

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

Modelování a identifikace hydraulického posilovače
řízení osobního automobilu

Modelling and identification of hydraulic power
steering

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Martin Pavelec

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Robert Grepl, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Pavelec

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Modelování a identifikace hydraulického posilovače řízení osobního automobilu

v anglickém jazyce:

Modelling and identification of hydraulic power steering

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat modelováním a identifikací reálného elektro-hydraulického posilovače řízení os. automobilu. Natočení volantu od řidiče bude realizováno DC motorem s převodovkou.

Experimentální část práce bude probíhat s využitím HW dSPACE. Firma dSPACE je standardem v oboru a její produkty jsou využívány pro rychlý návrh a testování řídicích algoritmů především v automobilovém a leteckém průmyslu.

Smyslem práce je vytvořit věrohodný simulační model a identifikovat jeho parametry.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Zprovoznění laboratorního elektro-hydraulického posilovače.
- 2) Popis soustavy, osazení vhodných sensorů a provedení měření.
- 3) Tvorba modelu v prostředí Simulink a odhad jeho parametrů na základě naměřených dat.

Seznam odborné literatury:

- Valášek, M.: Mechatronika, Vydavatelství ČVUT 1995
- Noskivič: Modelování a identifikace systémů

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Robert Grepl, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá identifikací a modelováním elektrohydraulického posilovače řízení os. automobilu. První část práce je rešeršní. Pojednává o třech způsobech realizace posilovacího účinku, které se využívají u osobních a nákladních automobilů; dále se věnuje způsobu přenosu dat pomocí CAN sběrnice mezi řídicí jednotkou a hydrogenerátorem posilovače, který máme k dispozici. Na základě experimentu za použití vhodných senzorů vyjadřuje základní vztahy mezi rychlostí vozu, otáčkami motoru hydrogenerátoru a kroutícím momentem na volantu.

Abstract

This work deals with identification and modelling of electrohydraulic power steering, deals with method of data transmission between control unit and booster pump and on the basis of an experiment using appropriate sensors reflects the basic relationship between vehicle speed, engine speed and torque on the steering wheel.

Poděkování

Mé poděkování patří vedoucímu bakalářské práce Ing. Robertu Greplovi Ph.D za podání pomocné ruky a usměrnění k reálnému cíli a Ing. Josefu Vejlupkovi za poskytnutí ochranné ruky a za rady, které mi pomohly tohoto cíle dosáhnout.

Dále děkuji své rodině za trpělivost a psychickou podporu a své přítelkyni za rozptýlení ve chvílích beznaděje.

V neposlední řadě děkuji panu Václavovi Vacíkovi za svářečskou podporu a panu Jiřímu Nestrachillovi za krásnou práci s jeho frézku a soustruhem.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Martin Pavelec, Brno, 2011

Obsah

1	Úvod	15
2	Rešerše	16
2.1	Posilovač řízení	16
2.1.1	Hydraulické posilovače řízení	16
2.1.2	Elektrické posilovače řízení EPS	18
2.1.3	Elektro-hydraulické posilovače řízení EHPS	19
2.2	CAN	20
2.2.1	Charakteristika CAN	20
2.2.2	Fyzická vrstva	20
2.2.3	Fyzické medium	21
2.2.4	Zákonitosti přístupu k médiu	21
2.2.5	Zabezpečení přenášených dat	21
2.2.6	Datová zpráva	22
2.2.7	Zhodnocení CAN	23
2.3	Tenzometr	23
3	Cíle řešení	25
4	Postup řešení a výsledky	26
4.1	Laboratorní EHPS	26
4.1.1	Původní stav	26
4.1.2	Zprovoznění komunikace EPHS s PC	27
4.2	Tenzometr	28
4.2.1	Výpočet tenzometru	28
4.2.2	Instalace tenzometru	29
4.2.3	Kontrola tenzometru	29
4.3	Lineární potenciometr	30
4.4	Manometr	30
4.4.1	Úprava hydrauliky	31
4.4.2	Řešení manometru	31

4.5	Stojan	31
4.5.1	Konstrukce stojanu	32
4.5.2	Konstrukce pro uchycení volantu	33
4.5.3	Konstrukce pro umístění motoru	33
4.5.4	Zátěž	34
4.5.5	Výroba stojanu	35
4.6	Měření	35
4.7	Výsledky	36
4.7.1	Nulová rychlost	36
4.7.2	Rychlost 20km/h	36
4.7.3	Rychlost 170km/h	38
4.7.4	Průběh tlaků	40
5	Závěr	41
A	Používané zkratky	45

Seznam obrázků

2.1	Schéma hydraulického zařízení BMW 2.5CS - 3.0 CSL [15]	17
2.2	Elektrický posilovač řízení EPS - dva způsoby montáže elektromotoru [16]	18
2.3	Elektro-hydraulický posilovač řízení EHPS - TRW Automotive [8]	19
2.4	Datová zpráva dle specifikace CAN 2.0A [9]	22
4.1	Elektro-hydraulický posilovač řízení EHPS - TRW Automotive - původní stav	26
4.2	Popis konektorů	27
4.3	Potenciometr na stojanu	30
4.4	Manometr na stojanu	31
4.5	Stojan s kompletním osazením	32
4.6	Konstrukce pro uchycení volantu	33
4.7	Ohebný kloub pro umístění motoru	34
4.8	Zátěž - Tažná pružina železná [17]	34
4.9	Pružina představující zátěž, instalována na stojanu	35
4.10	Schéma měřeného systému	36
4.11	Graf měřených závislostí při vypnutém motoru	37
4.12	Graf měřených závislostí při rychlosti vozu 20km/h	38
4.13	Graf měřených závislostí při rychlosti vozu 170km/h	39

Seznam tabulek

4.1	Význam datové zprávy, která je posílána po sběrnici CAN do hydrogenerátoru	28
4.2	Připojení kabeláže tenzometru a měřicí karty	29
4.3	Průběh tlaků při měření	40

Kapitola 1

Úvod

Jedním z důležitých systémů integrovaných v osobních automobilech, který výrazně přispívá k bezpečnosti a komfortu jízdy je posilovač řízení.

Máme tři typy posilovačů řízení; hydraulický, elektrický a elektrohydraulický. Také máme různé způsoby řízení posilovačů; VAN, BEAN, CAN.

V laboratoři máme k dispozici elektrohydraulický posilovač řízení OA od firmy TRW. K tomuto zařízení nám chybí popis. Budeme se snažit zprovoznit komunikaci, která se uskutečňuje pomocí protokolu CAN. Chtěli bychom vytvořit model a osadit jej vhodnou sensorikou tak, abychom mohli monitorovat chování posilovače a potvrdit tak jeho charakteristické vlastnosti, díky kterým se právě tento systém nachází u výrobců automobilů, jako jsou VW, Ford nebo Toyota.

Nově nabitě znalosti z problematiky řízení a funkce posilovačů, ale také povzbudivé výsledky měření by nás měli do hloubky seznámit s daným tématem.

Kapitola 2

Rešerše

V této části se budeme zabývat dělením posilovačů řízení dle způsobu realizace posilovacího účinku a řízením našeho posilovače, tedy protokolem CAN.

2.1 Posilovač řízení

Posilovač řízení snižuje sílu potřebnou k otáčení volantu. Současné OA mají většinou motor umístěný vpředu. Při stání nebo při jízdě malou rychlostí je proto potřeba vyvinout na volantu velký kroutící moment. U nákladních vozidel se tento problém dříve řešil zvětšením průměru volantu. Jinou možností je také řešení zpřevodováním, které by však zvětšilo počet otáček volantu potřebných k zatočení. Použití serva je v mnoha směrech ideální varianta. Důležitou vlastností ovládní s posilovačem jest, že i po výpadku posilovače je řidič schopen ovládat vozidlo přes stávající mechanické převody vlastními silami.[2]

2.1.1 Hydraulické posilovače řízení

Hydraulické servořízení se v dnešní době používá u systémů řízení nákladních automobilů, autobusů, trolejbusů a účelových vozidel.

