

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Určování výkonu motoru vozidla z průběžného
vyhodnocování zrychlení a dalších parametrů
pohybujícího se vozidla

Jiří Vejvoda

Bakalářská práce

2011

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří VEJVODA**
Osobní číslo: **I07482**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Určování výkonu motoru vozidla z průběžného
vyhodnocování zrychlení a dalších parametrů pohybujícího
se vozidla**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Analýza problematiky a rešerše stávajících způsobů řešení.
2. Volba řešení a výběr vhodných akcelerometrických senzorů.
3. Návrh vlastního zařízení.
4. Pořízení měřených dat, jejich analýza a návrh filtrace hodnot.
5. Tvorba komunikačního SW.
6. Optimalizace systému z hlediska dosahované přesnosti.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] Lachnit Z.: ?Inerciální snímače pro zpřesňování odometrie mobilních robotů? VUT Brno 2007
- [2] Pinker J.: ?Mikroprocesory a mikropočítače?, BEN Praha 2004, ISBN: 80-7300-110-1
- [3] Hrabáček J.: ?Komunikace mikrokontroléru s okolím?, BEN Praha 1999, ISBN: 80-86056-73-2
- [4] Burkhard M.: ?C pro mikrokontroléry?, BEN Praha 2003, ISBN: 80-7300-077-6

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Dobrovolný, Ph.D.
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce:

14. prosince 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

13. května 2011



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2011

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne

Jiří Vejvoda

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Martinu Dobrovolnému Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, cenné připomínky a konzultace. Dále bych chtěl moc poděkovat své rodině a všem, kteří mne při studiu podpořili.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá teoretickým rozbořem dosud používaných metod pro měření výkonu vozidla a především jak návrhem, tak realizací vlastního zařízení, které je schopno měřit zrychlení a další veličiny pohybujícího se vozidla. Dále vytvoření softwaru na zpracování dat a výpočet výkonu vozidla z naměřených dat.

Klíčová slova

Akcelerometr, Gyroskop, Měření výkonu motorového vozidla.

Title

Determination of the vehicle engine capacity based on ongoing evaluation of acceleration and other parameters of a moving vehicle

Annotation

This Bachelor thesis deals with the theoretical analysis of the currently used methods for measuring vehicle engine power output and especially the design and implementation of the device that is capable of measuring acceleration and other variables of a moving vehicle. Furthermore, it deals with creation of software for data processing and calculation of the vehicle performance from the data measured.

Keywords

Accelerometer, gyroscope, Determination of the vehicle engine performance.

Obsah

Seznam zkratk	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	9
1 Úvod	10
2 Rozbor aplikačních požadavků	11
2.1 Požadavky na návrh systému.....	11
2.2 Rozbor současných řešení	11
2.2.1 Motorová brzda	11
2.2.2 Válcová zkušebna	12
2.2.3 Měření výkonu pomocí snímání provozních parametrů.....	14
2.2.4 Zhodnocení	15
3 Měření výkonu pomocí snímání provozních parametrů vozidla	16
3.1 Rozbor metod měření provozních parametrů	16
3.2 Dynamika motorového vozidla	17
3.3 Jízdní odpory	20
3.3.1 Odpor vzdušný.....	20
3.4 Jízdní výkony a točivý moment.....	22
3.5 Výpočet rychlosti pomocí akcelerace.....	23
3.6 Určení senzorů a jejich rozsahů.....	24
3.6.1 Určení rozsahu akcelerometru výpočtem	26
3.6.2 Určení rozsahu akcelerometru praktickým měřením.....	27
3.6.3 Určení rozsahu gyroskopu	28
4 Návrh systému	29
4.1 Popis blokového schéma zařízení.....	29
4.2 Detailní popis jednotlivých částí.	30
4.2.1 Napájení.....	30
4.2.2 Řídící mikrokontrolér ATmega32L.....	31
4.2.3 USB převodník FTDI	32
4.2.4 Paměť EEPROM	33
4.2.5 Akcelerometr	34
4.2.6 Gyroskop	35

4.3	Návrh DPS	37
5	Popis FW řešení měřicího zařízení	40
5.1	Popis funkce programu	40
5.2	Popis jednotlivých funkčních celků	41
5.2.1	Měření	41
5.2.2	Výpis dat z paměti pomocí USART	41
5.2.3	Mazání paměti	41
5.3	Způsob inicializace a vyčítání periferií	41
5.3.1	Akcelerometr	41
5.3.2	Gyroskop	42
5.3.3	Paměť	43
5.4	Organizace paměti	43
5.5	Popis Uživatelského rozhraní	45
5.5.1	Měření	45
5.5.2	Zobrazení délky měření	45
5.5.3	Vizualizace	46
5.5.4	Kalibrace	46
6	Popis softwarového řešení pro PC	47
6.1	Načítání dat do PC	48
6.2	Vykreslení křivky průběhu výkonu	48
7	Praktické ověření funkce navrženého zařízení	49
7.1.1	Postup měření	49
7.2	Volkswagen Passat 1.9 TDI	49
7.3	Škoda Octavia RS 2.0 TFSI	51
7.4	Volkswagen golf III 1.9 TDI	53
8	Závěr	55
	Seznam použitých zdrojů	56

