

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Identifikace systému aktivního tlumení
osobního automobilu**

1997

LUKÁŠ NEUBAUER

Fakulta strojní

Katedra aplikované kybernetiky

Školní rok: 1996/97

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro **Lukáše NEUBAUERA**

obor **23-40-8 Automatizované systémy řízení ve strojírenství**

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb.
o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu:

IDENTIFIKACE SYSTÉMU AKTIVNÍHO TLUMENÍ OSOBNÍHO AUTOMOBILU.

Zásady pro vypracování:

1. Na počítači PC, který je na zkušebním pracovišti připojen ke zkušebnímu automobilu, naprogramujte zvolené identifikační algoritmy.
2. Zúčastněte se konstrukčních prací při zabudování hydraulického aktivního členu do podvozku osobního automobilu.
3. Na počítači PC naprogramujte on-line a off-line identifikační algoritmy a ověřte jejich činnost. Navrhněte a ověřte i vhodnou filtraci vstupních signálů.

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran

Seznam odborné literatury:

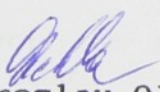
1. PCL-812PG Multi-Lab Card with Programmable Gain. User's Manual, fa Advantech.
2. PCL-718 High Performance Data Acquisition Card. User's Manual, fa Advantech.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bedřich Janeček, CSc.

Zadání diplomové práce: 31. 10. 1996

Termín odevzdání diplomové práce: 23. 5. 1997




Doc. Ing. Miroslav Olehla, CSc.
Vedoucí katedry

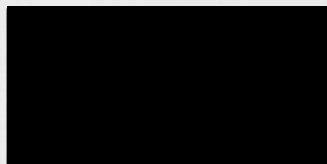

Prof. Ing. Jaroslav Exner, CSc.
Děkan

V Liberci dne 31. 10. 1996

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího.

V Liberci dne 15. května 1997



.....

Prohlášení **k využívání výsledků diplomové práce**

Jsem si vědom toho, že diplomová práce je majetkem školy a že s ní nemohu sám bez svolení školy disponovat, že diplomová práce může být zapůjčena či objednána (kopie) za účelem využití jejího obsahu.

Beru na vědomí, že po 5 ti letech si mohu diplomovou práci vyžádat v Univerzitní knihovně TU Liberec, kde je uložena.

Jméno a příjmení:  Lukáš Neubauer.....

Adresa:


Podpis:

Poděkování

Tímto bych velice rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Bedřichu Janečkovi, CSc. za odbornou pomoc, rady a připomínky, které mi pomohly při řešení této diplomové práce.

Dále děkuji Hance Šulcové za pečlivé přečtení této diplomové práce.

1. ÚVOD	7
2. TLUMENÍ.....	9
2.1. POŽADAVKY NA TLUMENÍ.....	9
2.2. PASIVNÍ TLUMENÍ.....	10
2.3. TLUMIČE S DVĚMI OBLASTMI CHARAKTERU TLUMENÍ.....	10
2.4. NASTAVITELNÉ TLUMIČE	11
2.5. AKTIVNÍ TLUMENÍ.....	12
3. POPIS MĚŘENÉ SOUSTAVY	13
3.1. PŮVODNÍ VERZE KONSTRUKCE AKTIVNÍHO TLUMIČE	13
3.2. NOVÁ VERZE KONSTRUKCE AKTIVNÍHO TLUMIČE	15
4. MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ	17
4.1. POPIS ČINNOSTI.....	17
4.2. PŘEVODNÍKOVÁ KARTA PCL 718	19
4.3. SNÍMAČE POLOHY	20
4.4. SNÍMAČ ZRYCHLENÍ	20
4.5. FILTRACE VSTUPNÍCH SIGNÁLŮ	20
5. ŘÍDÍCÍ OBVOD	21
5.1. POPIS ČINNOSTI.....	21
5.2. ELEKTRONICKÁ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA EL2 - 24A	22
5.3. PROPORCIONÁLNÍ ROZVADĚČ PRL 1	22
5.4. HYDRAULICKÝ VÁLEC.....	22
6. SIMULÁTOR PORUCHY.....	23
7. IDENTIFIKACE	24
7.1. SOUSTAVA.....	24
7.2. IDENTIFIKACE F_U - PŘENOSU.....	26
7.2.1. Definované přechodové charakteristiky pro přenos F_u	27
7.3. IDENTIFIKACE F_D - PŘENOSU	30
7.3.1. Definované přenosy soustav pro identifikaci F_d	30
7.4. METODA RUNGE - KUTTA.....	32
7.5. KVADRATICKÉ KRITÉRIUM	34
7.6. GRADIENTNÍ METODA NALEZENÍ MINIMA FUNKCE.....	35
8. POPIS VYTVOŘENÉHO PROGRAMU	38
8.1. VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ	38
8.2. SPUŠTĚNÍ PROGRAMU.....	38
8.3. HLAVNÍ MENU A SUBMENU	39
8.4. MĚŘENÍ.....	40

8.5. UKLÁDÁNÍ DAT.....	41
8.6. IDENTIFIKACE F_U	41
8.7. IDENTIFIKACE F_D	42
9. VÝSLEDKY IDENTIFIKACE.....	43
9.1. IDENTIFIKACE PŮVODNÍ VERZE AKTIVNÍHO TLUMIČE.....	44
9.1.1. Identifikace absolutní polohy x_2 pro přenos od akční veličiny	44
9.1.2. Identifikace vzájemné polohy karosérie a nápravy kola x_2-x_1 pro přenos od akční veličiny.....	44
9.2. IDENTIFIKACE NOVÉ VERZE AKTIVNÍHO TLUMIČE	45
9.2.1. Identifikace absolutní vzdálenosti karosérie od vozovky x_2 pro přenos od akční veličiny.....	45
9.2.2. Identifikace vzájemné vzdálenosti karosérie a nápravy kola x_2-x_1 pro přenos od akční veličiny	46
9.2.3. Identifikace absolutní vzdálenosti karosérie a vozovky x_2 pro přenos od poruchy	47
9.2.4. Identifikace vzájemné vzdálenosti karosérie a nápravy kola x_2-x_1 pro přenos od poruchy	48
10. ZÁVĚR.....	50
11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52
12. SEZNAM PŘÍLOH	53

1. Úvod

Celý život provází člověka snaha o zjednodušení a ulehčení si své každodenní činnosti. Již při sestrojení jízdního kola Leonardem da Vinci směřovalo jeho bádání k usnadnění si svých častých úkonů. Přesto, že toto první přiblížení kdy si člověk zjednodušil život je poměrně primitivní, tak se zvyšující se životní úrovní a rozvojem techniky se na vývoj, projekci a realizaci nových výrobků, zajišťujících technický pokrok, stále zvyšují náklady a požadavky na technické znalosti a zkušenosti vědců. Tento vývoj se dotkl zřejmě všech oblastí lidské činnosti, samozřejmě se vývoj dotkl i automobilového průmyslu, a jelikož automobilový průmysl tvoří jedno z největších a nejdůležitějších odvětví průmyslu na světě, vynakládají se na jeho rozvoj nemalé částky. Automobilový průmysl také spěje kupředu díky velké konkurenci na automobilovém trhu, kde se v dnešní době vyskytuje nespočetné množství konkurenceschopných firem. Aby tyto firmy obstály a udržely se na trhu, vytvářejí se rozsáhlé vědecké týmy, neustále pracující na zdokonalování jízdních vlastností, bezpečnosti, designu a pohodlnosti jízdy v automobilu. Především tyto vlastnosti jsou důležitým měřítkem pro zákazníka při výběru typu a značky vozu.

Jedna z předních vlastností zajišťující jak pohodlnost, tak bezpečnost jízdy automobilu je kvalita odpružení a tlumení všech náprav automobilu. Lepších vlastností tlumení lze dosáhnout použitím aktivního tlumení náprav, na jehož vývoji a výzkumu se v současné době podílejí zejména konstruktéři závodních automobilů, ovšem jsou-li jim dostupné dostatečně velké finanční prostředky. Na vývoji aktivního tlumení pro své vozy se značně podílí také automobilka Citroen.

Úkolem této diplomové práce bylo podílet se na vývoji a konstrukci aktivního tlumení pro vozy Škoda Felicie. Jelikož všechny firmy zabývající se touto problematikou své výsledky výzkumu tají, byli jsme nuceni s vývojem začít od úplného počátku bez jakýchkoliv zkušeností. Má diplomová práce je zaměřena na identifikaci dynamické soustavy aktivního tlumení automobilu. Cílem bylo zjistit matematický popis soustavy automobilu se zabudovaným aktivním tlumením.

2. Tlumení

2.1. Požadavky na tlumení

Kvalitu odpružení podvozku lze posuzovat ze dvou hledisek. Jsou to hlediska pohodlí a bezpečnosti jízdy automobilu. Obě tyto kritéria si v jistém smyslu protiřečí. Jestliže chceme dosáhnout maximálního bezpečí jízdy automobilu, tak pro tlumení rázů na nápravě použijeme tzv. tvrdé tlumiče, kdy je vliv tlumení maximálně potlačen, což zaručuje velkou přilnavost kola k vozovce. Toto opatření nám ale způsobí přenášení velkého počtu rázů z nápravy kola na karosérii automobilu a sníží pohodlnost jízdy.

Pohodlí cestujících při jízdě automobilem lze posuzovat podle frekvence kmitů zrychlení karosérie. Pro posouzení pohodlí existují určité hygienické normy, které jsou pouze orientační. Tyto normy zaznamenávají vliv kmitání na lidský organismus při určité době působení. Nejkritičtější jsou frekvence, které mají nejhorší vliv na lidský organismus v rozmezí hodnot **4 - 8 Hz**, při kterých organismus vydrží nejnížší hodnoty zrychlení. Dále je také kritická oblast nízkých frekvencí. Nejvhodnější oblastí kmitů pro pohyb automobilu jsou frekvence okolo **2 Hz**.

Druhým hlediskem kvality tlumení je hledisko bezpečnosti, při kterém je důležitá přilnavost pneumatiky k povrchu vozovky. Při vzniku situace, kdy se kolo odpoutá od povrchu vozovky, se stává automobil neovladatelným a vzniká nebezpečí nehody. Hledisko bezpečnosti je spojeno s kontaktní silou vznikající mezi pneumatikou automobilu a vozovkou. Velikost kontaktní síly F v klidovém stavu je určena celkovou tíhovou silou působící na jedno kolo

automobilu. Kontaktní síla pro bezpečný provoz automobilu by při jízdě neměla klesnout pod jednu třetinu hodnoty síly F v klidovém stavu.

$$F = (m_1 + m_2) \cdot g$$

m_1hmotnost poloosy [kg]

m_2hmotnost jedné čtvrtiny vozu [kg]

ggravitační zrychlení [ms^{-2}]

2.2. Pasivní tlumení

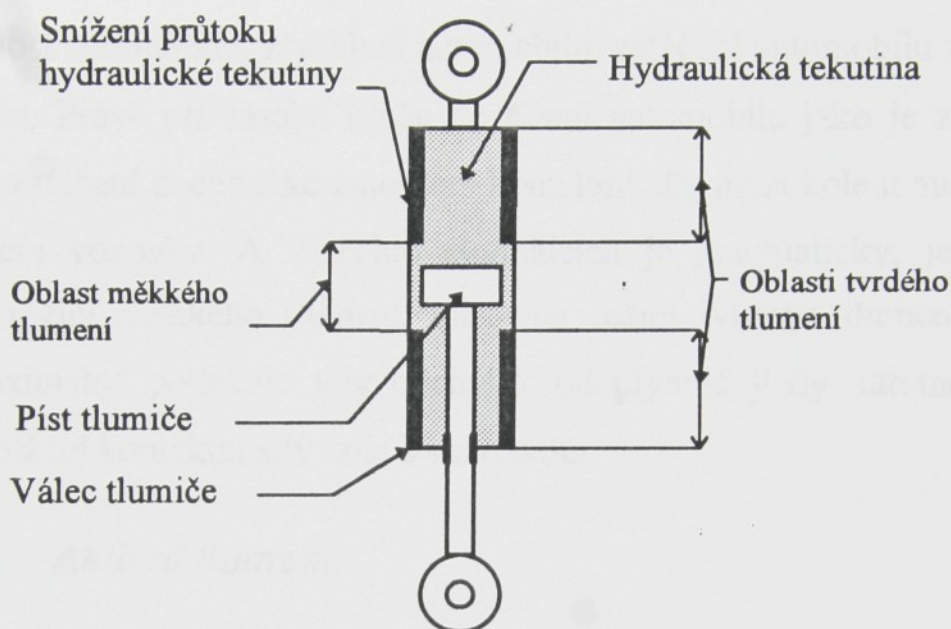
Pasivní tlumení je tvořeno standardní tlumicí soustavou pružiny a tlumiče. Soustava pružiny a tlumiče je již při výrobě zkonstruována výrobcem pro daný typ automobilu s ohledem na jeho hmotnost a provozní zatížení a byla nastavena pro nejčastější silové zatížení automobilu. Dané parametry soustavy pružina - tlumič již během provozu automobilu nelze měnit.

2.3. Tlumiče s dvěmi oblastmi charakteru tlumení

Tyto tlumiče se objevily na trhu počátkem roku 1996 ve spojení s firmou **Monroe**.

Tlumiče zajišťují při jízdě na kvalitním povrchu, kde se píst tlumiče pohybuje blízko střední polohy, měkký charakter tlumení rázů. Při jízdě po nerovném povrchu, kdy se píst tlumiče dostává dále od střední polohy, tlumič zajišťuje při větších výkyvech tvrdé tlumení. Toto chování tlumiče je zajištěno

tak, že v oblasti pístu kolem střední polohy průtok hydraulické tekutiny průtokovými kanály odpovídá měkkému tlumení a v oblastech vzdálenějších od střední polohy pístu je průtok hydraulické tekutiny snížen tak, aby odpovídal tvrdému tlumení(viz. obr 1.3.).



obr. 1.3. Schéma tlumiče s dvěma fázemi tlumení

2.4. Nastavitelné tlumiče

U tlumičů s rostoucí konstrukční složitostí roste i jejich pořizovací cena. Proto se hodí pro automobily vyšších tříd, kde cena tlumiče v poměru s celkovou cenou automobilu není tak vysoká.