- Provedení

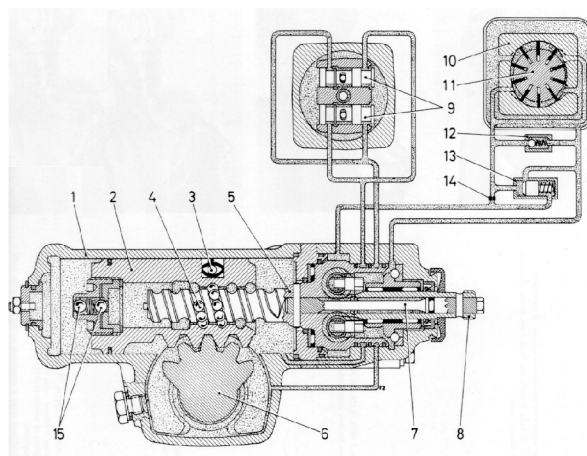
Posilovač řízení se skládá z olejového čerpadla, zásobní nádržky a z olejových tlakových vedení. Olejové čerpadlo je poháněno klínovým remenem motoru. Čerpadlo nasává hydraulický olej ze zásobní nádržky a dodává ho do tělesa ventilu pod vysokým tlakem. Těleso ventilu je umístěno v převodce řízení. Je spojeno s vřetenem řízení a přivádí olej v závislosti na poloze řízení na příslušnou stranu pracovního válce.

Tam tlačí olej proti pístu hřebenového řízení a podporuje tím řídicí pohyby. Současně tlačí píst olej na druhou stranu pracovního válce přes vratné vedení zpět k zásobní nádrži. Signál otáčení volantu je přenášen torzním členem, který je umístěn na pastorku řízení. Otáčením volantem se torzní člen deformuje a podle této deformace se určuje posilovací účinek (citováno z [18]).

Funkce hydraulického posilovače řízení je výše 2.1.1 vysvětlena pro řízení s hřebenovou převodkou, které je v současné době preferováno u OA. Na obrázku 2.1 je systém posilovače znázorněn pro řízení se šnekovou převodkou, které se používá u velkých užitkových vozů. Vytvoření posilovacího účinku je u obou způsobů analogické.

- Výhody a nevýhody

U hydraulického řízení lze docílit velkých sil a momentů, ačkoliv mají komponenty hydraulického obvodu jen malé rozměry a hmotnosti. To je vhodné právě pro použití u velkých dopravních prostředků. Provázání na elektrické řízení či regulaci je velmi jednoduše proveditelné. Nevýhodou však je, že posilovač spotřebovává výkon motoru pro pohon čerpadla i v době, kdy nekoná práci. Tím soustavně snižuje výkon motoru a účinnost motoru.[4]



Obrázek 2.1: Schéma hydraulického zařízení BMW 2.5CS - 3.0 CSL [15]

- Popis obr. 2.1

(1) Skříň mechanického převodu (2) Píst (3) Cirkulační trubice (4) Kuličkový oběh (5) Šnek (6) Řízení ozubené kolo (7) Torzní tyč (8)

Hřídel od volantu (9) Válec s písty čerpadla (10) Zásobník oleje (11)
Oběžná kola (12) Tlakový pojistný ventil (13) Tlakový ventil (14)
Ovládací prvek (15) Pojistný válec pro zajištění kola [5]

2.1.2 Elektrické posilovače řízení EPS

EPS se v dnešní době užívá u osobních automobilů; u nákladních se z důvodu větších působících sil ještě stále využívá hydraulických posilovačů.

- Provedení

Princip snímání silového momentu na hřídeli volantu je velmi podobný, jako u hydraulických posilovačů. 2.1.1 Senzory detekují směr pohybu a velikost kroučícího momentu hřídele od volantu, řídicí jednotka data vyhodnotí a aplikuje vhodný kroučící moment prostřednictvím elektromotoru, který je většinou přímo spojen s mechanickým převodem. Možnosti umístění elektromotoru jsou na obrázku 2.2. [6]



Obrázek 2.2: Elektrický posilovač řízení EPS - dva způsoby montáže elektromotoru [16]

- Popis obr. 2.2

(1) Volant (2) Řídicí modul, senzory (3) Elektromotor (4) Mechanický převod (hřebenový)

- Výhody a nevýhody

Bezkomutátorové stejnosměrné motory pracují oproti hydraulickým systémům nezávisle na motoru, čímž mohou snížit spotřebu paliva až o

5 %, nesnižují tak účinnost motoru a nezvyšují emise. Elektromotorem poháněné posilovače řízení jsou také mnohem lehčí, oproti hydraulickým posilovačům, mnohdy až o polovinu a mají menší nároky na prostor. Montáž je snadnější a rychlejší. Některé firmy u svých ekologicky nenáročných modelů zmiňují mimo hybridní motor (jako ekonomické a energeticky nenáročné řešení) právě elektrický posilovač řízení (např. BMW). U EPS je kladen důraz na vysokou elektronickou stabilitu systému. [7]

2.1.3 Elektro-hydraulické posilovače řízení EHPS

Kombinací dvou předchozích řešení 2.1.1 a 2.1.2 se ostraňují nevýhody hydraulického řízení a využívá se výhod elektrického řízení. Tomuto způsobu se též říká hybridní systém.

- Provedení

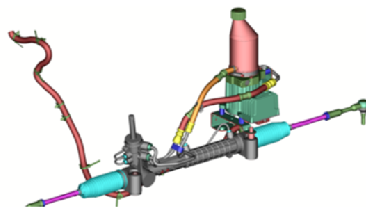
EHPS využívá stejné technologie, jako hydraulické systémy (2.1.1), avšak hydraulický tlak, který byl u hydraulického posilovače vyvíjen čerpadlem, které odebíralo výkon motoru je nyní produkován elektrickým motorem. [8]

- Výhody a nevýhody

Nespornou výhodou je nižší spotřeba paliva, které se dosahuje úsporným řízením elektromotorem (podobně, jako u EPS). Přenesení velkých sil a momentů je díky hydraulické složce zachováno.

- Popis obrázku

Na obrázku 2.3 je předchůdce posilovače řízení, na kterém budeme provádět experiment.



Obrázek 2.3: Elektro-hydraulický posilovač řízení EHPS - TRW Automotive [8]

2.2 CAN

2.2.1 Charakteristika CAN

CAN je původně vyvinut firmou Bosch pro nasazení v automobilech. V dnešní době je stále více nasazován a využíván i v jiných oblastech, než pro které byl původně určen. Je to hlavně díky jeho nízké ceně, snadnému nasazení, spolehlivosti, vysoké přenosové rychlosti, snadné rozšířitelnosti a dostupnosti součástkové základny. Nevýhodou CAN je omezený počet přenášených dat v rámci jedné zprávy a prvotní náročnost nastavení registrů CAN sběrnice. [9] [12]

CAN je sériový komunikační protokol umožňující distribuované řízení systémů v reálném čase s vysokou mírou zabezpečení proti chybám. Jedná se o protokol multi-master, kde každý uzel sběrnice může být master a řídit tak chování jiných uzlů. Není tedy nutné řídit celou síť z jednoho nadřazeného uzlu, což přináší zjednodušení řízení a zvyšuje spolehlivost (při poruše jednoho uzlu může zbytek sítě pracovat dál). Pro řízení přístupu k médium je použita sběrnice s náhodným přístupem, která řeší kolize na základě prioritního rozhodování. Po sběrnici probíhá komunikace mezi dvěma uzly pomocí zpráv (datová zpráva a žádost o data), a management sítě (signalizace chyb, pozastavení komunikace) je zajištěn pomocí dvou speciálních zpráv (chybové zprávy a zprávy o přetížení) (citováno z [9]).

