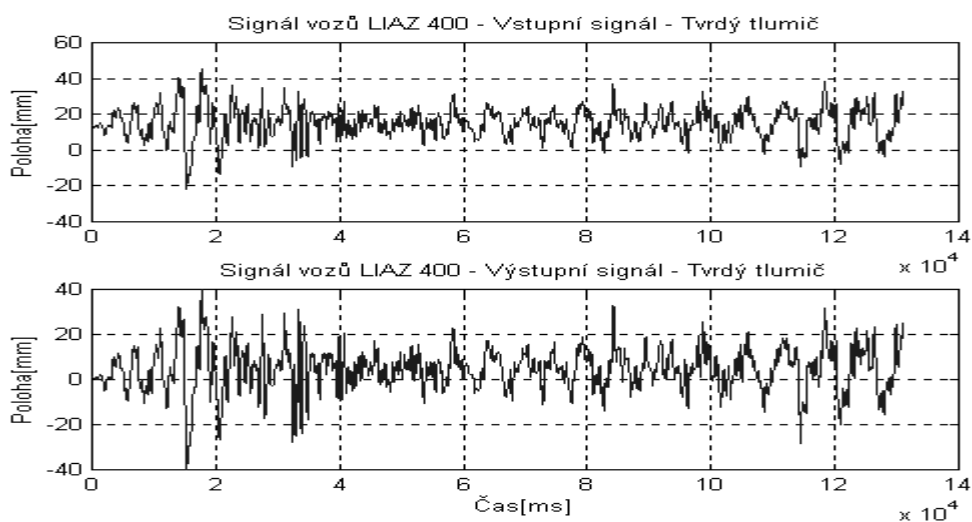
Přehled generovaných a výstupních signálů:



Obr. 4 Časový průběh vstupní a výstupní skokové změny



Obr. 5 Časový průběh vstupního a výstupního signálu vozu TATRA



Obr. 6 Časový průběh vstupního a výstupního signálu vozu LIAZ 400

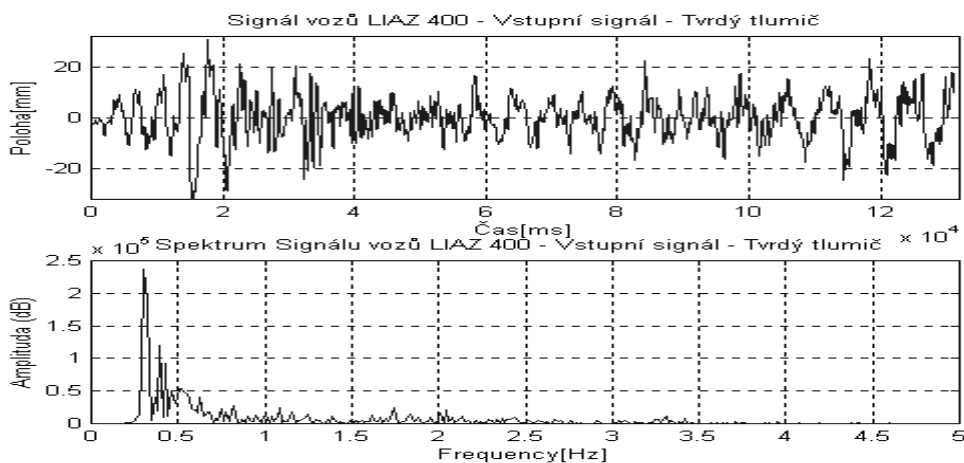
3.1 Fourierova transformace vygenerovaných vstupních signálů

Rozklad obecného, tj. nejen periodického ale také neperiodického signálu, na harmonické složky, lze určit pomocí Fourierovy transformace. Tento rozklad obsahuje obecně složky o všech frekvencích s infinitesimální (nekonečně malou) amplitudou. Spektrum je spojitá funkce frekvence (viz obr. 7 až obr. 9) Definiční vzorce přímé a zpětné (inverzní)