Nastavitelné tlumiče pracují ve třech režimech, které se dle charakteru povrchu vozovky automaticky v průběhu jízdy plynule mění. Tyto režimy lze charakterizovat jako:

- měkké

- střední
- tvrdé

V průběhu jízdy jsou elektronickými snímači zjišťovány stavy veličin, které jsou důležité pro automatickou volbu charakteru tlumičů. Tyto veličiny jsou rychlost automobilu, zrychlení automobilu, zatáčení automobilu a brzdění automobilu. Právě při zásahu řidiče do řízení automobilu jako je zrychlení, brzdění a zatáčení dochází ke zmenšení kontaktní síly mezi kolem automobilu a povrchem vozovky. A v těchto okamžicích je automaticky, jestliže je nastaven režim měkkého tlumení, nastaven režim tvrdého tlumení. Tento režim maximálně potlačuje vliv odchylek od plynulé jízdy automobilu na kritické snížení kontaktní síly kola s vozovkou.

2.5. Aktivní tlumení

Aktivním tlumením rozumíme vstupování určitých akčních zásahů do soustavy pružina - tlumič za účelem vyvodit optimální tlumící účinky, které zabezpečí danou bezpečnost jízdy automobilu a dostatečnou pohodlnost jízdy pro posádku.

V náčrtu několik typů používaných řešení aktivního tlumení:

- **Nahrazení soustavy pružina - tlumič hydraulickým členem.**

Zde je systém pružina - tlumič nahrazen jediným hydraulickým lineárním motorem, který je řízen centrálním počítačem. Toto řešení tlumení vyžaduje vysokou úroveň použité technologie, z čehož vyplývá jeho poměrně vysoká cena a jeho použití pro sériovou výrobu se stává nemožné.

Jako pružina je v soustavě pružina - tlumič použita nejčastěji pneumatická pružina, která umožňuje plynule měnit její tuhost změnou tlaku v pružině. Velikost tlaku v pružině je řízena centrálním počítačem automobilu.

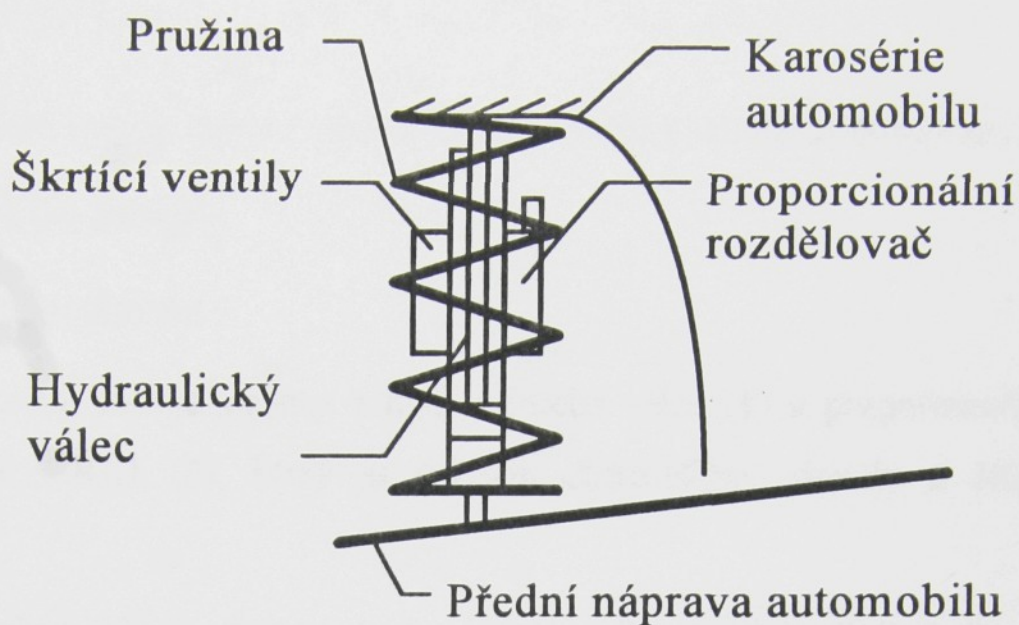
- **Řízením koeficientu tlumení tlumiče**

Tuhost tlumiče lze měnit spojitě pomocí ovládání škrtkicích ventilů na pístu tlumiče, nebo druhou možností je měnit množství hydraulického oleje ve válci tlumiče.

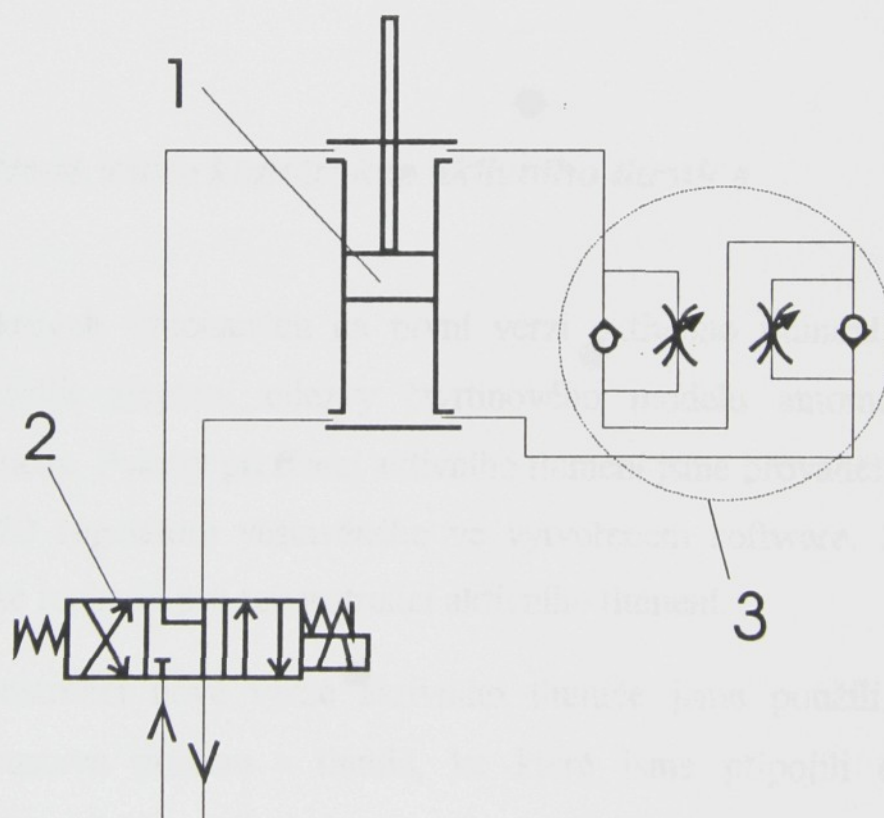
3. Popis měřené soustavy

3.1. Původní verze konstrukce aktivního tlumiče

V původní verzi konstrukce aktivního tlumení byla použita konstrukce sériově vyráběné soustavy pružina - tlumič. Z této soustavy byl vyjmut sériově vyráběný tlumič a byl nahrazen hydraulickým válcem. Pasivní tlumení zde zajišťovaly propouštěcí ventily připojené k hydraulickému válci. Aktivní řízení tlumiče zajišťoval proporcionální rozvaděč řízený elektrickými signály. Celý tento kompaktní systém byl zkonstruován tak, aby ho bylo možné zabudovat do zkušební poloviny přední části automobilu **Škoda Felicie**, umístěné v laboratoři **TU Liberec** bez větších konstrukčních změn na karosérii automobilu.



obr. 2.1.1. Konstrukční schéma původní konstrukce aktivního tlumiče



obr. 2.1.2. Schéma zapojení hydraulického válce

- 1.....Hydraulický válec
- 2.....Proporcionální rozvaděč **PRL1**
- 3.....Dvojitý škrtící ventil **2VS3-04**

Tento systém tlumení se z funkčního hlediska skládá ze dvou částí:

- **Část aktivní**
- **Část tlumící**

Aktivní část je složena z hydraulického válce (1) a proporcionálního rozvaděče **PRL1** (2), který je ovládán elektrickými signály z řídicího počítače.

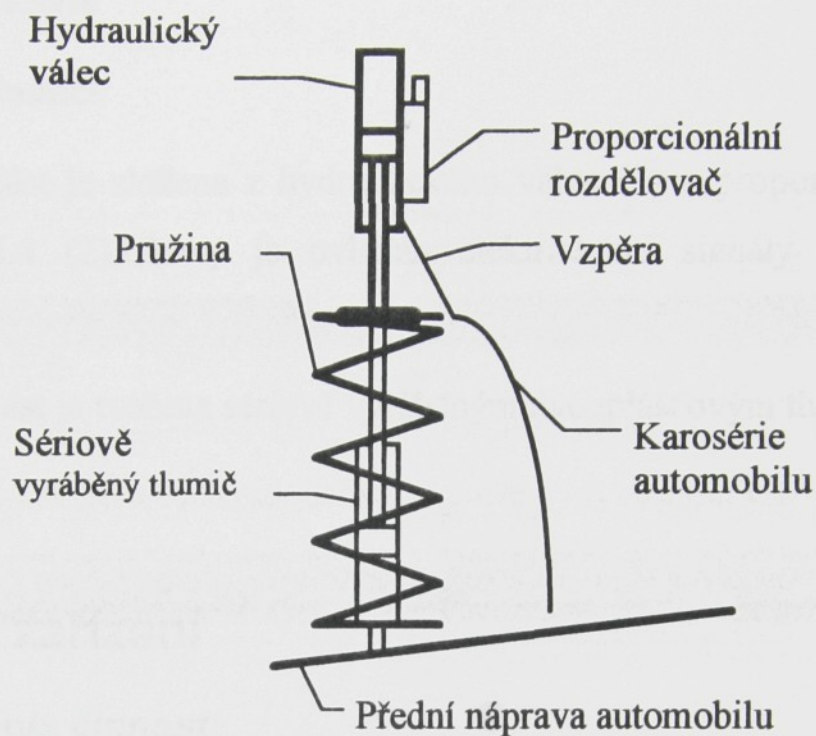
Pasivní část je tvořena hydraulickým válcem (1) a dvojicí škrtkých ventilů (3). Nastavením škrtkých ventilů lze určit kvalitu tlumení. Touto částí je nahrazeno klasické pasivní tlumení.

3.2. Nová verze konstrukce aktivního tlumiče

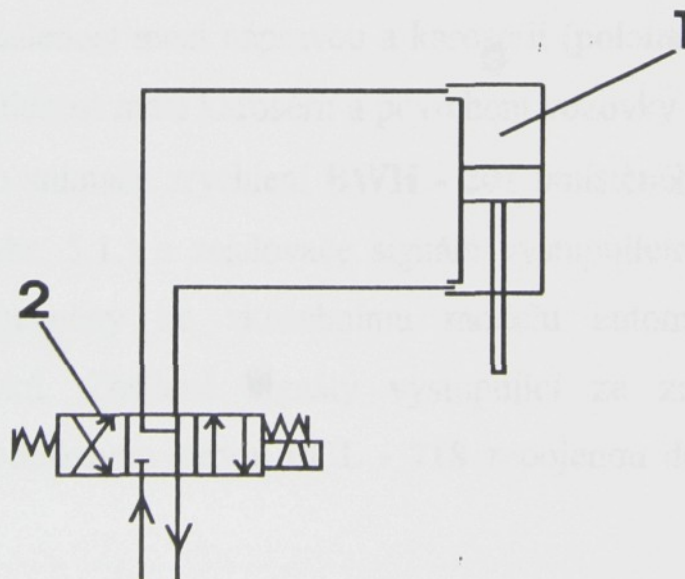
Při pokusech vykonaných na první verzi aktivního tlumení se nám nepodařilo docílit zlepšení odezvy čtvrtinového modelu automobilu na vstupující poruchu. Pokusy při řízení aktivního tlumení jsme prováděli pomocí klasického **PID** regulátoru vestavěného ve vytvořeném software. Z těchto důvodů jsme se rozhodli pro rekonstrukci aktivního tlumení.

Pro konstrukci nové verze aktivního tlumiče jsme použili sériově vyráběnou soustavu pružinu - tlumič, ke které jsme připojili do série hydraulický válec. Celý systém byl o tento hydraulický válec z konstrukčního hlediska prodloužen. Celou konstrukci jsme zabudovali do zkušební poloviny automobilu Škoda Felicie. K zabudování bylo nutno využít vzpěr spojujících karosérii s hydraulickým válcem. Pasivní tlumení zde zajišťuje dvouplášťový tlumič použitý ze sériově vyráběné verze soustavy pružina - tlumič. Aktivní

řízení vzájemné polohy nápravy kola a karosérie automobilu zde zajišťuje sériově připojený hydraulický válec.



obr. 2.2.1. Konstrukční schéma nové konstrukce aktivního tlumení.



Obr. 2.2.2. Schéma zapojení hydraulického válce.

1.....Hydraulický válec

2.....Proporcionální rozvaděč **PRL1**

Tento systém tlumení se z funkčního hlediska skládá ze dvou částí:

- Část aktivní
- Část tlumící

Aktivní část je složena z hydraulického válce (1) a proporcionálního rozvaděče **PRL1** (2), který je ovládán elektrickými signály z řídicího počítače.

Tlumící část je tvořena sériově vyráběným dvouplášťovým tlumičem.