Sběrnici CAN lze provozovat též v režimu Master-slave, kdy jeden uzel je nadřazený ostatním uzlům. [12]

Zprávy vysílané po sběrnici protokolem CAN neobsahují informace o cílovém uzlu, jsou přijímány všemi uzly připojenými ke sběrnici. Každá zpráva je uvozena identifikátorem, který udává prioritu přenášené zprávy. CAN tedy zajišťuje, aby byla zpráva s vyšší prioritou v případě kolize dvou zpráv doručena přednostně; na základě identifikátoru lze zajistit, aby uzel přijímal pouze ty zprávy, které se ho týkají. [9]

2.2.2 Fyzická vrstva

Standart protokolu CAN definuje dvě vzájemně komplementární hodnoty bitů na sběrnici - dominant a recessive, které představují funkci logického součinu. [9]

Pravidla pro stav na sběrnici:

- Všechny uzly vysílají recessive bit, na sběrnici je úroveň recessive.
- Alespoň jeden uzel vysílá dominantní bit, na sběrnici je úroveň dominant

2.2.3 Fyzické medium

CAN 2.0A je definován normou 11898. Tato norma definuje elektrické vlastnosti vysílacího budiče a přijímače, dále také principy časování, synchronizaci a kódování jednotlivých bitů. Sběrnici tvoří dva vodiče (CAN-Low a CAN-High); dominant či recessive úroveň je definována rozdílovým napětím těchto dvou vodičů. Dle normy je pro úroveň recessive velikost rozdílového napětí $V_{diff} = 0V$ a pro úroveň dominant $V_{diff} = 2V$. Sběrnice je na obou koncích přizpůsobena zakončovacími odpory o velikosti 120Ω z důvodu eliminace odrazů na vedení. Jednotlivá zařízení jsou na sběrnici připojena pomocí konektorů. [9]

Sběrnice CAN byla původně navržena pro krátká spojení do automobilů, přenosová rychlost $1Mbit/s$ je dosažena na krátké vzdálenosti (do 40 m). Při délce 130m je rychlost $500kbit/s$, při délce 560m klesá na $125kbit/s$. Na délce 1.2km je hodnota přenosové rychlosti $70kbit/s$ a na 3.3km již jen $20kbit/s$. Ke sběrnici může být připojeno až 110 uzlů, ale s ohledem na zatížení sběrnice je počet připojovaných uzlů podstatně menší. [9] [12]

2.2.4 Zákonitosti přístupu k médiu

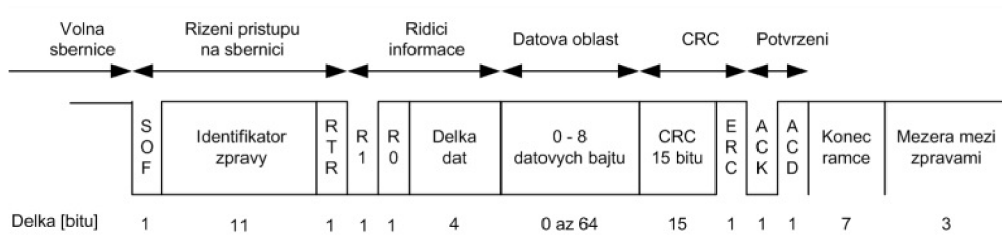
- Každý uzel může zahájit vysílání, jakmile je připraven a síť je v klidovém stavu. Ostatní mohou vysílat až poté, co je zpráva odvysílána. Vyjímku tvoří chybové rámce. Ty může vysílat kterýkoli účastník ihned po identifikaci
- V případě, že vysílání zahájí několik uzlů současně, pak přístup na sběrnici získá zpráva s nižším identifikátorem (vyšší prioritou). Každý vysílač porovnává hodnotu právě vyslaného bitu s hodnotou na sběrnici. Zjistí-li, že je na sběrnici jiná hodnota, než kterou vysílá, okamžitě přeruší vysílání. Tím zajistí, že zpráva s vyšší prioritou bude doručena a nedojde k jejímu poškození. Uzel, který tedy nedostal přístup na sběrnici musí vyčkat, až bude sběrnice opět ve volném stavu. [9]

2.2.5 Zabezpečení přenášených dat

Protokol CAN se vyznačuje silným mechanismem zabezpečení přenášených dat (CRC kód, monitoring, vkládání bitu, kontrola a potvrzení zprávy). Jakmile uzel zjistí chybu, posílá šest stejných bitů za sebou. Je-li uzel typu Error Active, resp. Error passive, jsou tyto bity dominant a zprávu s chybou znehodnotí, resp. recessive a zprávu neznehodnotí.

2.2.6 Datová zpráva

Vyslání datové zprávy je možné, je-li sběrnice volná. Detekuje-li uzel volnou sběrnici, může vysílat. Dále se uzel řídí mechanismy přístupu k mediu popsanými výše 2.2.4. Schéma datové zprávy na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4: Datová zpráva dle specifikace CAN 2.0A [9]

Význam jednotlivých částí datové zprávy.

- Řízení přístupu na sběrnici - Arbitration field
 - Začátek zprávy (1 bit) SOF - Start of Frame - Úvodní jednobitové pole s dominantní hodnotou.
 - Identifikátor zprávy - 11 bitů - Určuje prioritu zprávy a význam přenášené zprávy.
 - RTR - Remote Transmission Request - 1 bit - Rozlišuje datové zprávy (dominant) nebo žádosti o přístup ke sběrnici (recessive).
- Řídící pole - Control Field - 1+1+4 bity
 - Bit R1 nebo IDE (Identificator Expresion) pro rozlišení základního nebo rozšířeného formátu
 - R0 - Rezervní bit
 - Délka datové zprávy DLC - Data lenght - 4 bity - určuje počet byte datového pole
- Datová oblast - Data field - až 64 bitů dat
- CRC
 - CRC - Zabezpečovací kód - 15 kontrolních bitů cyklického redundantního kódu
 - ERC End of CRC - 1bit - oddělení recesivním bitem

- Potvrzení Acknowledge field

ACK slot - Vysílač vysílá tento bit jako recesivní, pokud alespoň jeden uzel přijal zprávu bez chyby, přepíše tento bit na dominantní, čímž oznámí potvrzení přijmutí

ACK Delimiter - recesivní bit, ACK je tak ohraničen dvěma recesivními bity

- End of Frame - 7 bitů - Bity konce rámce jsou typu recessive.
- Mezera mezi rámci - 3 bity

V rámci datové zprávy rozlišujeme standardní zprávu (Standart frame) a Rozšířený rámec (Extended Frame). Tyto formáty datové zprávy se liší v délce identifikátoru zprávy. U standardní zprávy je dlouhá 11 bitů a charakteristická pro označení CAN 2.0A, pro kterou platí již zmíněná norma. U rozšířeného rámce má identifikátor délku 29 bitů (CAN 2.0B). Je u něj ještě nahrazen bit RTR (Remote Request) bitem SRR (Substitute Remote Request), vždy typu recessive. Při kolizi standardního a rozšířeného formátu zprávy získává přednost standardní rámec.[9] [12]

Další typy zpráv jsou: Žádost o data, Zpráva o chybě a Zpráva o přetížení.

2.2.7 Zhodnocení CAN

Sběrnice CAN je dobře navržená sběrnice, která se díky svým vlastnostem začala hojně využívat i mimo automobilový průmysl. Uplatnění našla i v leteckém průmyslu u zařízení, která spadají do nižší kategorie bezpečnosti. Nevýhodou sběrnice CAN pro letecký průmysl je nemožnost identifikovat důvod vzniku chyby. Zatímco v automobilovém průmyslu je rychlost sběrnice vzhledem k možnosti vzniku katastrofy preferována, v leteckém průmyslu si tuto variantu nemůžeme dovolit. Proto jsou používány jiné komunikační protokoly, které jsou řádově pomalejší, avšak s možností identifikace vzniku chyby.

2.3 Tenzometr

Tenzometr slouží k měření kroutícího momentu. Funkce tenzometru spočívá v tom, že změna délky metalického snímače způsobuje změnu jeho odporu. Změna odporu je dána vztahem:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (2.1)$$

kde ρ je specifický odpor, L je délka a S je příčný průřez odporového drátku.
Pro konečnou změnu ΔR odporu R , lze odvodit vztah:

$$\frac{\Delta R}{R} = k\epsilon \quad (2.2)$$

kde k je deformační součinitel tenzometru (k-faktor) a ϵ je přetvoření.

K-faktor je bezrozměrný, proporcionální součinitel, který v sobě zahrnuje vliv měřicí mřížky a také celé konfigurace tenzometru. Výrobce provádí na staticky významném počtu kusů měření k-faktoru a uvádí na balení hodnotu k-faktoru včetně tolerance[11].

ϵ je přetvoření, na jehož principu tenzometr pracuje. Abychom mohli vybrat vhodný tenzometr pro naše měření, potřebujeme znát právě hodnotu přetvoření označovanou ϵ_{45} .