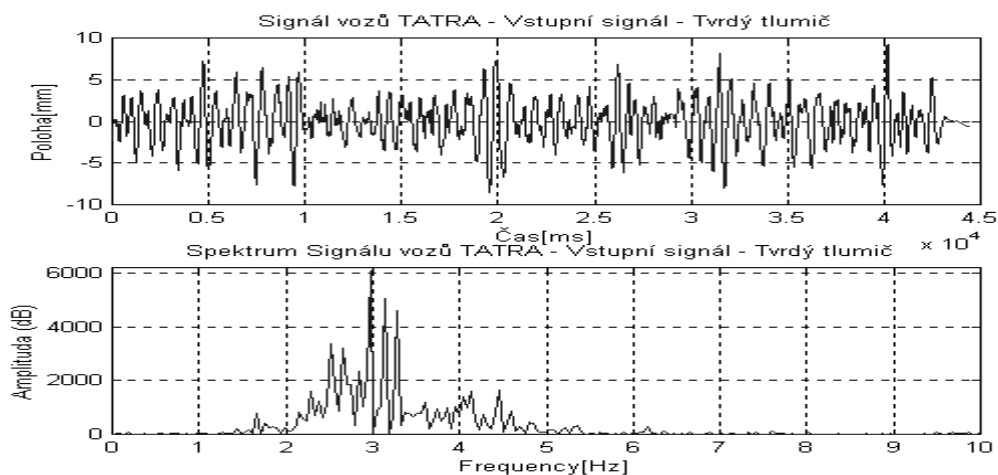
Fourierovy transformace pro signál, tj. funkci $x(t)$ ve významu vzoru nebo originálu, jsou následující:

$$X(\omega) = F\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \exp(-j\omega t) dt, \quad (3.1)$$

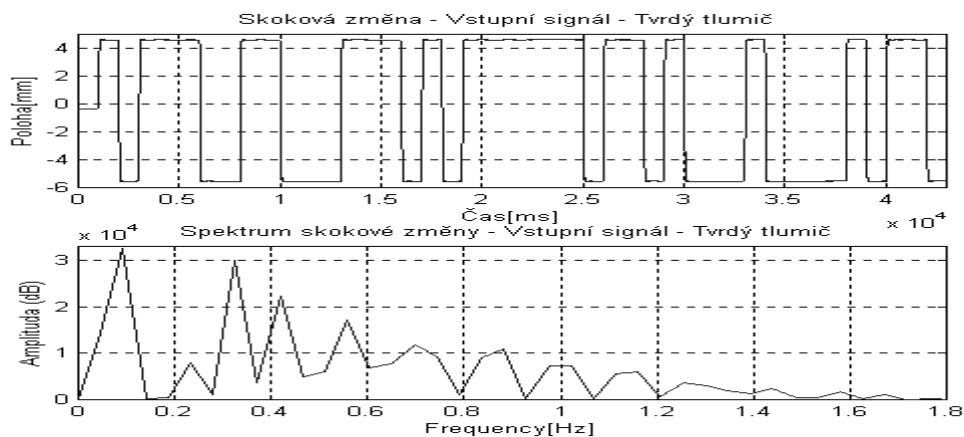
$$x(t) = F^{-1}\{X(\omega)\} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) \exp(j\omega t) d\omega, \quad (3.2)$$



Obr. 7 Vstupní signál vozu LIAZ 400 a jeho spektrum



Obr. 8 Vstupní signál vozu TATRA a jeho spektrum



Obr. 9 Skoková změna (vygenerovaný signál) a její spektrum

4. Identifikace soustavy

Při identifikaci technologické soustavy v zásadě můžeme vycházet ze dvou přístupů:

- **parametrická identifikace** – získání parametrů (koeficientů) diferenční rovnice modelu
- **neparametrická identifikace** – získání jednotlivých bodů impulsní (resp. přechodové) charakteristiky