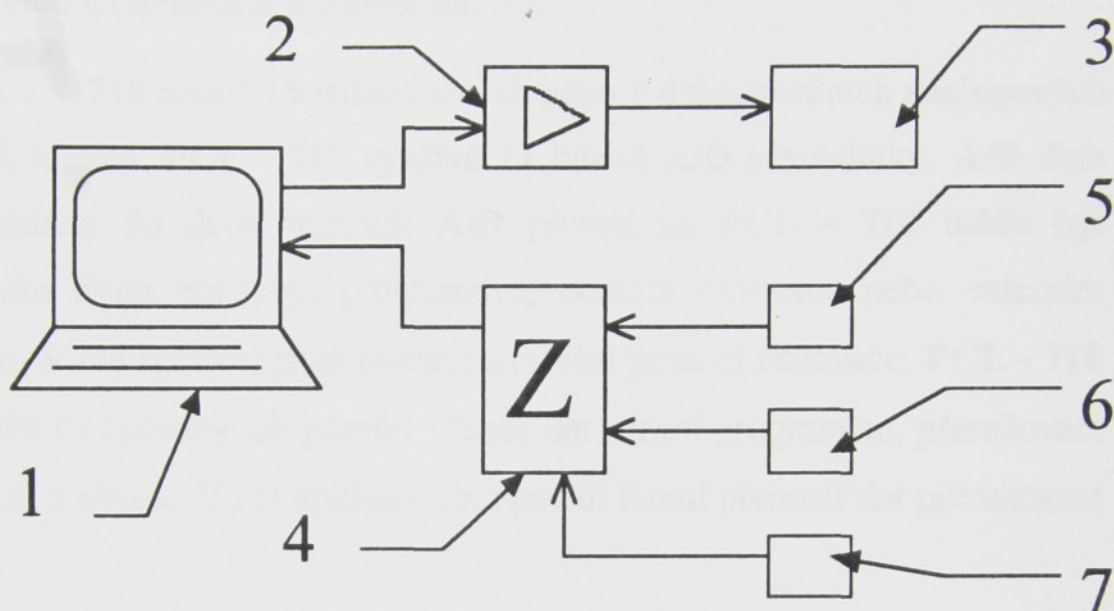
4. Měřicí zařízení

4.1. Popis činnosti

Měřicí obvod je složen z dvou potenciometrických snímačů **LWG - 225** snímajících vzdálenost mezi nápravou a karosérií (poloha x_2-x_1 viz. obr. 5.1.), absolutní vzdálenost mezi karosérií a povrchem vozovky (poloha x_2 viz. obr. 5.1.) a jednoho snímače zrychlení **BWH - 201** umístěného na poloose (zrychlení a_1 viz. obr. 5.1.) a zesilovače signálů vystupujících ze snímačů. Snímače jsou připevněny ke zkušebnímu modelu automobilu pomocí speciálních přípravků. Zesílené signály vystupující ze zesilovače jsou zpracovávány převodníkovou kartou **PCL - 718** zapojenou do standardního osobního počítače.

Elektrické signály ze snímačů polohy (2 x **LWG - 255**) a snímače zrychlení (**BWH - 201**) vstupují do zesilovače. V zesilovači jsou signály upravovány na rozsah 0 - 5 V. Ze zesilovače jsou upravené signály přivedeny na analogový vstup převodníkové karty **PCL - 718** - konektor 1 (CN1).

Signál ze snímače (LWG - 255) vzájemné polohy karosérie a poloosy je převeden na CN1 pin 5. Signál ze snímače (LWG - 255) absolutní polohy karosérie a povrchu vozovky je přiveden na CN1 pin 9. Signál ze snímače (BWH - 201) zrychlení je přiveden na CN1 pin 3.



obr.3.1 Schéma měřicího a řídicího obvod.

- kde
- 1- je standardní počítač třídy PC opatřený převodníkovou kartou PCL - 718
 - 2- je elektronická jednotka koncového stupně EL2 - 24A
 - 3- je proporcionální rozvaděč PRL 1
 - 4- je zesilovač signálů snímačů
 - 5, 6 - jsou snímače polohy LWG - 255
 - 7- je snímač zrychlení na nápravě BWH - 201.

4.2. Převodníková karta PCL 718

Převodníková karta PCL - 718 je univerzální zařízení pro vstup a výstup dat do a z počítače. Představuje rozhraní mezi digitální a analogovou částí řídicího a odměřovacího systému.

PCL - 718 nabízí 16 jednoduchých nebo 8 diferenciálních analogových vstupních kanálů. PCL - 718 využívá 12 bitové A/D převodníky. A/D data jsou ukládána do dvou registrů. A/D převod na PCL - 718 může být odstartován třemi způsoby: programově, pomocí časovače nebo externím impulsem. V mé aplikaci jsem použil startování pomocí časovače. PCL - 718 má rovněž tři způsoby jak provést přenos dat: řízení programem, přerušovací rutinou nebo DMA. V mé aplikaci jsem použil řízení přenosu dat přerušovací rutinou.

PCL - 718 nabízí dva D/A kanály, které využívají dva dvoubufferové dvanáctibitové D/A převodníky. Do těchto D/A registrů se dá pouze zapisovat. PCL - 718 vnitřně nabízí pevné napětí -5 V, které je dostupné na konektoru CN2 pin 7. V našem případě bylo toto napětí použito jako referenční, a proto je rozsah výstupu od 0 do +5 V.

PCL - 718 využívá programovatelný čítač/časovač Intel 8254, který se skládá ze tří nezávislých šestnáctibitových čítačů čítajících směrem dolů. Maximální frekvence hodin 8254 je 10 MHz. PCL - 718 má vlastní krystalový oscilátor nabízející frekvence 1 MHz a 10 MHz. Časovače 1 a 2 jsou nastaveny za sebe a pracují ve fixní konfiguraci jako děliče frekvence. Vstup čítače 1 je připojen ke generátoru kmitů o frekvenci 1 MHz nebo 10 MHz a výstup čítače 1 je připojen na vstup čítače 2. Výstup čítače 2 je vnitřně nastaven tak, aby zajišťoval startovací pulsy pro A/D převodník.

4.3. Snímače polohy

Potencometrické snímače polohy **LWG - 225** mají pracovní dráhu dlouhou **231 mm** při minimálním rozlišení **0,05 mm**, ale jsou schopné měřit pouze na délce **225 mm**. Jejich délka v zasunutém stavu je **400 mm**. Linearita je $\pm 0,07\%$. Maximální rychlost pohybu jezdce potenciometrů, při které dokáží snímače měřit je **5 m/s**.

4.4. Snímač zrychlení

Snímač zrychlení na poloose **BWH - 201** umožňuje měřit zrychlení až do **10 g** při maximální frekvenci **160 Hz**. Linearita těchto snímačů zrychlení je menší než **3 %**.

4.5. Filtrace vstupních signálů

Při procesu měření a vyhodnocování signálů ze dvou snímačů polohy **LWG - 255** a jednoho snímače zrychlení **BWH - 201** se na cestě od snímačů k převodníkové kartě **PCL - 718** indukuje k měřenému signálu nežádoucí porucha měření. Pro správné vyhodnocení naměřených dat je nutné tyto poruchy měření odfiltrovat vhodným filtrem. V mé aplikaci jsem použil filtr prvního řádu ve tvaru:

$$y_i = A \cdot y_i + B \cdot y_{i-1}$$

$$A = 1 - e^{-T_{vz}/T_f}$$

$$B = e^{-T_{vz}/T_f}$$

kde:

y_i - je měřená veličina v i -tém kroku

y_{i-1} - je měřená veličina v $(i-1)$ kroku

T_{vz} - je vzorkovací perioda měření snímané veličiny

T_f - je perioda filtru

Po zkušenostech při měření jsem zjistil, že nejvhodnější je volit periodu filtru v rozmezí $8 \cdot T_{vz} - 15 \cdot T_{vz}$.

5. Řídící obvod

5.1. Popis činnosti

Výstupní akční veličina z vytvořené aplikace je jako číslo převedena do analogové formy v rozsahu 0 - 5 V a přivedena na konektor CN2 - analogový výstup převodníkové karty PCL - 718. Analogový signál vystupující z převodníkové karty vstupuje do elektronické řídící jednotky EL2 - 24A. Elektronická řídící jednotka je řízena diferenciálně - rozdílem napětí na vstupních svorkách 2 a 3. Na svorku 2 je přivedeno napětí z D/A převodníku 0 (CN2 pin 3) a na svorku 3 je přivedeno napětí 0 - 5 V z D/A převodníku 1 (CN2 pin 4). V elektronické řídící jednotce EL2 - 24A je napěťový signál převeden na proudový signál se zesílením, které je možné nastavit uvnitř této jednotky. Tento proudový signál je přímo přiveden na proporcionální rozvaděč PRL 1, kterým je řízen.

5.2. Elektronická řídící jednotka EL2 - 24A

Elektronická řídící jednotka **EL2 - 24A** slouží k řízení proporcionálního rozvaděče **PRL1** šířkovou pulsní modulací. Jedná se o výkonný koncový stupeň. Jednotka pracuje jako převodník napětí - proud. Na vstupní svorky 2 a 3 je připojena výstupní napětí z D/A převodníků na kartě **PCL - 718**. Na svorky 1 a 6 je připojeno napájecí napětí **24 V**. Výstupní proudový signál určený pro proporcionální rozvaděč **PRL 1** je dostupný na svorkách 4 a 5.

5.3. Proporcionální rozvaděč PRL 1

Proporcionální rozvaděč **PRL 1** je určen ke spojitému řízení hydromotorů. Řídí velikost a směr průtoku tlakového oleje. Hydraulickou část se skládá z litinového tělesa do něhož je nalícováno šoupátko uspořádané pro zajištění požadované funkce. Ovládacím prvkem **PRL 1** je lineární motor. Výchylka kotvy lineárního motoru je přímo úměrná řídícímu proudu a směr výchylky je závislý na směru průtoku elektrického proudu. Tento lineární motor je přímo řízen elektronickou řídící jednotkou **EL2 - 24A**.

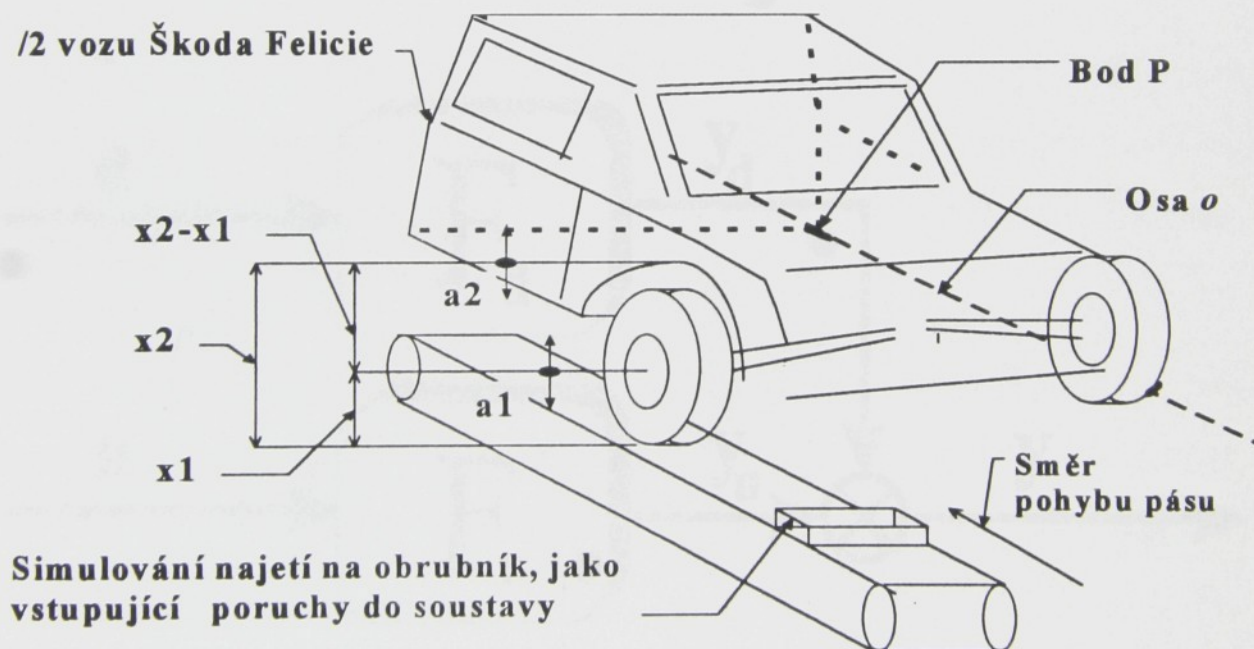
5.4. Hydraulický válec

Jako akční člen jsme v soustavě aktivního tlumení použili dvoučinný hydraulický motor s jednostrannou pístnicí. Tento hydraulický motor umožňuje zastavení motoru na libovolně dlouhou dobu při plném zatížení. Ve spojení s proporcionálním rozvaděčem **PRL 1** umožňuje spojitě řízení rychlosti pohybu pístu.

6. Simulátor poruchy

Přední polovina karosérie automobilu s aktivním tlumičem je uložena na speciálním přípravku vytvořeném pro zkoušení vlastností a chování aktivního tlumiče v podmínkách podobných reálnému prostředí. Simulátor je vyroben z vyřazeného pásového dopravníku, na jehož pás byl připevněn pryžový hranol simulující terénní nerovnost. Hranol je obdélníkového průřezu o rozměrech: výška 4 cm a šířka 11 cm.