Kapitola 3

Cíle řešení

Naším cílem nyní bude zprovoznit servozařízení. K tomu potřebujeme dostatečně do hloubky pochopit problematiku posilovačů řízení 2.1 a komunikaci protokolem CAN 2.2. Musíme vytvořit chybějící kabeláž ke zdroji a k jednotlivým pinům na hydrogenerátoru a po zapojení zprovoznit komunikaci mezi EHPS a PC 4.1.2.

Dále budeme chtít vytvořit stabilní model. Posilovač umístíme na vhodný stojan 4.5.1. Osadíme senzorikou; tenzometrem 4.2 na hřídeli volantu pro měření kroutícího momentu a potenciometrem 4.3 pro zjištění polohy volantu. Pro zjišťování informativních hodnot z hydraulického systému umístíme také analogový manometr 4.4.

V průběhu práce došlo k určitému přehodnocení; tvorbou modelu v prostředí Simulink a odhadem jeho parametrů na základě naměřených dat se zabývat nebudeme.

Hlavním cílem bude zhodnocení chování hydrogenerátoru při různých rychlostech automobilu, výsledky závislosti kroutícího momentu také na rychlosti vozu a celkové chování laboratorního modelu s přihlédnutím na tlak a polohu volantu 4.7.

Kapitola 4

Postup řešení a výsledky

4.1 Laboratorní EHPS

Pro experiment máme k dispozici elektrohydraulický posilovač řízení od firmy TRW - DAS, a.s., Dačice (4.1). Předchůdce tohoto zařízení byl používán v modelech Opel/Vauxhall Astra. Současná generace se nachází ve vozech Kia.

4.1.1 Původní stav

Zařízení (4.1) bylo ve firmě TRW použito pro ověření řídicího softwaru posilovače. Uvnitř motoru byl odpojen systém pro měření interní teploty a byl nahrazen odporovou dekádou pro simulaci teplotních stavů. Motor by měl snížit výkon při nízkých teplotách ($-40^{\circ}C$) nebo při vysokých teplotách ($+120^{\circ}C$) z důvodu zachování předepsané životnosti. Pro naše účely nemají tyto zásahy do zařízení žádný vliv. Posilovač byl dodán bez manuálu a kabeláže.



Obrázek 4.1: Elektro-hydraulický posilovač řízení EHPS - TRW Automotive - původní stav

Popis konektorů na hydrogenerátoru máme na (4.2). Piny 4 a 5 slouží pro příjem signálu ze snímače rychlosti otáčení volantu. Jedná se o dva analogové signály. My nebudeme k experimentu používat tyto piny, nýbrž piny 1 a 2 (CAN-Low a CAN-High). Motor umí přijímat signál po CAN sběrnici.



Obrázek 4.2: Popis konektorů

4.1.2 Zprovoznění komunikace EPHS s PC

Zhotovili jsme potřebnou kabeláž. Kabely ke zdroji (13.5 V) jsme opatřili faston konektory a připojili na hydrogenerátor zvenčí, kabely od jednotlivých pinů jsme připájeli přímo na plošný spoj (po odmontování krytu čerpadla). Mezi vodič CAN-Low a CAN-High jsme připájeli odpor 120Ω (v souladu s pravidly pro použití CAN sběrnice).

Komunikaci s posilovačem bude zajišťovat dSPACE ds1103. Dle data-sheetu jsme připájeli konce kabelů na konektor a připojili k desce cp11033 (komunikační prostředek k dSPACE.)

Pin 3 - Ignition a zdrojové kabely jsme připojili ke zdroji 13.5 V. Pomocí prostředí Matlab Simulink jsme odzkoušeli komunikaci posilovače přes sběrnici CAN.

Z PC dokážeme posilovači udávat otáčky hydrogenerátoru (Engine speed) a rychlost vozu (Vehicle Speed) a zapnutí/vypnutí hydrogenerátoru (Engine Speed Status). Potřebné informace pro model v prostředí Matlab Simulink nám poskytla firma TRW. Význam datové zprávy, kterou posíláme do hydrogenerátoru je v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1: Význam datové zprávy, která je posílána po sběrnici CAN do hydrogenerátoru

Signál	Délka [bit]	Faktor	Rozsah hodnot	Funkce
Engine Speed status	1	1	1	on/off
Engine speed	16	0.25	0 - 2047	otáčky/min
Vehicle Speed	8	1	0 - 255	km/h

4.2 Tenzometr

Za důležitou charakteristiku považujeme kroučící moment na volantu. Tento budeme měřit tenzometrem, který bude umístěn na hřídeli od volantu (konstrukce volantu na obrázku 4.6).

4.2.1 Výpočet tenzometru

Nyní potřebujeme vypočítat hodnotu ϵ_{45} . Její hodnota nám pomůže určit vhodný tenzometr, viz. 2.3. Hřídel volantu, kterou budeme osazovat tenzometrem má průměr $d = 17mm$. Nejprve musíme vypočítat charakteristiku průřezu hřídele.

$$W_K = \frac{\pi d^3}{16} = 9.647 \cdot 10^{-4} L \quad (4.1)$$

Z podkladů od firmy TRW jsme zjistili, že maximální kroučící moment od volantu $M_{Kmax} = 7Nm$. Potom maximální smykové napětí je:

$$\tau_{max} = \frac{M_{Kmax}}{W_K} = 7.256 \cdot 10^6 Pa \quad (4.2)$$

Pro výpočet přetvoření potřebujeme znát také modul pružnosti ve smyku. Když je modul pružnosti v tahu $E = 211GPa$ a Poissonovo číslo je $\mu = 0.3$, pak modul pružnosti ve smyku je:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)} = 81.154 \cdot 10^9 Pa \quad (4.3)$$

Potom přetvoření ϵ_{45} je:

$$\epsilon_{45} = \frac{\tau_{max}}{2 \cdot G} = 44.708 \frac{\mu m}{m} \quad (4.4)$$

Tenzometr by bylo vhodné nalepit na naši hřídel v případě, že hodnota $\epsilon_{45} > 20 \frac{\mu m}{m}$, což je dle výpočtu splněno. Tenzometr by měl snímat kroučící moment kvalitně, tzn. bez šumu. Volíme tenzometr od firmy HBM - 1-XY41-1.5/120 [13].

4.2.2 Instalace tenzometru

Instalaci tenzometru provedl Ing. Petr Krejčí PhD. Tenzometr se skládá ze dvou měřících mřížek, které jsou dlouhé $1.5mm$, nominální odpor je 120Ω , budící napětí $2.5 - 5V$. Tenzometr připojíme k PC pomocí měřící karty od firmy National Instruments - NI 9237. Program pro sběr dat v prostředí Labview vytvořil Bc. Martin Bradáč. Připojení kabeláže od karty NI 9237 [14] k tenzometru je znázorněno v tabulce 4.2

Tabulka 4.2: Připojení kabeláže tenzometru a měřící karty

Číslo uzlu	Barva uzlu	Popis uzlu dle NI	Barva drátu na propoj. kabelu
1	WHITE	AL+	GREY
2	BLACK	EX+	BLUE
3	RED	AL-	WHITE
4	BLUE	EX-	PURPLE

4.2.3 Kontrola tenzometru

Po připojení tenzometru jsme zjistili, že data jsou skrytá v šumu. Proto jsme se rozhodli udělat kontrolní výpočet.

Charakteristickou hodnotu napětí, kterou potřebujeme k přepočtu na přetvoření získáme z maximálního naměřeného napětí $U_{nom} = 0.14mV$ a z nominálního napětí $U_{nom} = 5V$.

$$\frac{U_{nam}}{U_{nom}} = \frac{0.14}{5} = 0.028 \frac{mV}{V} \quad (4.5)$$

Přepočet z $\frac{mV}{V}$ na $\frac{\mu m}{m}$ je u výrobce tenzometrů Hottinger:

$$1 \frac{mV}{V} = 2000 \frac{\mu m}{m} \quad (4.6)$$

Z toho tedy vyplývá, že přetvoření, které jsme naměřili bylo:

$$\epsilon = 0.028 \cdot 2000 = 56 \frac{\mu m}{m} = 8.7 \cdot Nm \quad (4.7)$$

Hodnota, kterou jsme vypočetli, odpovídá přibližně maximálnímu krouťicímu momentu, který známe z podkladů od firmy TRW. Výpočet tedy nevysvětluje, proč se pravděpodobně nacházíme v pásmu šumu.