Parametrická identifikace

Pro výpočet koeficientů přenosu je možno uvažovat modely s různou strukturou. Uvažujeme nejdříve obecný model ve tvaru :

$$A(z^{-1})y(k) = \frac{B(z^{-1})}{F(z^{-1})}u(k) + \frac{C(z^{-1})}{D(z^{-1})}z(k) \quad (4.1)$$

kde

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_{na} z^{-na}$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_b z^{-nb}$$

$$C(z^{-1}) = c_0 + c_1 z^{-1} + \dots + c_{nc} z^{-nc}$$

$$D(z^{-1}) = d_0 + d_1 z^{-1} + \dots + d_{nd} z^{-nd}$$

$$F(z^{-1}) = f_0 + f_1 z^{-1} + \dots + f_f z^{-nf}$$

Způsob určení koeficientů soustavy je závislý na volbě struktury modelu. Pro jednoduchost použijeme LS model, kde $F(z^{-1}) = D(z^{-1}) = C(z^{-1}) = 1$:

$$A(z^{-1}) \cdot y(k) = B(z^{-1}) \cdot u(k) + z(k) \quad (4.2)$$

Pro další výpočet koeficientů lze tento model upravit na tvar :

$$A(z^{-1}) \cdot y(k) - B(z^{-1}) \cdot u(k) = e(k) = z(k) \quad (4.3)$$

a nebo

$$A(z^{-1}) \cdot y(k) = B(z^{-1}) \cdot u(k) + \delta(k) \quad (4.4)$$

kde

$\delta(k)$... představuje minimalizaci chyby

po úpravě

$$y(k) = -a_1 * y(k-1) - a_2 * y(k-2) - \dots - a_n * y(k-n) + b_0 * u(k) + b_1 * u(k-1) + \dots + b_n * u(k-n) + \delta(k)$$

maticový zápis má podobu

$$y(k) \quad u(k) \dots u(n-k) \quad -y(k-1) \quad -y(k-n) \quad \text{koeficienty}$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{A} * \mathbf{X}$$

kde

$y(k)$, $u(k)$, $u(n-k)$, $y(k-1)$, $y(n-k)$... jsou hodnoty získané měřením. Pro minimalizaci chyby se dá maticový zápis přepsat do tvaru

$$A^T * A * X = A^T * B^T$$

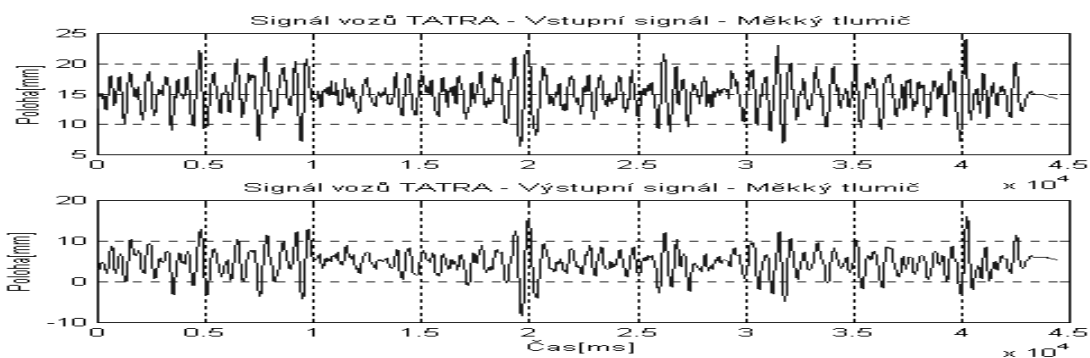
kde

A^T je transponovaná matice.