Přední polovina karosérie automobilu je pravým předním kolem uložena na pásovém dopravníku - simulátoru poruch. Levé přední kolo je pevně uchyceno ve speciální konstrukci znemožňující natočení nápravy, ale umožňuje naklápění karosérie kolem osy o . V bodě P je karosérie uložena pružně na silenblocích.



obr. 5.1. Schéma simulátoru poruch a znázornění měřených veličin.

kde x_2 je absolutní vzdálenost karosérie vozu a povrchu vozovky [m]

$x_2 - x_1$ je vzdálenost nápravy a karosérie vozu [m]

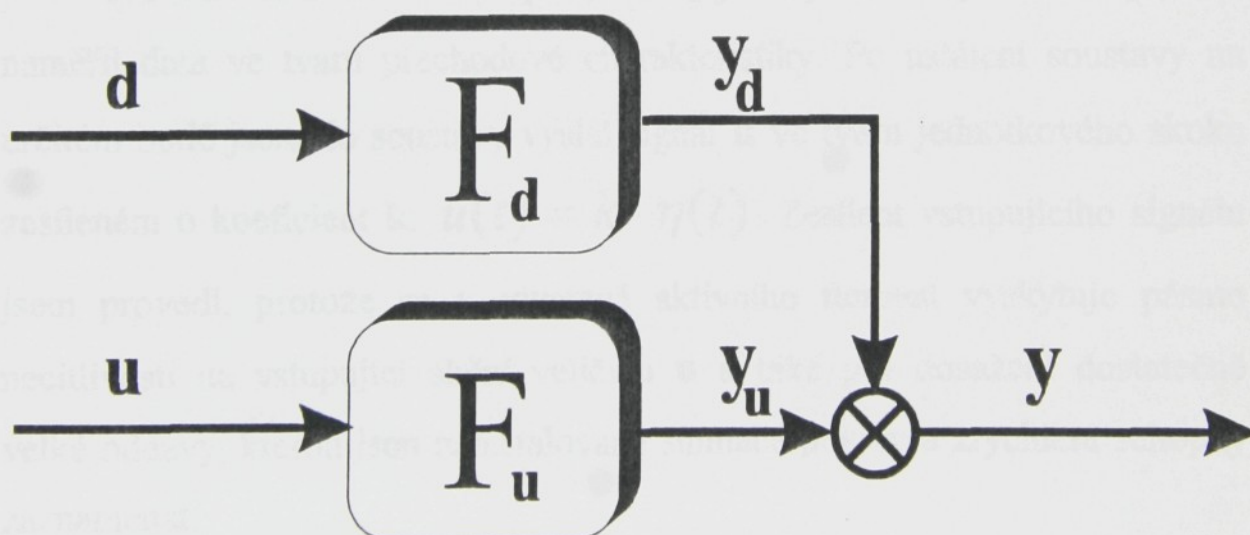
a_1 je zrychlení na nápravě vozu [ms^{-2}]

a_2 je zrychlení na karosérii vozu [ms^{-2}].

7. Identifikace

7.1. Soustava

Pro náš případ identifikace dynamické soustavy automobilu se zabudovaným aktivním tlumením jsme uvažovali soustavu skládající se ze dvou částí - přenosu od neměřené poruchy d a přenos od akčních zásahů u . Výsledná odezva soustavy y na vstupující veličiny je získána sečtením jednotlivých dílčích odezev od neměřené poruchy y_d a od akčních zásahů y_u .



obr. 6.1. Blokové schéma identifikované soustavy

$$y_u = F_u \cdot u$$

$$y_d = F_d \cdot d$$

$$y = y_u + y_d$$

$u(t)$ - akční veličina vstupující do soustavy

$d(t)$ - neměřená porucha vstupující do soustavy

$y_u(t)$ - odezva soustavy na vstupující akční veličinu

$y_d(t)$ - odezva soustavy na vstupující neměřenou poruchu

$y(t)$ - celková odezva soustavy na vstupující $u(t)$ a $d(t)$

F_u - přenos soustavy od akční veličiny

F_d - přenos soustavy od neměřené poruchy

Pro off - line identifikaci přenosu F_u jsem pomocí vytvořené aplikace naměřil data ve tvaru přechodové charakteristiky. Po ustálení soustavy na určitém bodě jsem do soustavy vyslal signál u ve tvaru jednotkového skoku zesíleném o koeficient k : $u(t) = k \cdot \eta(t)$. Zesílení vstupujícího signálu jsem provedl, protože se v soustavě aktivního tlumení vyskytuje pásmo necitlivosti na vstupující akční veličinu u a také pro dosažení dostatečně velké odezvy, kterou jsou nainstalované snímače polohy a zrychlení schopny zaznamenat.

Pro off - line identifikaci přenosu F_d jsem naměřil odezvy soustavy automobilu se zabudovaným systémem aktivního tlumení při vstupující poruše d vytvářené pomocí simulátoru poruchy (viz odst. 6).

7.2. Identifikace F_u - přenosu

Při identifikaci přenosu F_u jsem vycházel z možnosti naměřit odezvy soustavy ve tvaru přechodových charakteristik. Pro další zpracování v algoritmech optimálního seřízení regulátorů na řízení aktivního tlumení je získané chování dynamického systému automobilu s aktivním tlumením pružení kola potřebné převést do tvaru obrazového přenosu. Za předpokladu, že identifikovaná soustava je lineární, můžeme přenos soustavy vyjádřit v obecném tvaru jako:

$$F_u(s) = \frac{B}{A} = \frac{b_m \cdot s^m + b_{m-1} \cdot s^{m-1} + \dots + b_1 \cdot s + b_0}{a_n \cdot s^n + a_{n-1} \cdot s^{n-1} + \dots + a_1 \cdot s + a_0} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

kde je **Td** ... dopravní zpoždění soustavy

s ... Laplaceův operátor

b_i ... koeficienty čitatele přenosu F_u

a_i ... koeficienty jmenovatele přenosu F_u

m ... řád čitatele přenosu F_u , **m** < **n**

n ... řád jmenovatele přenosu F_u

Pro zjednodušení výpočtů přechodových charakteristik a také z důvodu, že v praxi většina vyskytujících se soustav lze aproximovat určitými typy přechodových charakteristik, nahrazujeme skutečný přenos soustavy přenosem, například soustavy prvního řádu:

$$F(s) = \frac{k}{T \cdot s + 1},$$

kde je **T** ... časová konstanta soustavy

k ... zesílení soustavy

Hodnoty parametrů přenosu (respektive náhradní přechodové charakteristiky) pak určíme minimalizací součtu kvadrátů rozdílu mezi hodnotami identifikované přechodové charakteristiky ve vybraných okamžicích a hodnotami aproximované přechodové charakteristiky.

Vyhledávání optimálních parametrů přechodové charakteristiky dle kvadratického kritéria provádíme buď prostým prohledáváním intervalů hledaného parametru se zvoleným krokem (pro každou hodnotu parametrů nalezneme hodnotu kvadrátu odchylek, a kde je tato hodnota nejnižší, tam dostáváme optimum ve zvoleném intervalu) nebo jinou numerickou metodou využívající derivace kvadratického funkcionálu (např. gradientní metodou).

7.2.1. Definované přechodové charakteristiky pro přenos F_u

Pro spojitou identifikaci dynamické soustavy automobilu se zabudovaným aktivním tlumením jsem pro F_u přenos v mé aplikaci předdefinoval několik přechodových charakteristik, u kterých jsem předpokládal, že by mohly být vyhovujícím řešením identifikace. Předdefinoval jsem si soustavy prvního a druhého řádu s konstantními čitateli a astatismem prvního řádu.

Popis definovaných přechodových charakteristik:

- **Přenos soustavy prvního řádu:**

$$F(s) = \frac{k}{T \cdot s + 1} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

$$h(t) = k \cdot (1 - e^{-(t-T_d)/T}) \cdot \eta(t - T_d)$$

kde $F(s)$... je přenos soustavy prvního řádu

$h(t)$... je přechodová charakteristika soustavy prvního řádu.

- **Přenos soustavy druhého řádu s rozdílnými časovými konstantami**

$$F(s) = \frac{k}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1)} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

$$h(t) = k \cdot \left(1 + \frac{T_2}{(T_1 - T_2)} \cdot e^{-(t-T_d)/T_2} - \frac{T_1}{(T_1 - T_2)} \cdot e^{-(t-T_d)/T_1} \right) \cdot \eta(t - T_d)$$

kde $F(s)$ je přenos soustavy druhého řádu s rozdílnými časovými konstantami

$h(t)$ je přechodová charakteristika soustavy druhého řádu s rozdílnými časovými konstantami.

- **Přenos soustavy druhého řádu s dvojnásobnou časovou konstantou**

$$F(s) = \frac{k}{(T \cdot s + 1)^2} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

$$h(t) = k \cdot \left(1 - e^{-(t-T_d)/T} - \frac{(t - T_d)}{T} \cdot e^{-(t-T_d)/T} \right) \cdot \eta(t - T_d)$$

kde $F(s)$ je přenos soustavy druhého řádu s dvojnásobnou časovou konstantou

$h(t)$ je přechodová charakteristika soustavy druhého řádu s dvojnásobnou časovou konstantou.

- **Přenos soustavy prvního řádu s astatismem prvního řádu**

$$F(s) = \frac{k}{(T \cdot s + 1) \cdot s} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

$$h(t) = k \cdot \left((t - T_d) + T \cdot e^{-(t-T_d)/T} - T \right) \cdot \eta(t - T_d)$$

kde **$F(s)$** je přenos soustavy prvního řádu s astatismem prvního řádu

$h(t)$ je přechodová charakteristika soustavy prvního řádu s astatismem prvního řádu.

- **Přenos soustavy druhého řádu s dvojnásobnou časovou konstantou a astatismem prvního řádu**

$$F(s) = \frac{k}{(T \cdot s + 1)^2 \cdot s} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

$$h(t) = k \cdot \left((t - T_d) - 2 \cdot T + (t - T_d) \cdot e^{-(t-T_d)/T} + 2 \cdot T \cdot e^{-(t-T_d)/T} \right) \cdot \eta(t - T_d)$$

kde **$F(s)$** je přenos soustavy druhého řádu s dvojnásobnou časovou konstantou a astatismem prvního řádu

$h(t)$ je přechodová charakteristika soustavy druhého řádu s dvojnásobnou časovou konstantou a astatismem prvního řádu

$\eta(t)$ je skok v čase **t** .

7.3. Identifikace F_d - přenosu

Jelikož vstupující porucha do dynamického systému automobilu se zabudovaným aktivním tlumením nemá charakter skoku, nelze odezvu tohoto dynamického systému naměřit ve tvaru přechodové charakteristiky. Tato vstupující porucha má charakter impulsu o dané šířce a výšce (viz. odst. 6). Pro numerické řešení soustavy s tímto typem vstupujícího signálu jsem zpracoval metodu **Runge - Kutta**.

Obrazový přenos soustavy pro identifikaci F_u jsem v obecném tvaru uvažoval jako:

$$F_u(s) = \frac{D}{C} = \frac{d_m \cdot s^m + d_{m-1} \cdot s^{m-1} + \dots + d_1 \cdot s + d_0}{c_n \cdot s^n + c_{n-1} \cdot s^{n-1} + \dots + c_1 \cdot s + c_0} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

kde je T_d ... dopravní zpoždění soustavy

s ... Laplaceův operátor

d_i ... koeficienty čitatele přenosu F_d

c_i ... koeficienty jmenovatele přenosu F_d

m ... řád čitatele přenosu F_d , $m < n$

n ... řád jmenovatele přenosu F_d .

7.3.1. Definované přenosy soustav pro identifikaci F_d

Pro identifikaci F_d přenosu jsem v mé aplikaci předdefinoval přenosy soustav druhého a třetího řádu s konstantním čitatelem a přenosy soustav druhého a třetího řádu s polynomem v čitateli. Pro řešení těchto

diferenciálních rovnic jsem použil numerickou metodu **Runge - Kutta**, která umožňuje výpočet řešení pro libovolný vstupní signál do soustavy.

Popis definovaných přenosů soustav:

- **Soustava druhého řádu s konstantou v čitateli**

$$F_d(s) = \frac{d_0}{s^2 + c_1 \cdot s + c_0} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

- **Soustava druhého řádu s polynomem prvního řádu v čitateli**

$$F_d(s) = \frac{d_1 \cdot s + d_0}{s^2 + c_1 \cdot s + c_0} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

- **Soustava třetího řádu s konstantou v čitateli**

$$F_d(s) = \frac{d_0}{s^3 + c_2 \cdot s^2 + c_1 \cdot s + c_0} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

- **Soustava třetího řádu s polynomem prvního řádu v čitateli**

$$F_d(s) = \frac{d_1 \cdot s + d_0}{s^3 + c_2 \cdot s^2 + c_1 \cdot s + c_0} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

- **Soustava třetího řádu s polynomem druhého řádu v čitateli**

$$F_d(s) = \frac{d_2 \cdot s + d_1 \cdot s + d_0}{s^3 + c_2 \cdot s^2 + c_1 \cdot s + c_0} \cdot e^{-T_d \cdot s}$$

kde T_d ... je dopravní zpoždění soustavy
 s ... je Laplaceův operátor
 d_i ... jsou koeficienty čitatele přenosu F_d
 c_i ... jsou koeficienty jmenovatele přenosu F_d

7.4. Metoda Runge - Kutta

Pro řešení dynamického systému metodou číslíkové simulace je výhodné popsat tento dynamický systém soustavou stavových proměnných, které vedou na diferenciální rovnici:

$$y' = f(y, x)$$

$$y(x_0) = y_0$$

kde y je vektor stavových veličin systému

$f(x, y)$ je vektor funkcí

x je nezávisle proměnná

$$y' = \frac{dy}{dx}$$

Vektorový zápis vlastně představuje soustavu diferenciálních rovnic prvního řádu a v tomto tvaru bývá označován za matematický popis systému.

Metoda **Runge - Kutta** je odvozena z Eulerovy metody řešení diferenciálních rovnic, která je dána rekurentním zápisem:

$$y_{n+1} = y_n + h_{n+1} \cdot f(x_n, y_n)$$

kde $n=0,1, \dots, N$

N je počet kroků řešení výpočtu

$n+1$ je pořadové číslo integračního kroku

h_{n+1} je délka $(n+1)$ - ho integračního kroku

x_n je hodnota nezávisle proměnné v n -tém kroku

y_n je hodnota numerického řešení v bodě x_n získaná v n -tém integračním kroku, aproximující přesnou hodnotu řešení.

Jedná se o jednouzlovou metodu, která při výpočtu využívá hodnotu y_n bodě x_n , a hodnotu h_{n+1} , které jsou o jeden krok zpět, a nebere do úvahy vzdálenější uzly. Eulerova metoda využívá při přechodu k dalšímu bodu směrnici tečny což je limitující pro přesnost výpočtu.