Zjistili jsme, že rozsah karty, kterou používáme pro měření, je $25 \frac{mV}{V}$. Normou udávaný šum na kanálu je 5%. Jestliže maximální hodnota, kterou jsme naměřili, je $0.028 \frac{mV}{V}$, pak můžeme říci, že se nacházíme v pásu šumu. Hranice 5% je $1.25 \frac{mV}{V}$.

Tento problém nám způsobuje měřící karta. Řešením by zřejmě bylo použití jiné měřící karty (např. měřící karty od firmy Hottinger, která má přepínatelný rozsah kanálu) nebo ústředny na tenzometry, která je dokonce přesnější, než karta. Alternativou je také vhodná konstrukce zesilovače napětí.

4.3 Lineární potenciometr



Obrázek 4.3: Potenciometr na stojanu

Samozřejmě musíme znát také hodnotu natočení volantu. Nejprve jsme chtěli volit klasický potenciometr umístěný na hřídeli od volantu. Poté jsme zhodnotili, že bude lepší použít lineární potenciometr TLH 450 umístěný u ramena válce posilovače (obrázek 4.3), protože hřídel od volantu budeme potřebovat pro nalepení tenzometru.

Na potenciometru nebyla žádná možnost uchycení ke stojanu pomocí původního závitu.

Na jeho dřívější použití stačily jednoúčelové lišty pro přichycení. Z tohoto důvodu jsme vytvořili jednoduché svorky jakožto nepřilíš elegantní, avšak dostačující řešení. Spojení potenciometru a ramene posilovače zajišťuje malý ocelový plech.

4.4 Manometr

Dle informací od firmy TRW víme, že maximální tlak v hydraulickém systému je 11 MPa. Pro zjištění aktuálního tlaku ve vstupní hydraulické hadici chceme použít informativní manometr.

4.4.1 Úprava hydrauliky

Jak je vidět na obrázku původního stavu 4.1, v hydraulickém vedení je mnoho tvarových částí, které nám zneprůjemňují práci s posilovačem (stejně jako hmotnost posilovače; tato nevýhoda však odstranit nelze). Rozhodli jsme se nahradit hydraulické vedení hadicemi bez tvarových částí; napojení na válec posilovače a hydrogenerátor chceme provést co nejbližší, abychom vynechali co nejvíce tvarových částí a přitom konečný výsledek neměl vliv na bezpečnost provozu (v hadicích je maximální tlak 11 MPa, napojení nových hadic musí být na bezpečných - tvarových místech se závitem).

Úpravu hydrauliky provedla firma Hydrocom, s.r.o. Horní Heršpice.

4.4.2 Řešení manometru



Obrázek 4.4: Manometr na stojanu

V rámci úprav hydrauliky byl na vstupní hadici do posilovače umístěn trojcestný ventil. Manometr jsme zvolili axiální s rozsahem 16 MPa. Pomocí přívodní hadice můžeme tak na manometru sledovat tlak na vstupní hadici do posilovače.

Manometr jsme na stojanu umístili pod volant 4.4, abychom mohli okamžité výchylky sledovat s měnícím se průběhem kroučícího momentu.

4.5 Stojan

Abychom mohli provést plánovaná měření, potřebujeme upravit podmínky pro měření pro nás co nejvýhodněji. Tvarové části jsme již z posilovače odstranili, máme na posilovači potřebné senzory. Nyní ještě potřebujeme nasimulovat zátěž a usnadnit si manipulaci s posilovačem, který je značně rozměrný a těžký. Tohoto chceme dosáhnout vhodným stojanem.

Nejprve je nutné rozmyslet si, jestli bude stojan umístěn vertikálně nebo horizontálně vzhledem k místu, kde bude měření probíhat. Nejlepší variantou by byl polohovatelný stojan, který by bylo možno umístit oběma způsoby a

my bychom tak mohli být nezávislí na prostředí, kde proběhne měření.

Cílem také je, aby se váha celého zařízení právě instalací stojanu ještě výrazně nezvětšila.

4.5.1 Konstrukce stojanu

Rozhodli jsme se použít hliníkové profily Bosch pro základní konstrukci stojanu. Jejich hmotnost je pro naše řešení vhodná a použití těchto profilů zajišťuje při spojení konzol originálními spojovacími kameny dostatečnou tuhost výsledné konstrukce.

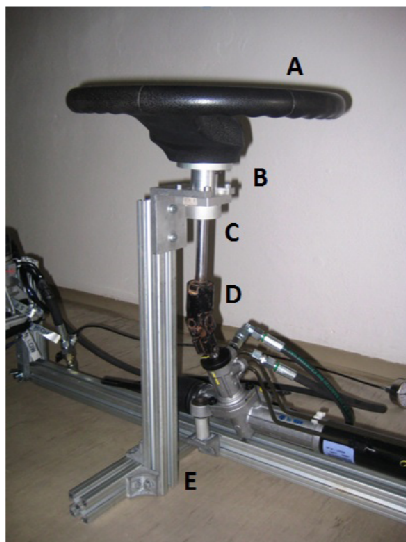
Pro úplný základ jsme použili konzolu o délce 2030mm , na které bude válec posilovače a dvě kratší konzoly o délce 500mm pro stabilitu stojanu. Na kratší konzoly by bylo možno instalovat buď kolečka (konečné umístění by bylo horizontální) nebo šrouby v případě, že konečné umístění by bylo vertikální-zed'.

Další nástavbou na stojan je umístění lineárního potenciometru [4.3](#), motoru [4.5.3](#), volantu [4.5.2](#) a zátěže [4.5.4](#)



Obrázek 4.5: Stojan s kompletním osazením

4.5.2 Konstrukce pro uchycení volantu



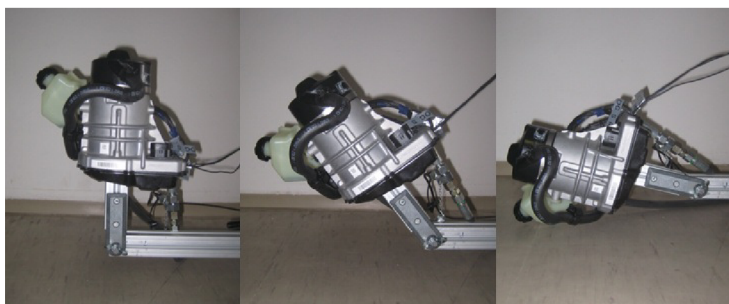
Obrázek 4.6: Konstrukce pro uchycení volantu

M6) a na hřídel (aretační šroub M5). Délka hřídele pro nalepení tenzometru je dostatečná. Pro zajištění svislé polohy jsme opět použili hliníkového profilu Bosch (E). Na svislou konzolku jsme vhodně umístili domeček s nalisovaným mimoběžným ložiskem (C) o vnitřním průměru $d = 17\text{mm}$ a vnějším $D = 40\text{mm}$. Poté jsme všechny komponenty sestavili a připevnili na stojan. Díky ložisku jde otáčet volantem velmi lehce a snadno; tření nám nebude ovlivňovat velikost kroutícího momentu. Díky Kardanovu převodu je manipulace ve svislé poloze velmi příjemná a tuhost celého sestavení splňuje naše požadavky.

Jak jsme se zmínili v kapitole 4.2, pro zjištění velikosti kroutícího momentu budeme potřebovat nalepit tenzometr na hřídel volantu. Prvním problémem při řešení samotné konstrukce pro volant (obrázek 4.6) byla samotná vstupní hřídel do posilovače, na jejímž konci je tisícihran (který bychom chtěli zachovat) a její natočení vůči svislé ose o 30° . Tento problém jsme vyřešili pomocí hřídele s převodem z vozu Kia Carnival (D), která je na jednom konci zakončena právě naším tisícihranem a přes Kardanův převod končí hřídel o průměru $d = 17\text{mm}$ a délce $l = 180\text{mm}$ dalším tisícihranem s vyfrezovanou ploškou pro použití aretační matice. Toho jsme využili při výrobě volantu. Použili jsme starší volant z OA Renault(A) a z polotovaru hliníkové kulatiny jsme vysoustružili vhodný element(B) k uchycení na volant (tři šrouby

4.5.3 Konstrukce pro umístění motoru

Nejprve jsme motor nainstalovali na stojan napevno tak, že když byl stojan v poloze horizontální, tak motor (také v poloze horizontální) je oproti instalaci v OA otočen o 90° . To se nám zdálo jako nevhodné, proto jsme na konci hlavní konzoly vytvořili ohebný kloub, kde je zajištění polohy realizováno aretační maticí, jak je vidět na obrázku 4.7. To nám pomáhá plnit původní záměr univerzality celého stojanu.