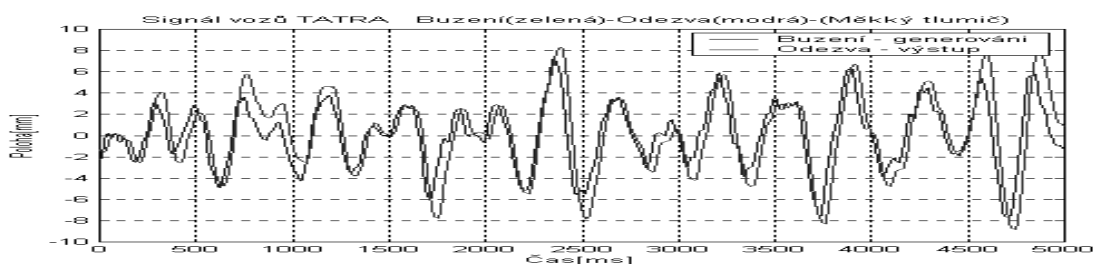
Toto je jednoduchá maticová rovnice a její řešení nám dává koeficienty přenosu.

V následující části této práce jsou použity signály vozů Tatra s měkkým a tvrdým tlumičem.

a) signál vozu TATRA s měkkým tlumičem



Obr. 10 Odezva soustavy na signál vozu TATRA ve spodní poloze, měkký tlumič bez zapojeného regulátoru a s ekvivalentní zátěží 60 [kg]



Obr. 11 Přehled náhodného signálu po odečtení střední hodnoty a ořezávání

Výsledky identifikace z programu Matlab :

%prevod z theta formatu do diskretniho

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_{na} z^{-na} \quad Ad(z^{-1}) = 1.0000 \quad -1.9327 \quad 0.9350$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_{nb} z^{-nb} \quad Bd(z^{-1}) = 0 \quad 0.0027 \quad 0$$

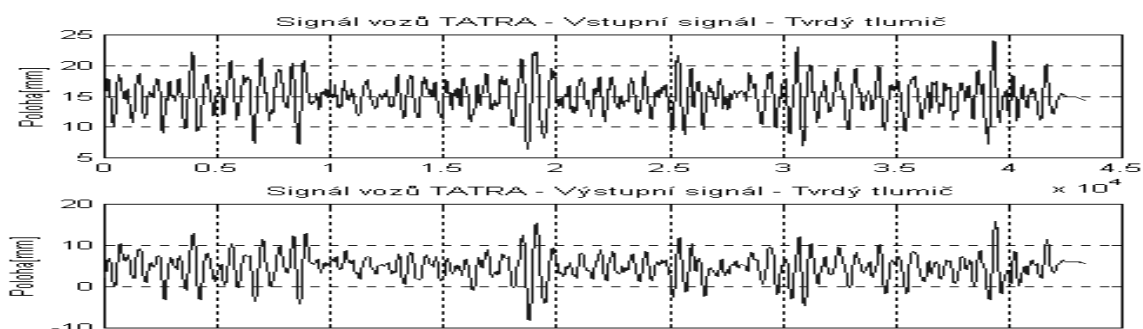
%prevod diskretniho na spojity

$$Ac = 1.0000 \quad 0.0673 \quad 0.0023 \quad Bc = 0 \quad 0.0014 \quad 0.0028$$

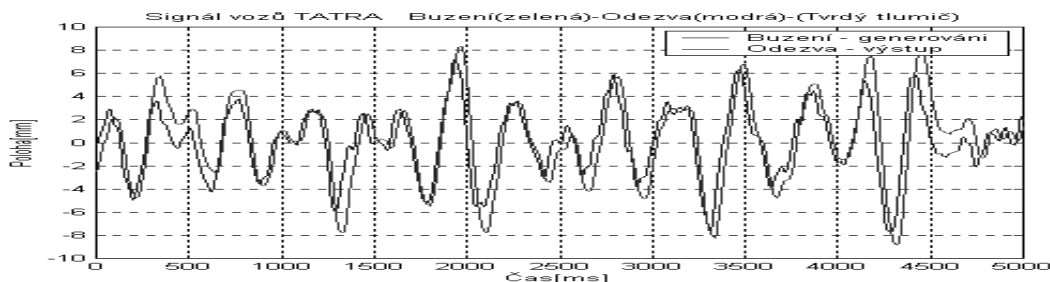
Ze získaných koeficientů Ad, Bd, Ac, Bc, lze napsat výsledný diskretní a spojité přenos ve tvaru:

$$F(z^{-1}) = \frac{0.0027z^{-1}}{1 - 1.9327z^{-1} + 0.9350z^{-2}} \quad F(s) = \frac{0.001377s + 0.002786}{s^2 + 0.06725s + 0.00234}$$

b) signál vozu TATRA s tvrdým tlumičem



Obr. 12 Odezva soustavy na signál vozu TATRA ve spodní poloze, tvrdý tlumič bez zapojeného regulátoru a s ekvivalentní zátěží 60 [kg]



Obr. 13 Přehled náhodného signálu po odečtení střední hodnoty a ořezávání

Výsledky identifikace z programu Matlabu :

%prevod z theta formátu do diskretního

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_{na} z^{-na}$$

$$Ad(z^{-1}) = 1.0000 \quad -1.9329 \quad 0.9352$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_{nb} z^{-nb}$$

$$Bd = 0 \quad 0.0027 \quad 0$$

%prevod diskretního na spojity

$$Ac = 1.0000 \quad 0.0670 \quad 0.0024$$

$$Bc = 0 \quad 0.0014 \quad 0.0028$$

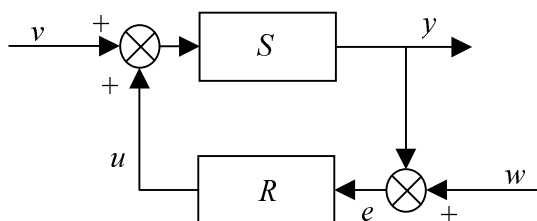
Ze získaných koeficientů Ad, Bd, Ac, Bc, lze napsat výsledný diskretní a spojité přenos ve tvaru:

$$F(z^{-1}) = \frac{0.0027z^{-1}}{1 - 1.9329z^{-1} + 0.9352z^{-2}}$$

$$F(s) = \frac{0.001378s + 0.002787}{s^2 + 0.06696s + 0.00235}$$

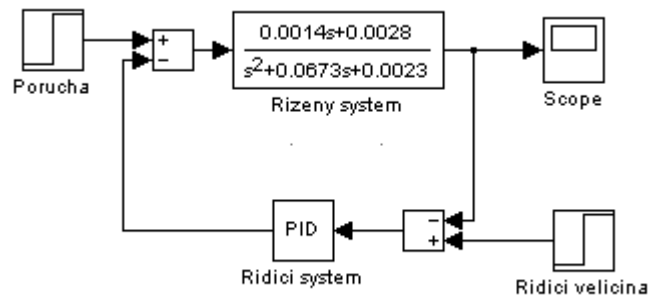
5. Modelování regulačního obvodu a seřízení regulátoru podle kritéria minima kvadratické regulační plochy

Systémy řízení uzavřeném obvodu (regulace) se od otevřeném obvodu liší tím, že k řízení využívají principu zpětné vazby, obr.20 Řídicí systém R dostává informace o žádané hodnotě výstupního signálu, které se zprostředkují řídicí veličinou w , a porovnává je s dosaženým výsledkem činnosti, tj. se skutečnou hodnotou y . Jestliže existuje odchylka $e = w - y$, zasahuje řídicí systém akční veličinou u do řízeného systému S tak, aby odchylku odstranil. Poruchy d mohou působit jak v místě působení akční veličiny (jako na obr.14), tak i v jiných místech řízeného systému S .