Metoda **Runge - Kutta** je modifikací Eulerovy metody ve smyslu, že pro nalezení směru pro přechod k dalšímu bodu používá Taylorův polynom, který nahrazuje směrnici tečny Eulerovy metody.

Velmi používanou metodou numerického řešení diferenciálních rovnic je čtyřuzlová metoda Runge - Kutta pro svoji jednoduchost a dostatečnou přesnost. Tuto metodu lze matematicky popsat:

$$y_{n+1} = y_n + \frac{1}{6} \cdot h_{n+1} \cdot (K_1 + 2 \cdot K_2 + 2 \cdot K_3 + K_4)$$

$$K_1 = f(y_n, x_n)$$

$$K_2 = f\left(y_n + \frac{h_{n+1}}{2} \cdot K_1, x_n + \frac{h_{n+1}}{2}\right)$$

$$K_3 = f\left(y_n + \frac{h_{n+1}}{2} \cdot K_2, x_n + \frac{h_{n+1}}{2}\right)$$

$$K_4 = f(y_n + h_{n+1} \cdot K_3, x_n + h_{n+1})$$

kde h_{n+1} je šířka kroku integrace v kroku $n+1$

x_n je hodnota nezávisle proměnné v n -tém kroku

y_n je hodnota numerického řešení v bodě x_n získaná v n -tém integračním kroku, aproximující přesnou hodnotu řešení.

Čtyřbodovou metodu Runge - Kutta pro numerické řešení diferenciálních rovnic jsem použil v mé aplikaci pro identifikaci přenosu F_u .

7.5. Kvadratické kritérium

Úkolem spojitě identifikace je provést odhad parametrů spojitěho přenosu na základě porovnávání s dynamickým systémem podle zvoleného kritéria. Hodnoty parametrů přenosu (respektive u identifikace F_u přenosu náhradní přechodové charakteristiky) pak určíme minimalizací součtu kvadrátů rozdílu mezi hodnotami identifikované přechodové charakteristiky

ve vybraných okamžicích a hodnotami aproximované přechodové charakteristiky dle vzorce:

$$e_k(x) = y_{km}(x) - y_k$$

$$J(x) = \sum_{k=0}^n \left(e_k(x) \right)^2 = \sum_{k=0}^n \left(y_{km}(x) - y_k \right)^2 \rightarrow \min$$

kde e_k je rozdíl naměřené a aproximované odezvy soustavy v čase $k \times T$

T je perioda vzorkování naměřených hodnot

n je počet vzorků hodnot pro identifikaci

y_k je hodnota odezvy aproximovaného přenosu v k -tém kroku

y_{km} je hodnota odezvy naměřené dynamické soustavy

x je vektor hledaných parametrů přenosu

J je minimalizovaný funkcionál závislý na parametrech x .

Vyhledávání optimálních parametrů přenosu dle kvadratického kritéria provádíme buď prostým prohledáváním intervalů hledaného parametru se zvoleným krokem, nebo jinou vhodnou numerickou optimalizační metodou (např. gradientní metodou).

7.6. Gradientní metoda nalezení minima funkce

Pro nalezení hledaného minima funkcionálu J (viz. odst. 7.5.) závislého na parametrech zvoleného aproximovaného přenosu lze použít řadu

numerických metod k hledání extrému funkce. Tyto numerické metody lze rozdělit do dvou skupin:

- **metody využívající derivace funkce**
- **metody hledání extrému bez derivace funkce.**

Do skupiny metod využívající derivace funkcionálu patří například : metoda největšího spádu, Newtonova metoda, metoda gradientu atd..

Do skupiny metod hledání extrému bez derivace funkce: metoda Gaussova, metoda zkušebního kroku, metoda náhodného hledání atd..

Při hledání minima funkcionálu gradientní metodou se používá iteračního postupu pro výpočet hodnot souřadnic (parametrů x funkcionálu $J(x)$) minima:

$$x_{k+1} = x_k + \Delta x_k = x_k + \lambda_k \cdot s_k^1 = x_k + \lambda_k^1 \cdot s_k$$

kde x_k je vektor předcházejících hodnot řešení

Δx_k je přírůstkový vektor pro přechod na následující bod řešení

s_k^1 je jednotkový směrový vektor ve směru Δx_k

s_k je libovolný vektor ve směru Δx_k

λ_k, λ_k^1 jsou skaláry.

Směr přírůstkového vektoru se volí obrácený ku gradientu funkcionálu:

$$s_k^1 = - \frac{\nabla J(x_k)}{\|\nabla J(x_k)\|},$$

$$\text{kde gradient je : } \nabla J(x_k) = \begin{bmatrix} \frac{\partial J}{\partial x_{k1}} \\ \frac{\partial J}{\partial x_{k2}} \\ \vdots \\ \frac{\partial J}{\partial x_{kn}} \end{bmatrix}$$

$$\text{a norma gradientu je: } \|\nabla J(x_k)\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial J(x_k)}{\partial x_{ki}} \right)^2}$$

kde n je počet parametrů funkcionálu $J(x)$

x_k je vektor parametrů funkcionálu $J(x)$

k je krok řešení

Po dosazení dostáváme vztah:

$$x_{k+1} = x_k - \lambda_k \cdot \frac{\nabla J(x_k)}{\|\nabla J(x_k)\|} = x_k - \lambda_k^{-1} \cdot \nabla J(x_k)$$

Hodnota λ_k respektive λ_k^{-1} se volí buď během celého procesu konstantní nebo se mění tak, aby se zabránilo zbytečně velkému počtu iterací na jedné straně (při malé hodnotě λ) a přílišnému vzrůstu $J(x)$ při překročení minima na druhé straně (při velké hodnotě λ). Hodnota λ by se měla zmenšovat při přiblížení k minimu. V mé aplikaci jsem použil jak algoritmus s konstantním přírůstkem, tak algoritmus s měnícím se přírůstkem pro každý parametr funkcionálu zvlášť.

8. Popis vytvořeného programu

8.1. Vývojové prostředí

Pro vývoj mé aplikace jsem použil zřejmě nejpopulárnější realizaci programovacího jazyka Pascal na počítačích třídy PC - **Turbo Pascal** verze 7.0 kalifornské firmy Borland, do které jsou implementovány rysy objektově orientovaného programování. Objektově orientované programování je dnes obecně považováno za nejmodernější a nejprogresivnější programátorskou techniku. Nejdůležitější součástí této verze **Turbo Pascal** je především programová jednotka **Turbo Vision**, která je i při své poměrné jednoduchosti mocným nástrojem. S pomocí programové jednotky **Turbo Vision** lze poměrně jednoduše vytvořit uživatelské rozhraní na vysoké úrovni. Standardní programová jednotka **Turbo Vision** pracuje pouze v textovém módu. Pro svou aplikaci, kde jsem potřeboval využívat grafické rozhraní pro zobrazování grafů měření a identifikace, jsem použil nadstavbu **GETV** (Graphics Engine for Turbo Vision) pro **Turbo Vision** podporující grafické rozhraní a standardní programovou jednotku **Turbo Pascal** **graph.tpu**.

8.2. Spuštění programu

Program je spustitelný v operačním systému **MS Dos** na standardních počítačích třídy **PC** s minimální konfigurací **486 DX**, **4 MB RAM** a **1 MB** volné paměti na harddisku. Měření lze uskutečnit pouze v laboratoři vybavené měřicím a řídicím zařízením (viz. odst. 3, 4 a 5). Soubor **tlumic.exe**, který lze naléznout na disketě přiložené k diplomové práci, lze spustit napsáním **tlumic.exe** do příkazového řádku operačního systému **MS DOS**. Bez jakéhokoliv parametru za **tlumic.exe** se program spustí v grafickém rozlišení

640 na 480 pixlů. Při spuštění lze použít dva parametry pro různé grafické rozlišení. Jestliže se při spuštění použije parametr **-1**, je program spuštěn s rozlišením 800 na 600 pixlů, a při použití parametru **-2**, je program spuštěn s rozlišením 1024 na 768 pixlů. Při spuštění ve vývojovém prostředí **Borland Pascal** je třeba přidat do kolonky **Unit directories** cestu na adresář **TVG_LIB** obsažený na přiložené disketě. Program lze plně ovládat z klávesnice nebo myši. Upozorňuji, že program je určen pouze pro aplikování na měření a zpracování dat aktivního tlumení na zkušební polovině automobilu **Škoda Felicie**. Program neobsahuje žádnou nápovědu a zpracovává data pouze v přesně daném formátu.

8.3. Hlavní menu a submenu

Po spuštění programu **tlumic.exe**, nacházejícího se na disketě přiložené k této diplomové práci, se na monitoru zobrazí hlavní menu tohoto programu. Hlavní menu se skládá z položek: **Soubor**, **Graf ze souboru**, **Identifikace F_u** , **Identifikace F_d** a položky **Měření**.



obr. 8.3.1. Vzhled hlavního menu.

Při výběru položky **Soubor** se otevře submenu dávající volby: Změny adresáře, Otevření souboru a Konec programu. Otevření souboru lze aplikovat pouze na textový soubor obsahující šest sloupců dat v číselné formě (konvertováno z typu integer).

Při výběru položky **Graf ze Souboru** se na celý desktop zobrazí graf z již otevřeného souboru, nebo po měření z naměřených dat.

Při výběru položky **Identifikace F_u** se otevře submenu obsahující položky: Meze Identifikace, Volba kanálu, Normalizace, Volba Soustavy, Volba metody, Identifikace a Výsledky Identifikace.

Při výběru položky **Identifikace F_d** se otevře submenu obsahující položky: Meze Identifikace, Volba kanálu, Normalizace, Volba Soustavy, Volba metody, Identifikace a Výsledky Identifikace.

Při výběru položky **Měření** se otevře submenu obsahující položky: Nastavení měření a Měření.

8.4. Měření

Při výběru položky **Měření** z hlavního menu se otevře submenu obsahující položky: **Nastavení měření a Měření**.

Při výběru položky **Nastavení měření** ze submenu Měření se otevře dialogové okno nastavení měření. Toto dialogové okno dává možnost volby periody vzorkování, zda ukládat či neukládat data do souboru s volbou jména souboru a kanály převodníkové karty **PCL - 718**, které chceme měřit.

Při výběru položky **Měření** se spustí převodníková karta **PCL - 718** a na desktop se zobrazí graf měřených veličin. V průběhu měření lze do dynamického systému zasahovat změnou akční veličiny pomocí kláves + pro zvyšování akční veličiny a - pro snižování akční veličiny.

8.5. Ukládání dat

Jestliže v dialogovém okně **Nastavení měření** zvolíme v položce Ukládat stav Ano, potom jsou měřená data uložena do textového souboru se jménem souboru zvoleným v tomto dialogovém okně. Data jsou uložena v šesti sloupcích o maximální délce 2500 položek. Jednotlivé položky jsou překonvertovány z typu integer do typu string. Na prvním řádku souboru je uložena vzorkovací perioda.

8.6. Identifikace F_u

K identifikaci F_u lze použít data ze souboru nebo přímo data naměřená. Program umožňuje identifikovat přenos libovolného měřeného kanálu. Pro správnou identifikaci doporučuji použít následující postup:

- 1) Zvolit kanály zastupující akční veličinu u a vystupující veličinu ze soustavy pomocí dialogového okna Volba kanálů spuštěného položkou Volba Kanálů v submenu Identifikace F_u .
- 2) Vybrat meze identifikace pomocí dialogového okna Meze identifikace spuštěného položkou Meze identifikace v submenu Identifikace F_u .
- 3) Provést normalizaci vybraných kanálů výběrem položky Normalizace v submenu Identifikace F_u .
- 4) Zvolit typ soustavy pro identifikaci a zadat periodu vzorkování pomocí dialogového okna spuštěného položkou Soustava v submenu Identifikace F_u . Po volbě soustavy se spustí dialogové okno pro zadání počátečních parametrů identifikace.

- 5) Vybrat typ numerické metody pro hledání minima funkcionálu pomocí dialogového okna spuštěného položkou Typ metody v submenu Identifikace F_u .
- 6) Spustit vlastní identifikaci soustavy vybráním položky Identifikace v submenu Identifikace F_u .
- 7) Výsledky identifikace si lze prohlédnout v dialogovém okně Výsledky identifikace spuštěného pomocí položky Výsledky identifikace v submenu Identifikace F_u .

8.7. Identifikace F_d

K identifikaci F_d lze použít data ze souboru nebo přímo data naměřená. Program umožňuje identifikovat přenos libovolného měřeného kanálu. Pro správnou identifikaci doporučuji použít následující postup:

- 1) Vybrat meze identifikace pomocí dialogového okna Meze identifikace spuštěného položkou Meze identifikace v submenu Identifikace F_d .
- 2) Jelikož vybavení laboratoře neumožňuje měřit vstupující poruchu, je nutno vytvořit data představující tuto poruchu. Vytvoření dat dosáhneme vybráním položky Porucha v submenu Identifikace F_d .
- 3) Zvolit kanály zastupující akční veličinu u a vystupující veličinu ze soustavy pomocí dialogového okna Volba kanálů spuštěného položkou Volba Kanálů v submenu Identifikace F_d .
- 4) Provést normalizaci vybraných kanálů výběrem položky Normalizace v submenu Identifikace F_d .

- 5) Zvolit typ soustavy pro identifikaci a zadat periodu vzorkování pomocí dialogového okna spuštěného položkou Soustava v submenu Identifikace F_d . Po volbě soustavy se spustí dialogové okno pro zadání počátečních parametrů identifikace.
- 6) Vybrat typ numerické metody pro hledání minima funkcionálu pomocí dialogového okna spuštěného položkou Typ metody v submenu Identifikace F_d .
- 7) Spustit vlastní identifikaci soustavy vybráním položky Identifikace v submenu Identifikace F_d .
- 8) Výsledky identifikace si lze prohlédnout v dialogovém okně Výsledky identifikace spuštěného pomocí položky Výsledky identifikace v submenu Identifikace F_d .