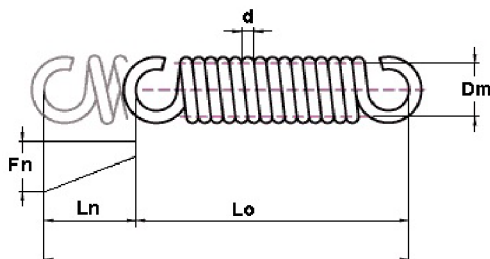


Obrázek 4.7: Ohebný kloub pro umístění motoru

4.5.4 Zátěž

Zátěž chceme realizovat pomocí vhodné pružiny. Volíme pružinu ze sortimentu firmy Alcomex 4.8.

Parametry pružiny: Tloušťka drátu $d = 5mm$, střední průměr pružiny $D_m = 50mm$, délka pružiny ve volném stavu $L_0 = 277mm$, přípustné protažení pružiny $L_n = 362mm$, síla vyvinutá pružinou $F_n = 543N$, tuhost pružiny $c = 1.28N/mm$.



Obrázek 4.8: Zátěž - Tažná pružina železná[17]

Rameno posilovače zatížíme pružinou jen na jedné straně dle obrázku 4.9. Pružina je uchycena na koncové straně hlavní konzoly za vingl (A), na jehož případné posunutí jsme si nechali na stojanu rezervu. Na straně druhé je uchycena za rameno posilovače (C), ze kterého jsme z důvodu snadnější manipulace a zkrácení délky stojanu odstranili pohyblivý kloub. Na původní ocelovou matici jsme navařili oko z drátu o průměru $d = 5mm$ (B). Jelikož je na závitě rameno posilovače jemné stoupání, volili jsme tuto záložní variantu. Normalizované oko pro náš závit jsme nesehnali.



Obrázek 4.9: Pružina představující zátěž, instalována na stojanu

4.5.5 Výroba stojanu

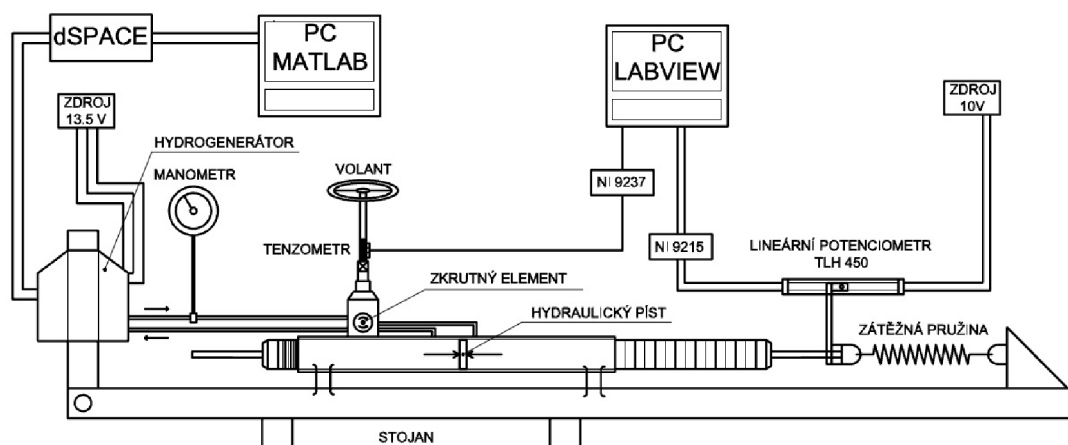
Výsledný stojan je jednoduchý a účelný, což bylo naším cílem. Jeho výroba nebyla složitá, ale na některé díly bylo potřeba konzolové frézky, soustruhu a stolní vrtačky. Zázemí pro výrobu těchto náročnějších kusů nám poskytla firma Strojtechnik.

4.6 Měření

Měření provádíme v poloze horizontální. Před prvním měřením bylo třeba hydraulický systém naplnit hydraulickým olejem. Zvolili jsme minerální hydraulický olej FEBI Nr 06162. Doplnění oleje do úplně prázdného vedení není zcela běžná operace. Rozhodli jsme se doplňovat olej po malých dávkách. Motoru jsme posílali informace; motor pracoval, a v krátkých intervalech jsme olej doplňovali. Naše řešení však vyvolalo další problém. Postupným doplňováním byl celý systém zavzdušněný a po úpravě hydrauliky se na hydraulickém vedení nenachází odvzdušňovací ventil. Proto jsme využili přívodní hadice k manometru, kterou jsme jako odvzdušňovací ventil využili. Systém se nám podařilo naplnit.

Posilovač řídíme pomocí prostředí Matlab Simulink. Data z tenzometru a potenciometru získáváme z Labview. Jejich zpracování provádíme v Matlab. Jednodušší by bylo data zpracovávat od začátku v Matlabu, karta NI 9237 však komunikuje s verzí Matlabu 2010, kterou bohužel k dispozici nemáme. Další omezení nám karta způsobuje nemožností přepínat její rozsah (více v kap. 4.2.3). Z důvodu velkého zašumění dat je třeba filtrování.

Schéma celého systému (obrázek 4.10) slouží k lepšímu pochopení celého měření.



Obrázek 4.10: Schéma měřeného systému

4.7 Výsledky

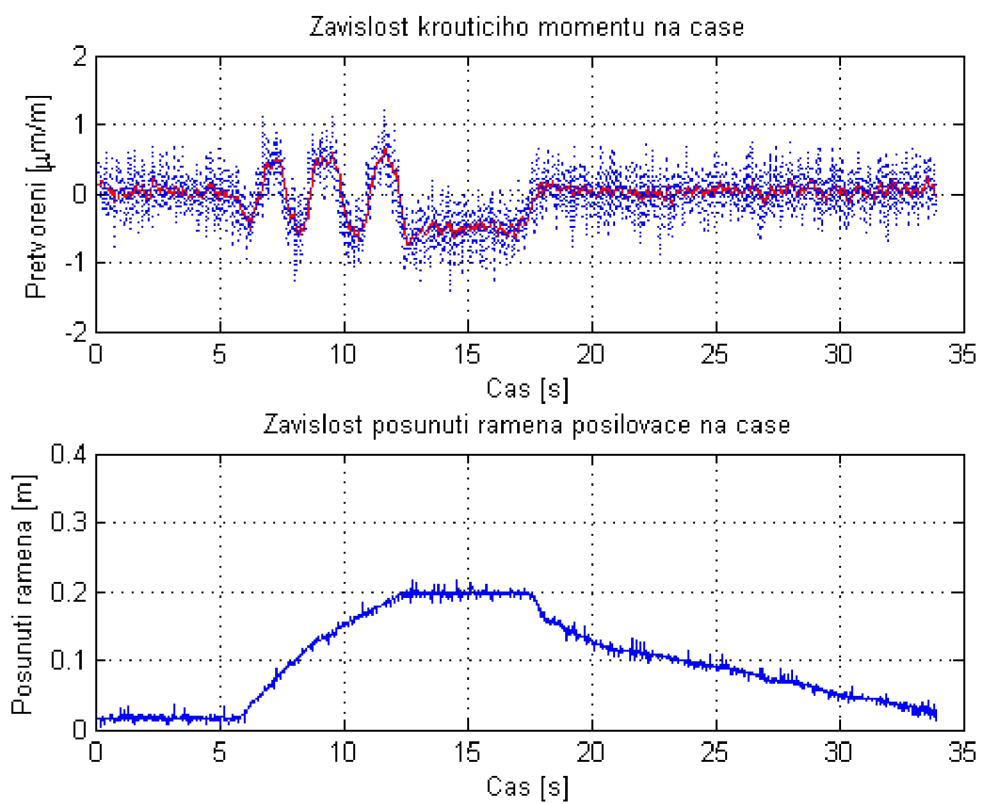
Jak bylo zmíněno v kap. 2.1.3, resp. 2.1.2, hydrogenerátor se řídí pokyny z řídicí jednotky, která vyhodnocuje především rychlost vozu a na základě těchto dat koriguje otáčky hydrogenerátoru. Proto jsme se rozhodli naměřit data při různých rychlostech.