R – řídicí systém, S – řízený systém
 w – řídicí veličina, u – akční veličina
 y – výstupní veličina, d - porucha

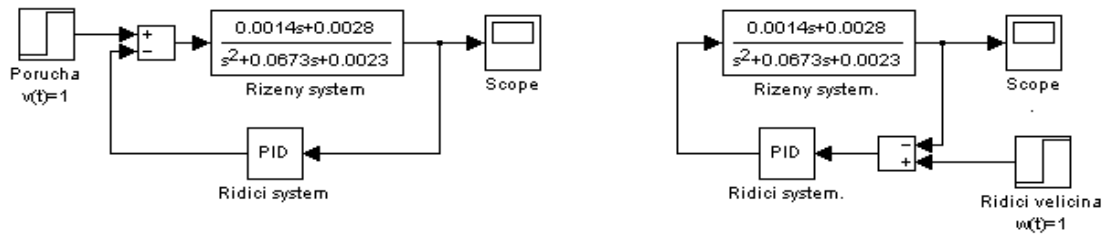
Obr. 14 Řízení v uzavřeném obvodu



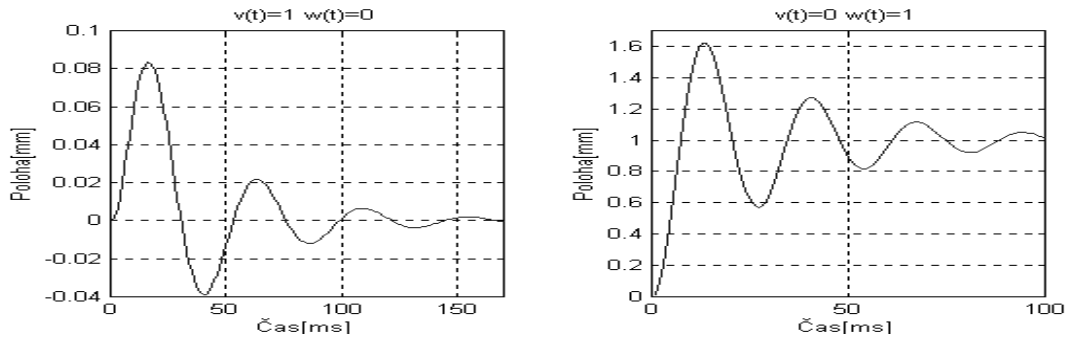
Obr. 15 Regulační obvod identifikované soustavy s PID regulátorem

Uvažujeme regulační pochod způsobený změnou žádané hodnoty regulované veličiny (změnou řídicí veličiny), tj. $v(t) = 0$, $w(t) = \eta(t)$, či určitou poruchou, tj. $w(t) = 0$, $v(t) = \eta(t)$, (obr. 16) a stanovme časový integrál J (rovn. 8.2) odchylek (rovn. 8.1) regulované veličiny od její nové ustálené hodnoty

$$e(t) = y(t) - y(\infty) \quad (8.1)$$



Obr. 16 Blokové diagramy seřízení PID regulátoru metodou minima kvadratické regulační plochy