9. Výsledky identifikace

Identifikaci soustavy aktivního tlumení jsem provedl pro novou verzi i původní verzi konstrukce. U nové verze jsem provedl identifikaci přenosu od poruchy a od akční veličiny. U původní verze jsem provedl identifikaci přenosu od akční veličiny. Pro oba případy jsem zjistil přenosy absolutní vzdálenosti karosérie vozu a vozovky x_2 a vzdálenosti mezi karosérií a nápravou kola $x_2 - x_1$. K určení počátečních parametrů přenosu jsem použil programový balík Matlab s podporou pro simulaci chování dynamických soustav Simulink.

- 5) Zvolit typ soustavy pro identifikaci a zadat periodu vzorkování pomocí dialogového okna spuštěného položkou Soustava v submenu Identifikace F_d . Po volbě soustavy se spustí dialogové okno pro zadání počátečních parametrů identifikace.
- 6) Vybrat typ numerické metody pro hledání minima funkcionálu pomocí dialogového okna spuštěného položkou Typ metody v submenu Identifikace F_d .
- 7) Spustit vlastní identifikaci soustavy vybráním položky Identifikace v submenu Identifikace F_d .
- 8) Výsledky identifikace si lze prohlédnout v dialogovém okně Výsledky identifikace spuštěného pomocí položky Výsledky identifikace v submenu Identifikace F_d .

9. Výsledky identifikace

Identifikaci soustavy aktivního tlumení jsem provedl pro novou verzi i původní verzi konstrukce. U nové verze jsem provedl identifikaci přenosu od poruchy a od akční veličiny. U původní verze jsem provedl identifikaci přenosu od akční veličiny. Pro oba případy jsem zjistil přenosy absolutní vzdálenosti karosérie vozu a vozovky x_2 a vzdálenosti mezi karosérií a nápravou kola $x_2 - x_1$. K určení počátečních parametrů přenosu jsem použil programový balík Matlab s podporou pro simulaci chování dynamických soustav Simulink.

9.1. Identifikace původní verze aktivního tlumiče

9.1.1. Identifikace absolutní polohy x_2 pro přenos od akční veličiny

Jako nejvhodnější přenos pro tuto identifikaci jsem vybral přenos soustavy druhého řádu s dopravním zpožděním. Po provedené identifikaci vyšel přenos ve tvaru:

$$F_u(s) = \frac{1.448}{(0.4079 \cdot s + 1) \cdot (0.889 \cdot s + 1)} \cdot e^{-0.0533 \cdot s}$$

Kořeny charakteristické rovnice přenosu jsou:

$$s_1 = -2.452$$

$$s_2 = -1.125$$

Přechodová charakteristika:

$$h(t) = 1.448 \cdot \left(0.847 \cdot e^{-1.1247(t-0.0533)} - 1.847 \cdot e^{-2.4515(t-0.0533)} + 1 \right) \cdot \eta(t - 0.0533)$$

kde $\eta(t)$ je jednotkový skok v čase t .

Porovnání grafu odezvy identifikované soustavy a naměřených hodnot x_2 je v příloze graf č.1.

9.1.2. Identifikace vzájemné polohy karosérie a nápravy kola $x_2 - x_1$ pro přenos od akční veličiny

Jako nejvhodnější přenos pro tuto identifikaci jsem vybral přenos soustavy druhého řádu s dopravním zpožděním. Po provedené identifikaci vyšel přenos ve tvaru:

$$F_u(s) = \frac{1.2087}{(0.595 \cdot s + 1) \cdot (0.618 \cdot s + 1)} \cdot e^{-0.0651 \cdot s}$$

Kořeny charakteristické rovnice přenosu jsou:

$$s_1 = -1.681$$

$$s_2 = -1.618$$

Přechodová charakteristika:

$$h(t) = 1.208 \cdot (25.8 \cdot e^{-1.68(t-0.0651)} - 26.86 \cdot e^{-1.618(t-0.0651)} + 1) \cdot \eta(t - 0.0651)$$

kde $\eta(t)$ je jednotkový skok v čase t .

Porovnání grafu odezvy identifikované soustavy a naměřených hodnot $x_2 - x_1$ je v příloze **graf č.2**.

9.2. Identifikace nové verze aktivního tlumiče

9.2.1. Identifikace absolutní vzdálenosti karosérie od vozovky x_2 pro přenos od akční veličiny

Jako nejvhodnější přenos pro tuto identifikaci jsem vybral přenos soustavy druhého řádu s astatismem prvního řádu s dopravním zpožděním. Po provedené identifikaci vyšel přenos ve tvaru:

$$F_u(s) = \frac{0.677}{(0.125 \cdot s + 1) \cdot s} \cdot e^{-0.01 \cdot s}$$

Kořeny charakteristické rovnice přenosu jsou:

$$s_1 = -8$$

$$s_2 = 0$$

Přechodová charakteristika:

$$h(t) = 0.08462 \cdot \left(e^{-8(t-0.01)} + 8 \cdot (t - 0.01) - 1 \right) \cdot \eta(t - 0.01)$$

kde $\eta(t)$ je jednotkový skok v čase t .

Porovnání grafu odezvy identifikované soustavy a naměřených hodnot x_2 je v příloze graf č.3.

9.2.2. Identifikace vzájemné vzdálenosti karosérie a nápravy kola x_2-x_1 pro přenos od akční veličiny

Jako nejvhodnější pro tuto identifikaci jsem vybral přenos soustavy druhého řádu s astatismem prvního řádu. Po provedené identifikaci vyšel přenos ve tvaru:

$$F_u(s) = \frac{0.6317}{(0.182 \cdot s + 1) \cdot s}$$

Kořeny charakteristické rovnice přenosu jsou:

$$s_1 = -5.495$$

$$s_2 = 0$$

Přechodová charakteristika:

$$h(t) = 0.11496 \cdot \left(e^{-5.495(t)} + 5.495 \cdot t - 1 \right) \cdot \eta(t)$$

kde $\eta(t)$ je jednotkový skok v čase t .

Porovnání grafu odezvy identifikované soustavy a naměřených hodnot x_2-x_1 je v příloze graf č.4.

9.2.3. Identifikace absolutní vzdálenosti karosérie a vozovky x_2 pro přenos od poruchy

Jako nejvhodnější jsem pro tuto identifikaci jsem vybral dva přenosy popisující danou dynamickou soustavu. Přenos soustavy třetího řádu s polynomem prvního řádu v čitateli a jednodušší přenos soustavy druhého řádu s polynomem prvního řádu v čitateli. Oba přenosy jsou uvažovány s dopravním zpožděním. Přenos soustavy druhého řádu jsem navrhl pro snazší zpracování v algoritmech nalezení optimálního regulátoru. Po provedené identifikaci vyšel přesnější přenos třetího řádu ve tvaru:

$$F_d(s) = \frac{62.36 \cdot s + 64.68}{s^3 + 3.8929s^2 + 95.215 \cdot s + 92.87} e^{-0.04 \cdot s}$$

Kořeny charakteristické rovnice přenosu jsou:

$$s_1 = -1.444 - 9.499 \cdot i$$

$$s_2 = -1.444 + 9.499 \cdot i$$

$$s_3 = -1.005$$

Přechodová charakteristika:

$$h(t) = 0.6964 \cdot \begin{pmatrix} 1 - 0.96 \cdot e^{-1.44(t-0.04)} \cdot \cos(9.5 \cdot (t - 0.04)) \\ -0.15 \cdot e^{-9.5(t-0.04)} \cdot \sin(9.5 \cdot (t - 0.04)) \\ -0.03 \cdot e^{-1.006(t-0.04)} \end{pmatrix} \cdot \eta(t - 0.04)$$

kde $\eta(t)$ je jednotkový skok v čase t .

Porovnání grafu odezvy identifikované soustavy a naměřených hodnot x_2 je v příloze **graf č.5**.

Jednodušší přenos soustavy druhého řádu vyšel ve tvaru:

$$F_d(s) = \frac{-0.4529 \cdot s + 64.912}{s^2 + 3.007 \cdot s + 94.154} \cdot e^{-0.04 \cdot s}$$

Kořeny charakteristické rovnice přenosu jsou:

$$s_1 = -1.504 - 9.586 \cdot i$$

$$s_2 = -1.504 + 9.586 \cdot i$$

Přechodová charakteristika:

$$h(t) = 0.6964 \cdot \left(\frac{1 - 0.223 \cdot e^{-1.5(t-0.04)} \cdot \sin(9.586 \cdot (t - 0.04))}{-e^{-1.5(t-0.04)} \cdot \cos(9.586 \cdot (t - 0.04))} \right) \cdot \eta(t - 0.04)$$

kde $\eta(t)$ je jednotkový skok v čase t .

Porovnání grafu odezvy identifikované soustavy a naměřených hodnot x_2 je v příloze **graf č.6**.

9.2.4. Identifikace vzájemné vzdálenosti karosérie a nápravy kola $x_2 - x_1$ pro přenos od poruchy

Jako nejvhodnější pro tuto identifikaci jsem vybral přenos soustavy třetího řádu s polynomem druhého řádu v čitateli. Jelikož identifikovaný dynamický systém obsahuje nelineární prvky, tak nalezený spojitý přenos tvoří jen hrubé přiblížení ke skutečné soustavě. Po provedené identifikaci vyšel přenos ve tvaru:

$$F_d(s) = \frac{-6.137 \cdot s^2 + 22.78 \cdot s + 10.32}{s^3 + 3.8 \cdot s^2 + 122.38 \cdot s + 3.23} \cdot e^{-0.024}$$

Kořeny charakteristické rovnice přenosu jsou:

$$s_1 = -1.887 - 10.896 \cdot i$$

$$s_2 = -1.887 + 10.896 \cdot i$$

$$s_3 = -0.026$$

Přechodová charakteristika:

$$h(t) = 3.19 \cdot \begin{pmatrix} 1 - 0.05 \cdot e^{-1.886(t-0.04)} \cdot \cos(10.89 \cdot (t - 0.04)) \\ -0.188 \cdot e^{-1.886(t-0.04)} \cdot \sin(10.89 \cdot (t - 0.04)) \\ -0.94 \cdot e^{-0.0264(t-0.04)} \end{pmatrix} \cdot \eta(t - 0.04)$$

kde $\eta(t)$ je jednotkový skok v čase t .

Porovnání grafu odezvy identifikované soustavy a naměřených hodnot x_2-x_1 je v příloze **graf č.7**.

10. Závěr

Účelem této diplomové práce bylo podílet se na vývoji aktivního tlumení pro vozy Škoda Felicie. Při konstrukci nové verze soustavy aktivního tlumení jsme vycházeli ze zkušeností s původní verzí. V původní verzi byla použita sériově vyráběná soustava tlumič - pružina, kde tlumič byl nahrazen hydraulickým válcem. Pasivní tlumení zde zajišťovaly propouštěcí ventily a aktivní část tvořil hydraulický obvod složený ze zdroje tlakového oleje, proporcionálního rozvaděče a hydraulického válce. Při pokusech o zlepšení chování vozu pomocí klasického **PID** regulátoru jsme nezaznamenali žádné uspokojivé výsledky. Z tohoto důvodu jsme se rozhodli pro rekonstrukci soustavy aktivního tlumení - pružina.

Pro konstrukci nové verze aktivního tlumení jsme použili sériově vyráběnou soustavu pružinu - tlumič, ke které jsme připojili do série hydraulický válec. Celou konstrukci jsme zabudovali do zkušební poloviny automobilu Škoda Felicie umístěné v laboratoři TU Liberec. Pasivní tlumení zde zajišťuje dvouplášťový tlumič použitý ze sériově vyráběné verze soustavy pružina - tlumič. Aktivní řízení vzájemné polohy nápravy kola a karosérie automobilu zde zajišťuje sériově připojený hydraulický válec.

Identifikací z naměřených dat jsem určil, pro automobil s původní verzí konstrukce aktivního tlumení, k absolutní vzdálenosti karosérie od vozovky a od nápravy předního kola přenosy F_u soustavy druhého řádu s konstantami v čitateli. Dopravní zpoždění těchto soustav je 0,05 s a 0,06 s.

Pro automobil s novou verzí konstrukce aktivního tlumení jsem určil k absolutní vzdálenosti karosérie od povrchu vozovky přenos F_u soustavy druhého řádu s astatismem prvního řádu s dopravním zpožděním a přenos F_d soustavy třetího řádu s polynomem prvního řádu v čitateli s dopravním

zpožděním. Pro vzdálenost mezi nápravou a karosérií jsem určil přenos F_u soustavy druhého řádu s astatismem prvního řádu a přenos F_d soustavy třetího řádu s polynomem druhého řádu v čitateli a dopravním zpožděním. V posledním případě se nepodařilo nalézt dostatečně přesný popis, jelikož jsem při identifikaci neuvažoval nelineární prvky, které se v systému vyskytují.

Výsledky identifikace lze použít v optimalizačních metodách hledání parametrů regulátoru. Pro dosažení přesnějších výsledků v identifikaci přenosu F_d vzájemné polohy karosérie a nápravy kola doporučuji při identifikaci použít přenosy soustav vyšších řádů a popřípadě nelineárních prvků.

11. Seznam použité literatury

1. PCL- 812PG Multi-Lab Card with Programmable Gain. Users Manual, fa Advantech.
2. PCL-718 High Performance Data Acquisition Card. Users Manual, fa Advantech.
3. Poláček T., Diplomová práce - Měření na aktivním tlumiči zabudovaném v osobním automobilu. TU Liberec, 1996.
4. Olehla M., Identifikace technologických soustav. TU Liberec, 1995.
5. Hanuš B., Optimalizace systému řízení. VŠST Liberec, 1981.
6. Janeček J., Modrlák O., Základy technické kybernetiky - příklady. VŠST Liberec, 1987.
7. Duřt Z., Olehla M., Novák V., Simulace systémů. VŠST Liberec, 1987.
8. Bláha P., Objektové programování v Turbo Pascalu - Turbo Vision. Koop České Budějovice, 1992.
9. Hajný P., Turbo Vision 2.0 v příkladech. Koop České Budějovice, 1996.