4.7.1 Nulová rychlost

Naměřili jsme data (obrázek 4.11) při nulové rychlosti a vypnutém motoru. Hodnoty kroutícího momentu jsou při nulovém posilovacím účinku největší a jejich amplitudy mají stejnou hodnotu. To je dáno pružinou, která při našem použití má stále stejnou tuhost; chová se lineárně. Maximální výchylky do plusových i minusových hodnot jsou dány vždy přehmatem na volantu. Počet otáček z krajní polohy do krajní polohy je tři. Točení volantem bylo prováděno klasickou metodou přehmatáváním dle výuky v autoškolách.

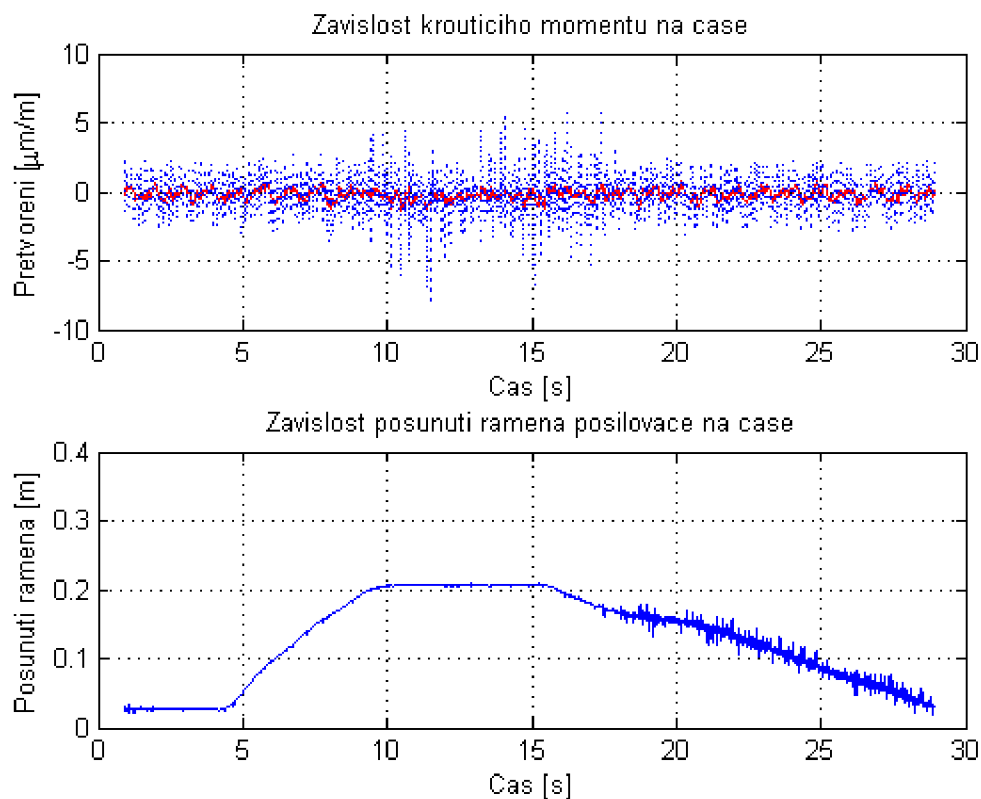
4.7.2 Rychlost 20km/h

Nastartovali jsme motor automobilu (přepnuli jsme Engine speed status z 0 do 1) a zvýšili rychlost automobilu (Vehicle Speed) na 20km/h . Při této rychlosti jsou otáčky motoru nejvyšší (obrázek 4.12). Chování hydrogenerátoru ovlivňujeme výhradně rychlostí automobilu. Posilovací účinek je největší



Obrázek 4.11: Graf měřených závislostí při vypnutém motoru

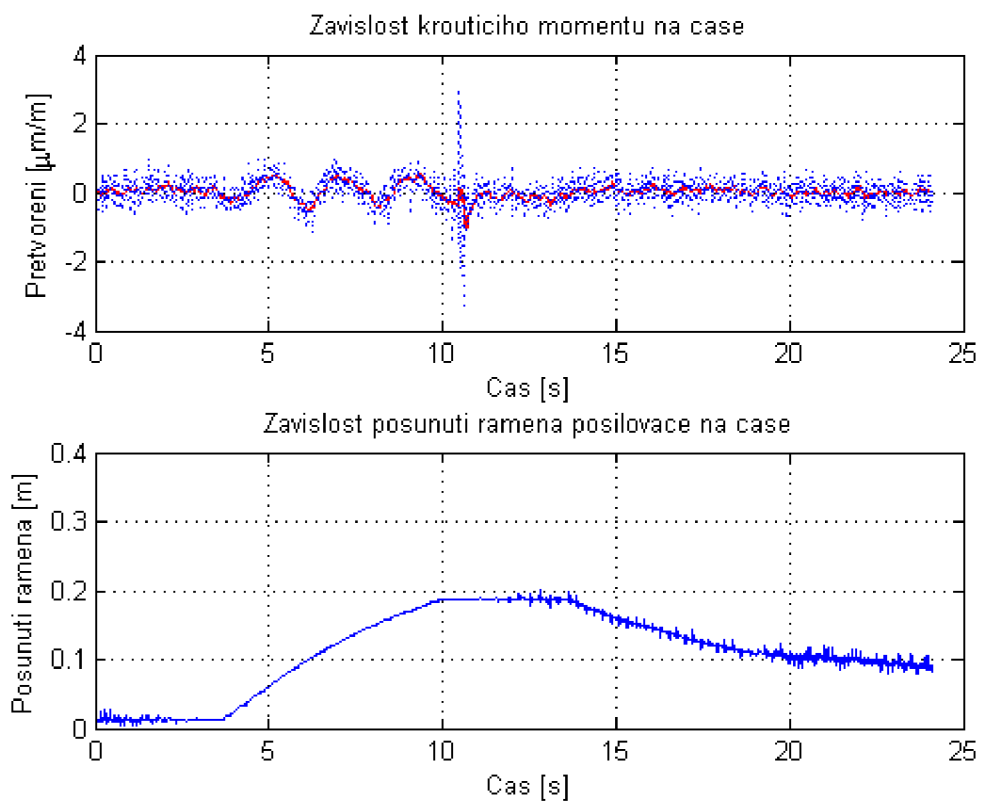
stejně jako tlak (o něm více v 4.7.4). V grafu kvůli šumu prakticky nelze rozeznat velikost kroutícího momentu.



Obrázek 4.12: Graf měřených závislostí při rychlosti vozu 20km/h

4.7.3 Rychlost 170km/h

Poté jsme rychlost automobilu zvyšovali až na hodnotu 170km/h . Při této rychlosti má motor nejnižší otáčky, a ty již udržuje až do maximální rychlosti 255km/h 4.1, kterou můžeme hydrogenerátoru posílat. Posilovací účinek byl tudíž nejnižší (obrázek 4.13) (mimo stav zastavené auto), což je také v provozu požadováno. Hodnoty maximálního kroutícího momentu při zastaveném motoru a při zapnutém motoru pro rychlost 170km/h se výrazně neliší, otáčky motoru pro tuto rychlost byly nízké stejně jako tlak (o něm více v 4.7.4). Překmit v závislosti kroutícího momentu na čase v čase 11s byl způsoben dorazem do krajní polohy.



Obrázek 4.13: Graf měřených závislostí při rychlosti vozu 170km/h

4.7.4 Průběh tlaků

Během měření jsme zjistili, že nás omezuje napájecí zdroj hydrogenerátoru, který nám umožňuje maximální proud 30A.

Asi nejzajímavější je průběh tlaku v krajních polohách, který popisuje tabulka 4.3. Zde nás slabý zdroj limitoval.