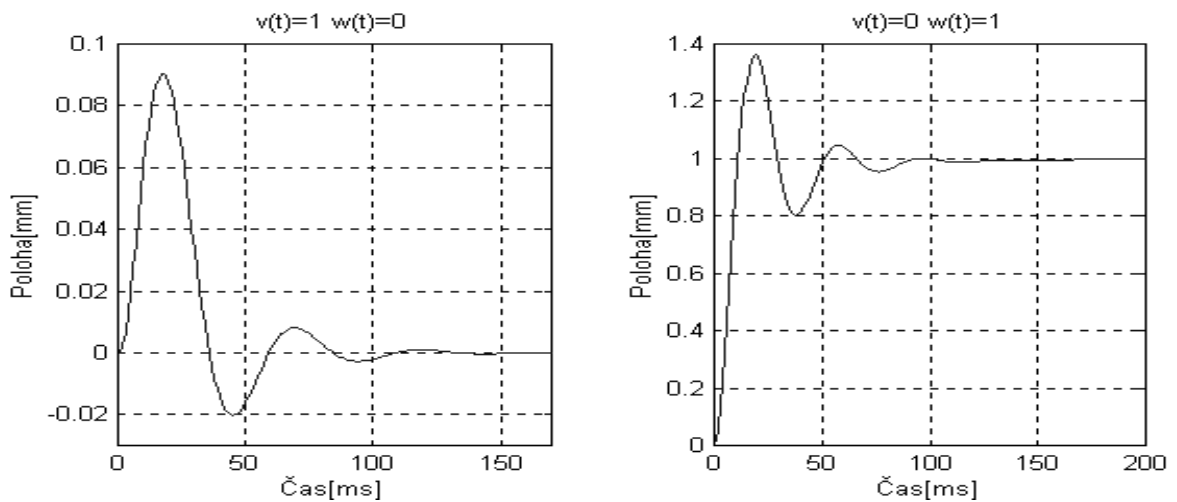


Obr. 17 Regulační pochod vyvolaný změnou $v(t)$ nebo vznikem $w(t)$ před optimalizací

Pro seřízení regulátoru použijeme integrální kritérium pro kvadratickou regulační plochu

$$J_k = \int_0^{\infty} [y(t) - y(\infty)]^2 dt \quad (8.2)$$

kteřá je vhodná pro periodické regulační pochody. Cílem úspěšnosti seřizování regulátorů resp. Volby struktury regulátoru nebo případně i struktury regulačního obvodu je, aby výše uvedený časový integrál – regulační plochy byl minimální ($J \rightarrow \min$)



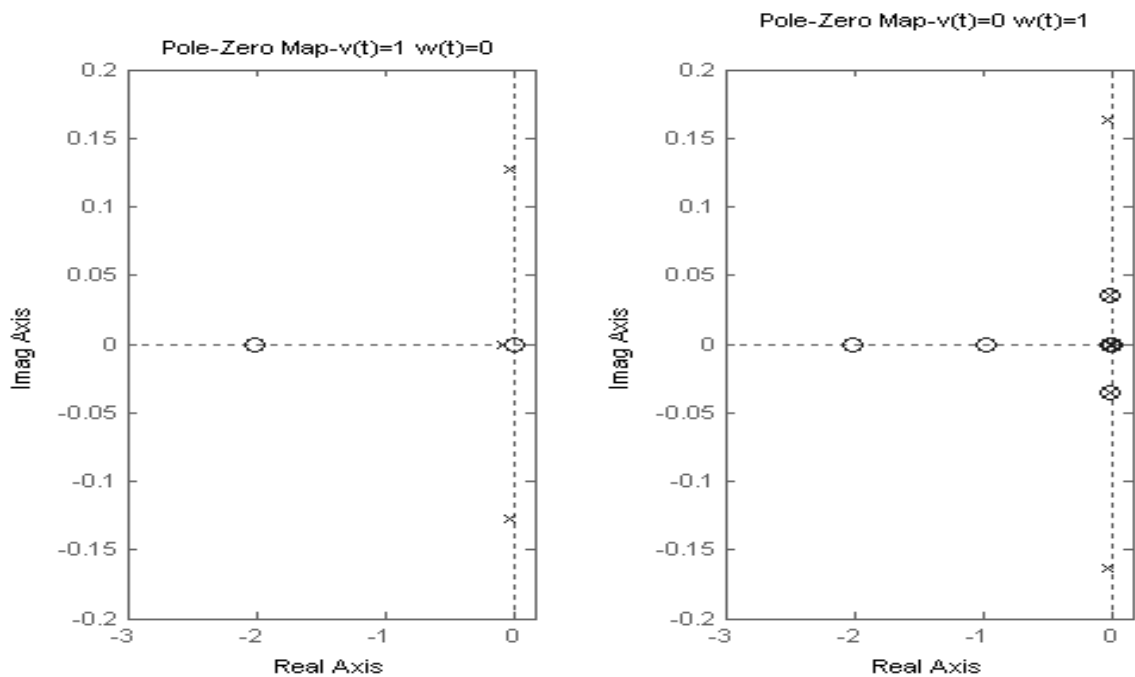
Obr. 18 Regulační pochod vyvolaný změnou $v(t)$ nebo vznikem $w(t)$ po optimalizaci
Pomocí tohoto kriteria byly určeny parametry PID regulátoru :

| | P | I | D |
|-----------------|----------|----------|----------|
| v=1, w=0 | 8.5878 | 0.62976 | 38.9426 |
| v=0, w=1 | 10.0581 | 0.17303 | 10.0146 |