12. Seznam příloh

Graf č.1 56

Graf č.2 57

Graf č.3 58

Graf č.4 59

Graf č.5 60

Graf č.6 61

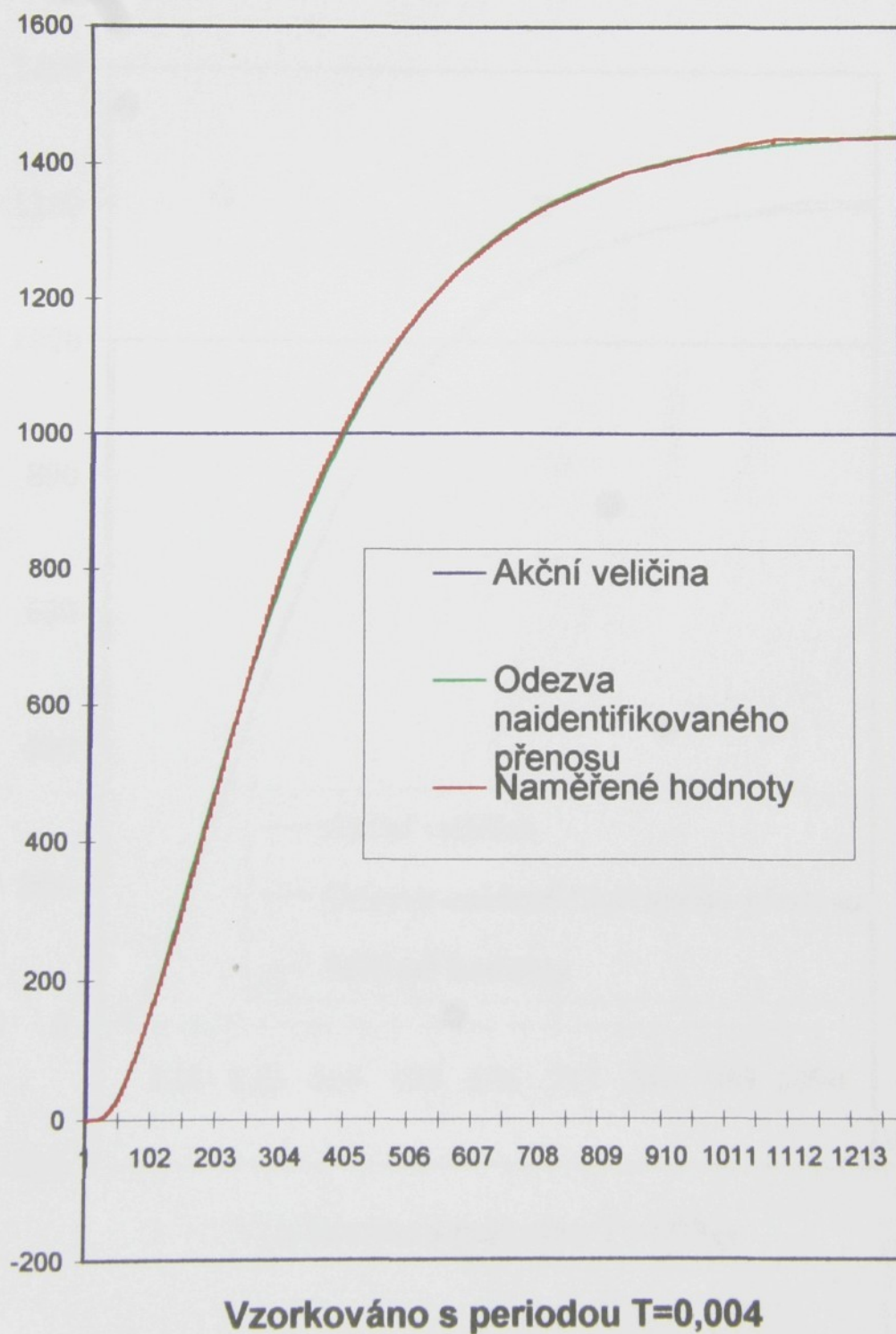
Graf č.7 62

Disketa

Příloha

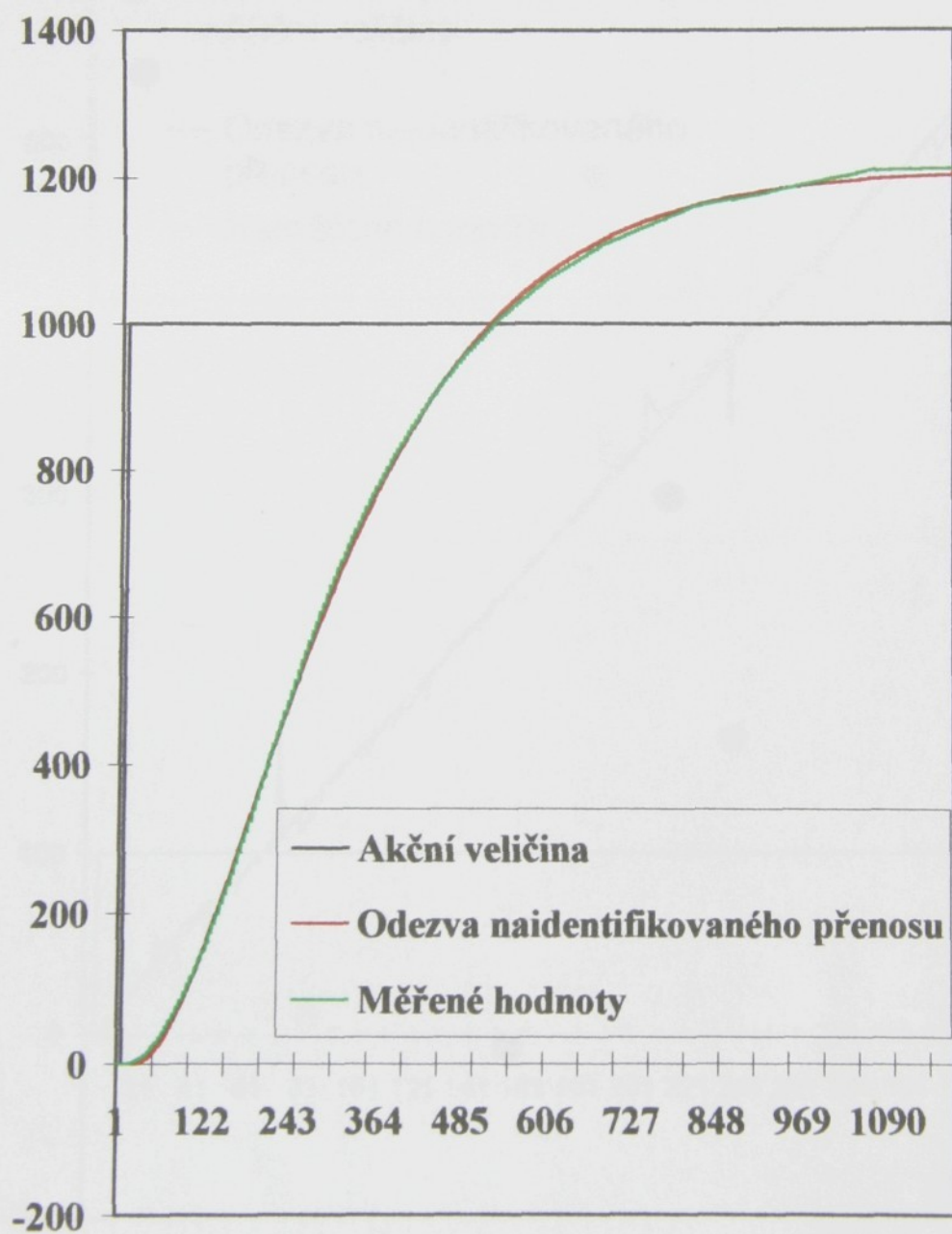
Graf č. 1

Identifikace absolutní polohy x_2 pro přenos od
akční veličiny



Graf č. 2

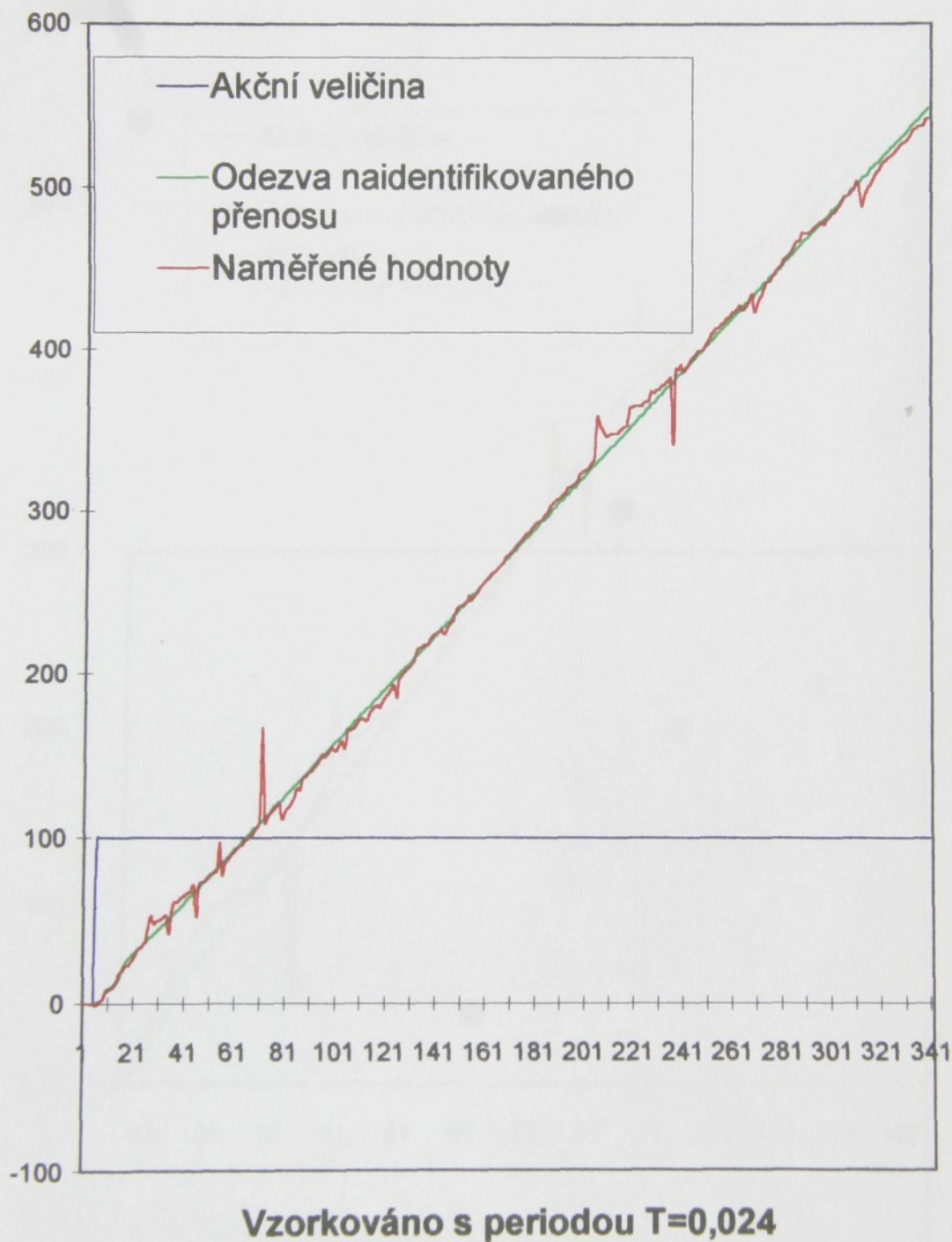
Identifikace vzájemné polohy karosérie a nápravy
kola x2-x1 pro přenos od akční veličiny



Vzorkováno s periodou $T=0.004s$

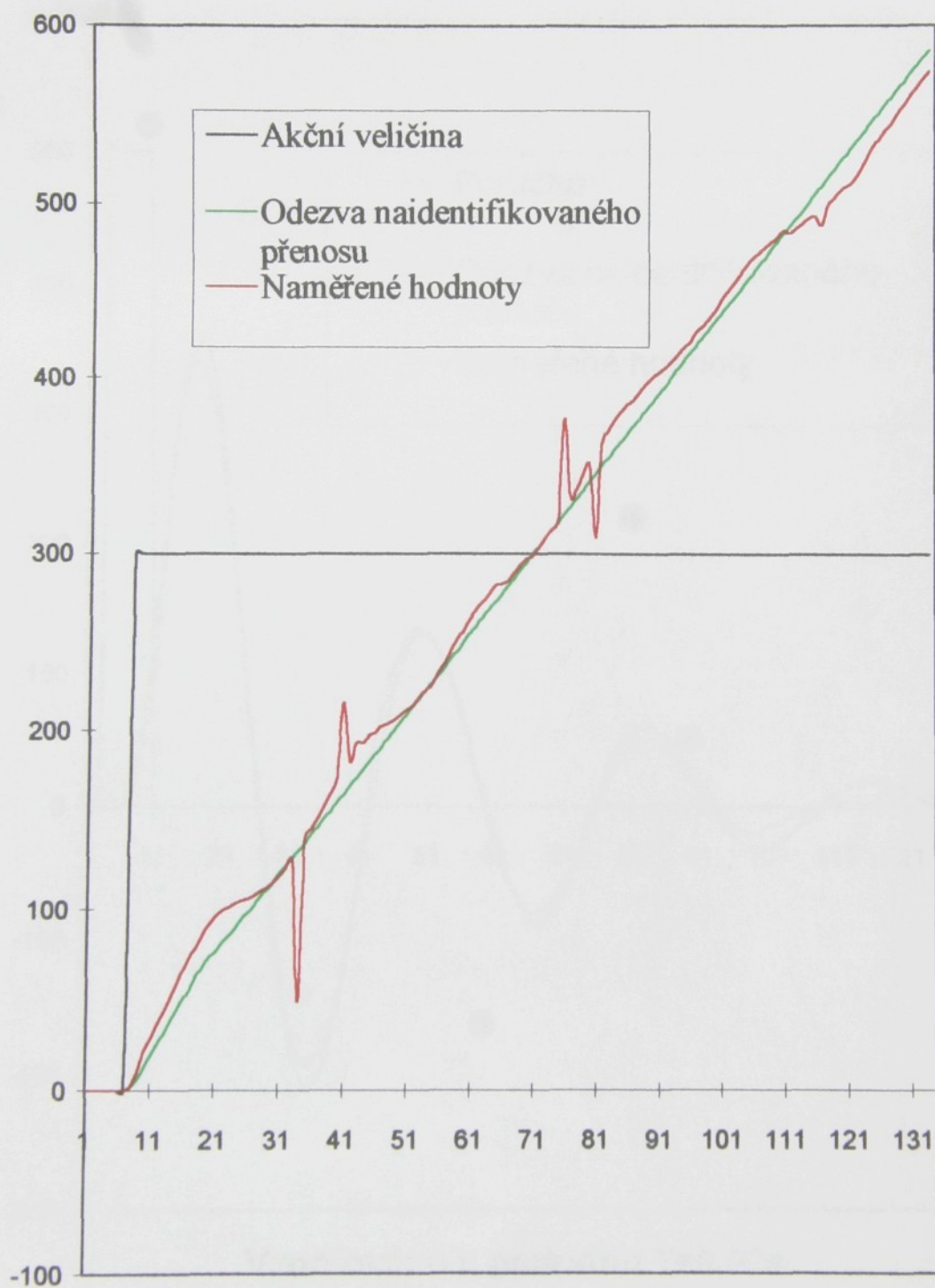
Graf č. 3

Identifikace absolutní vzdálenosti karosérie od vozovky x2 pro přenos od akční veličiny