Tabulka 4.3: Průběh tlaků při měření

Rychlost automobilu	Max. tlak	Klidový tlak
170 km/h	7 MPa	0.4 MPa
130 km/h	6 MPa	0.5 MPa
90 km/h	4 MPa	0.6 MPa
50 km/h	2 MPa	0.7 MPa
20 km/h	1 MPa	0.9 MPa

Zkrutný element se v průběhu otáčení volantů deformuje a vyrovnává tlak. Jakmile se volant dostane do krajní polohy, začne na zkrutný element působit větším tlakem, který se jej snaží vyrovnat. Klidový tlak v tabulce 4.3 udává hodnotu odečtenou na manometru, která byla v hydraulickém vedení v průběhu otáčení volantem. Hodnota maximálního tlaku je pak hodnota, které nám umožní dosáhnout zdroj 30 A. Po překročení této hodnoty v rámci ochrany zařízení zdroj sníží napětí a na to reaguje hydrogenerátor také ochranou, tedy restartem. Celý tento proces se projevuje výrazným cukáním.

Asi nejzajímavější se zdají býti hodnoty tlaků pro rychlost 20km/h. Hydrogenerátor posiluje na maximum a klidový tlak se liší od tlaku v krajní poloze jen minimálně. Zapůsobením na volant větší silou během otáčení dosáhneme stejného stavu, jako v krajní poloze.

Kapitola 5

Závěr

Na základě nově nabitých znalostí týkajících se problematiky posilovačů řízení (2.1) a jejich řízením (2.2.1), kterým jsme se věnovali v rešeršní části, jsme vytvořili funkční model (4.10) a odzkoušeli jsme chování elektrohydraulického posilovače řízení od firmy TRW (4.1).

Posilovač řízení, který byl po úpravě hydraulického systému osazen axiálním manometrem (4.4) jsme umístili na robustní stojan (4.5). Na konstrukci stojanu jsme umístili konstrukci pro uchycení volantu (4.5.2), na jehož hřídeli jsme měřili tenzometrem kroučící moment (4.2). Pohyb ramena posilovače snímal lineární potenciometr (4.3); jako zátěž na rameno jsme volili tažnou pružinu (4.5.4).

Posilovač jsme řídili pomocí protokolu CAN (4.1.2). V prostředí Matlab Simulink jsme pomocí dSPACE posílali data do hydrogenerátoru. Ten reagoval významně především na změnu rychlosti automobilu. Čím větší byla rychlost automobilu, tím nižší byly otáčky. Nejvyšších, (resp. nejnižších) otáček dosáhl hydrogenerátor při rychlosti 20km/h , (resp. 170km/h). Zde byla hodnota kroučícího momentu vyvíjená na volantu nejnižší a posilovací účinek tudíž nejvyšší, (resp. opačně). Od rychlosti 170km/h byly již otáčky konstantní až do maximální rychlosti, kterou můžeme po sběrnici CAN vysílat (255km/h). Můžeme tedy konstatovat, že hydrogenerátor svým chováním splnil naše předpoklady.

Pro měření kroučícího momentu jsme výpočtem zvolili vhodný tenzometr (4.2.1). Nakonec nám však měření znehodnotila karta NI 9237, pomocí které jsme data importovali do prostředí Labview. Nacházeli jsme se totiž v oblasti 5% šumu.

Dalším faktorem, který nás při měření omezoval, byl slabý zdroj pro hydrogenerátor (pouze 30A). Z podkladů od firmy TRW známe, že při maximálním tlaku na zkrutný člen, který svou deformací určuje velikost tlaku - posilovacího účinku, teče proud až 99A (při tlaku 11MPa). Tato situace

nastává při maximálním vytočení volantu. Výhodou slabého zdroje se může zdát fakt, že při překročení hranice 30 A jsme mohli opakovaně odměřit na manometru maximální tlak. Ten se lišil pro různé rychlosti automobilu. Při rychlosti 170km/h činil 7MPa . Naopak při rychlosti 20km/h se lišil maximální tlak v krajní poloze a tlak v nekrajní poloze minimálně; tady jsme nevědomky šli až na hranice našich možností. Stačilo použít silnější pružiny a hodnoty při největším posilovacím účinku jsme z důvodu slabého zdroje nenaměřili.

Při použití vhodnější měřící karty pro přenos signálu z tenzometru, silnějšího zdroje pro hydrogenerátor a pružiny s vyšší tuhostí pro lepší simulaci zátěže bychom mohli dosáhnout jistě přesnějších výsledků.

Literatura

- [1] MECHLAB - MECHATRONICS LABORATORY WEBSITE:, <http://www.umt.fme.vutbr.cz/mechlab>, 11.05.2011
- [2] AXL SEMILY, HYDRAULICKÉ SERVOŘÍZENÍ:, <http://www.axl.cz/vyrobky/hydraulicke-servorizeni.htm>, 11.05.2011
- [3] SERVOŘÍZENÍ.CZ - HYDRAULICKÉ SERVOŘÍZENÍ:, <http://www.servorizeni.cz/>, 11.05.2011
- [4] HYDRAULIKA:, <http://www-user.tu-chemnitz.de/~lynn/Czech%20modules/Modul%203%20tschechisch%20komplett.pdf>, 12.05.2011
- [5] HYDRAULIC POWER STEERING - SCHÉMA:, <http://www.e9-driven.com/Public/Library/BMW-E9-Manual/pages/en/32131030.html>, 12.05.2011
- [6] ELEKTRICKÉ POSILOVAČE ŘÍZENÍ:, <http://www.iskra-agv.cz/mechatronics.htm>, 12.05.2011
- [7] ŘÍZENÍ S POSILOVAČEM:, http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-11.04_rizeniautomobilu_posilovacerizeni.pdf, 12.05.2011
- [8] EHPS - TRW AUTOMOTIVE:, [EHPS.ppt](#), 12.05.2011
- [9] SBĚRNICE CAN:, <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03021/index.html>, 12.05.2011
- [10] CAN (CONTROLLER AREA NETWORK):, <http://www.kvaser.com/en/about-can.html>, 12.05.2011
- [11] EXPERIMENTÁLNÍ MECHANIKA - TENZOMETR:, http://www.umt.fme.vutbr.cz/img/fckeditor/file/opory/Experimentalni_mechanika.pdf, 13.05.2011

- [12] CAN ROZHRANÍ:, <http://www.carmotor.cz/can-bus-sbernice-co-je-to/>, 15.05.2010
- [13] HBM - PARAMETRY TENZOMETRU:, <https://webshop.hbm.com/articledetail.htm?productId=6266>, 23.05.2010
- [14] NI 9237 - NÁVOD PRO VYTVOŘENÍ KABELÁŽE:, <http://www.ni.com/pdf/manuals/374186e.pdf>, 23.05.2010
- [15] OBRÁZEK - HYDRAULICKÝ POSILOVAČ ŘÍZENÍ:, <http://www.e9-driven.com/Public/Library/BMW-E9-Manual/pages/en/32131030.html>, 24.05.2010
- [16] OBRÁZEK - ELEKTRICKÝ POSILOVAČ ŘÍZENÍ:, <http://www.autoevolution.com/news-image/electric-power-steering-expected-to-become-a-widespread-solution-19414-1.html>, 24.05.2010
- [17] OBRÁZEK - PRUŽINA ALCOMEX:, http://obchod.alcomex.cz/tazne_pruziny.php?kat=Fe&d=5.00&pag=ta&Vyber=Vyber, 24.05.2010
- [18] KOCÚREK ONDŘEJ: *Současný stav a vývojové tendence v konstrukci řízení osobních automobilů*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007

Příloha A

Používané zkratky

ACD Acknowledge Delimiter

ACK Acknowledge slot

BEAN Body Electronic Area Network

CAN Controller Area Network

CRC Cyclic Redundancy Check

DLC Data length

EHPS Elektro-hydraulický posilovač řízení (Electro-hydraulic Power Steering)

EPS Elektrický posilovač řízení (Electric Power Steering)

ERC End of CRC

GM General Motors

IDE Identificator Expression

LIN Local Interconnect Network

OA Osobní automobil

PC Osobní počítač - Personal Computer

RTR Remote Transmission Request

SOF Start of frame

SRR Substitute Remote Request

VAN Vehicle Area Network