Tabulka 8.1 Konstante regulátoru

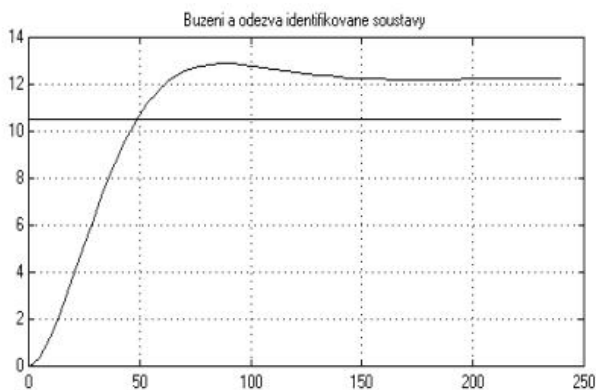
6. Stabilita regulačního obvodu

Nutnou a postačující podmínkou pro stabilitu uzavřeného lineárního regulačního obvodu je, aby všechny kořeny charakteristické rovnice odvodu měly zápornou reálnou část, čili aby ležely v levé polorovině komplexní roviny.

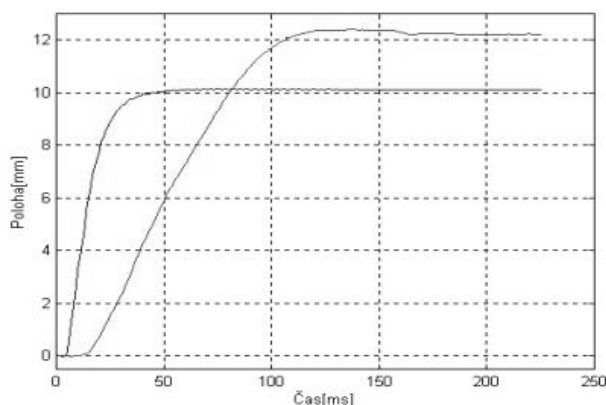


Obr. 19 Rozložení kořenů charakteristické rovnice v komplexní rovině

7. Závěr



Obr. 20 Buzení a odezva identifikované soustavy



Obr. 21 Buzení a odezva reálné soustavy

Výsledky práce můžeme rozdělit do dvou skupin

a) Identifikace soustavy

Porovnáním grafů na obr.20 a obr.21 je zřejmé, že při stejné velikosti buzení soustavy je odezva reálné soustavy velmi podobná odezvě identifikované soustavy.

To znamená, že použitá metoda identifikace je vhodná a na základě vytvořeného matematického modelu lze navrhnout regulátor, který uspokojivě splní požadavky regulace.

b) Regulace soustavy

Z obr. 18 je zřejmé, že optimalizací uzavřeného regulačního obvodu bylo dosaženo výsledků odpovídajících požadavkům na stabilitu soustavy a zjištěné parametry PID regulátoru lze použít pro realizaci identifikované soustavy.

literatura:

- [1] Tůma, J.: Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT, Sdělovací technika Praha, 1997
- [2] Balda, M., Beneš, J., Bošek, B., Hanuš, B., Horánský J., Kuchtíček, B., Strejc, V.: Teorie automatického řízení, SNTL Praha, 1969
- [3] Balátě, J.: Vybrané statě z automatického řízení, VUT Brno, 1996
- [4] Olehla, M.: Základy aplikované kybernetiky, TUL Liberec, 1997
- [5] Olehla, M.: Identifikace technologických soustav, TUL Liberec, 1997
- [6] Manuál k programu MATLAB verze .3.1 od firmy MathWorks

Príspevek byl podporován grantovou agenturou no. FRVŠ 2148/G1