Graf č. 4

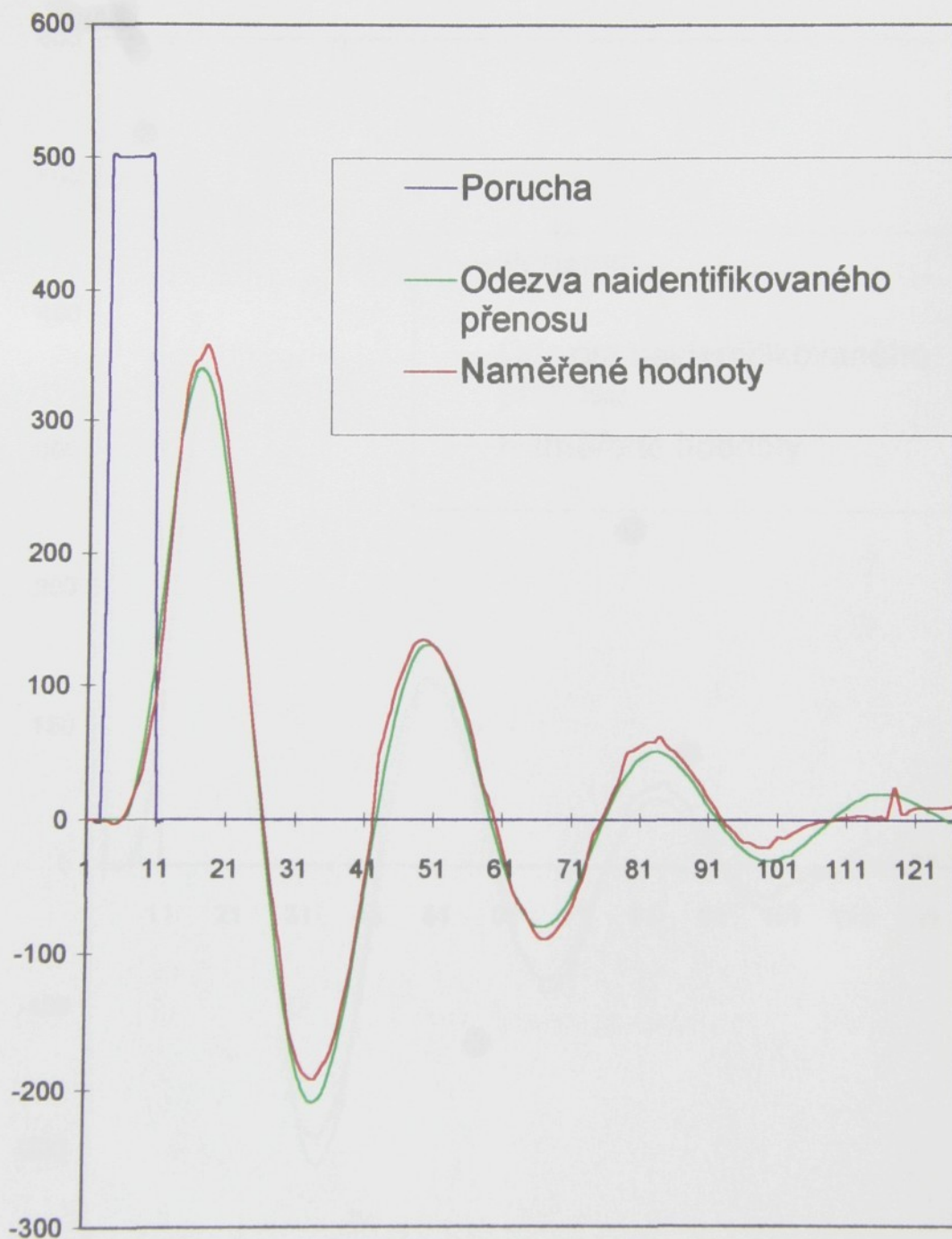
Identifikace vzájemné vzdálenosti karosérie a nápravy
kola x2-x1 pro přenos od akční veličiny



Vzorkováno s periodou $T=0.024$

Graf č. 5

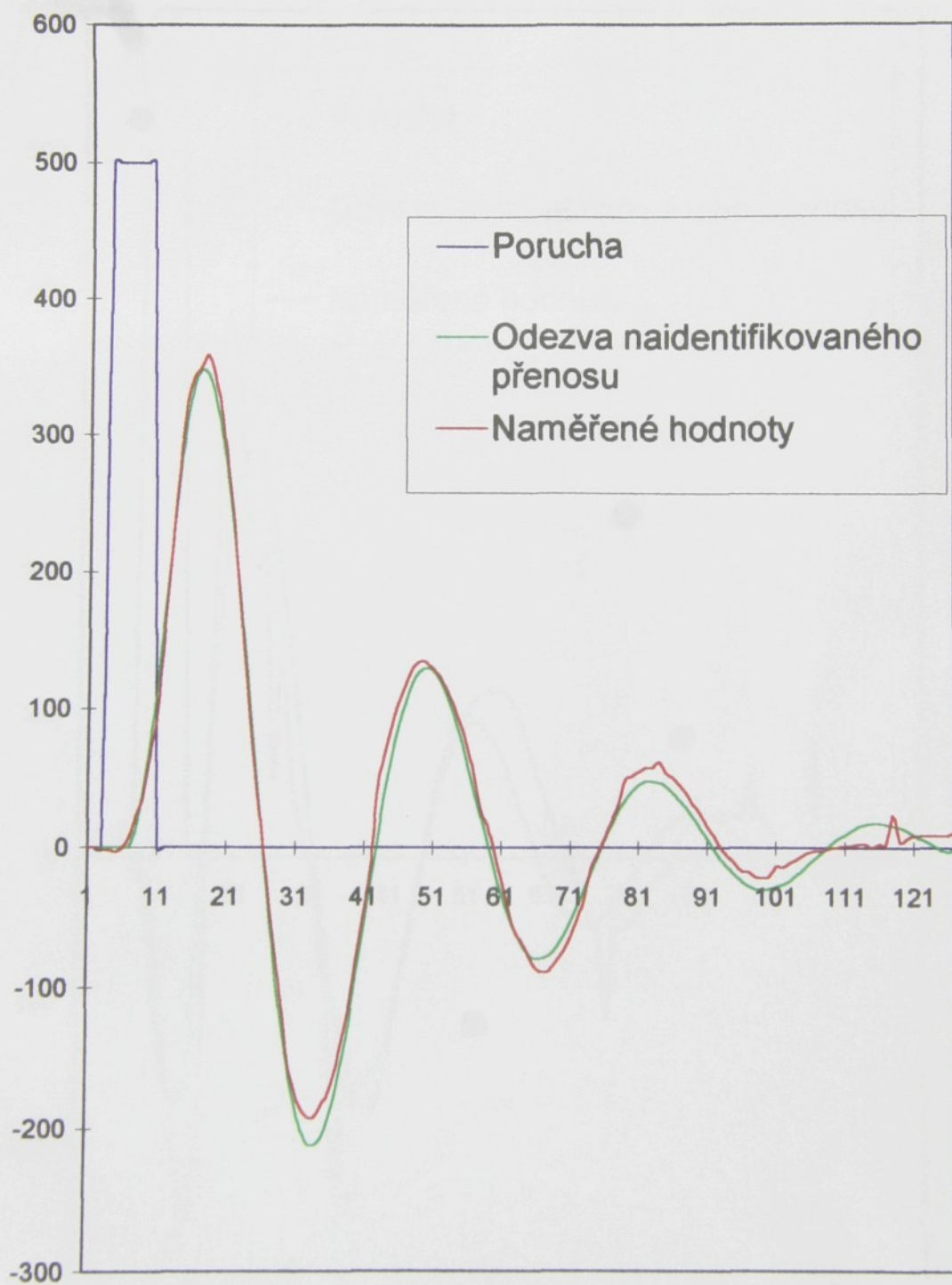
Identifikace absolutní vzdálenosti karosérie a vozovky
x2 pro přenos od poruchy



Vzorkováno s periodou $T=0,02s$

Graf č. 6

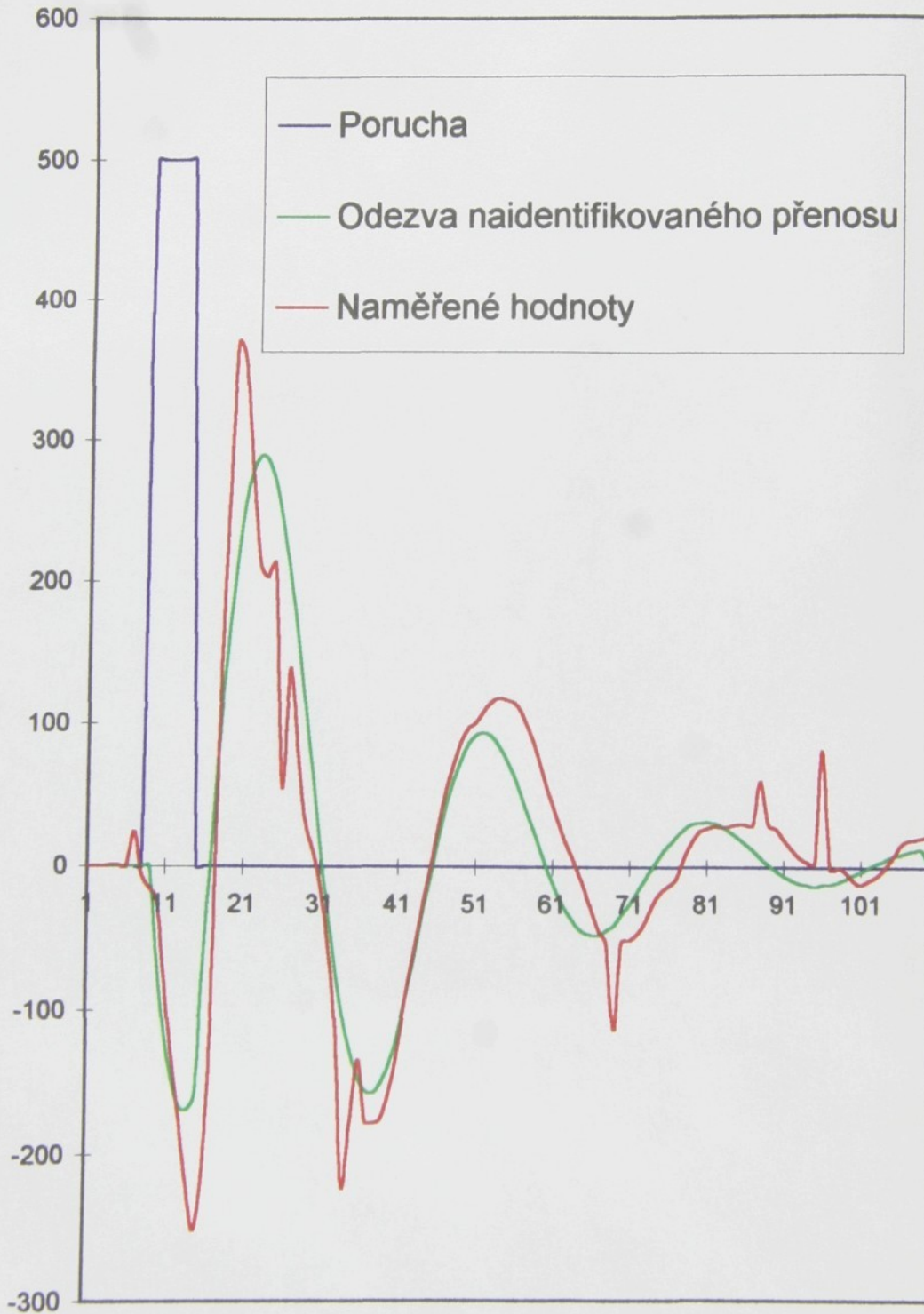
Identifikace absolutní vzdálenosti karosérie a vozovky x2 pro přenos od poruchy



Vzorkováno s periodou $T=0,02s$

Graf č. 7

Identifikace vzájemné vzdálenosti karosérie a nápravy
kola x2-x1 pro přenos od poruchy



Vzorkováno s periodou $T=0.02s$