Seznam zkratek

EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
GPIO	General Purpose Input/Output
LDO	Low Drop Out
DPS	Deska plošných spojů
MSB	Most Significant bit
LSB	Least Significant bit
ISP	In System Programming
JTAG	Joint Test Action Group
I ² C	Inter-Integrated Circuit
USB	Universal Serial Bus
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter
SMD	Surface Mount Device
AVR	Advanced Virtual RISC

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Motorová brzda - Škoda Mladá Boleslav [15].....	12
Obrázek 2 - Příklad válcové zkušebny firmy Diesel Power [20].....	14
Obrázek 3 - Příklad měření rychlosti pomocí otáček kola.....	16
Obrázek 4 - Síly a momenty na karoserii.....	18
Obrázek 5 - Síly a momenty na kole	18
Obrázek 6 - Zjištění čelní plochy vozidla - tzv. projekce čelní plochy [2].....	21
Obrázek 7 - Znázornění měřících os gyroskopu [21].....	25
Obrázek 8 - Naměřené hodnoty zrychlení.....	27
Obrázek 9 - Doporučený rozsah gyroskopů pro různé aplikace [21].....	28
Obrázek 10 - Blokové schéma měřícího systému.....	30
Obrázek 11 - Elektrické schéma napájecího obvodu.....	31
Obrázek 12 - Schéma zapojení obvodu ATmega32 a dalších periférií.....	32
Obrázek 13 - Schéma zapojení obvodu FTDI	33
Obrázek 14- Schéma zapojení paměti AT24C1024B.....	33
Obrázek 15 - Příklad tříosého akcelerometru. [10].....	34
Obrázek 16 - Schéma zapojení akcelerometru.....	35
Obrázek 17 - Rozmístění os na gyroskopických senzorech [17][18].....	35
Obrázek 18 - Schéma zapojení gyroskopů.....	36
Obrázek 19 - Celkové schéma logiky zařízení.....	37
Obrázek 20 - DPS senzorů měřícího zařízení.....	38
Obrázek 21 - DPS logiky.....	38
Obrázek 22 - Popis desky měřícího zařízení.....	39
Obrázek 23 - Zjednodušený diagram běhu programu měřícího zařízení.....	40
Obrázek 24 Zobrazení vztahu mezi výstupem akcelerometru a hodnotou zrychlení.....	42
Obrázek 25 - Popis organizace paměti.....	44
Obrázek 26 - Nabídka uživatelské rozhraní měřícího zařízení.....	45
Obrázek 27 - Příklad funkce zobrazení délky měření.....	46
Obrázek 28 - Příklad funkce vizualizace.....	46
Obrázek 29 - Popis jednotlivých bloků analyzačního softwaru.....	47
Obrázek 30 - Příklad funkce logování naměřených dat.....	49
Obrázek 31 - VW Passat 1.9 TDI, Průběh výkonu a točivého motoru	50
Obrázek 32 - Passat 1.9 TDI, Naměřený průběh výkonu a točivého momentu [19].....	50
Obrázek 33 - Škoda Octavia RS 2.0 TFSI, Průběh výkonu a točivého motoru [22].....	52
Obrázek 34- Škoda Octavia RS 2.0 TFSI, Průběh výkonu a točivého momentu motoru....	52
Obrázek 35 - VW Golf III 1.9 TDI, Průběh výkonu a točivého momentu motoru.....	54
Obrázek 36 - VW Golf III 1.9 TDI, Průběh výkonu a točivého momentu motoru.....	54

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Příklad hodnot součinitele c_x některých vozidel [5].....	22
Tabulka 2 - Vztah mezi zrychlením a změnou rychlosti.....	23

1 Úvod

Ke zpracování této bakalářské práce mne motivovala praktická možnost změření výkonu a kroutícího momentu motoru vozidla bez nutnosti podstupovat nákladné měření. Hlavní účel měření výkonu je zjištění, zda provedená úprava výkonu motoru k něčemu vůbec byla, popřípadě o jak velké zvýšení výkonu došlo. Dále prosté zjištění průběhu výkonu za účelem optimalizace jízdního stylu nebo pro specifikaci závady motoru (např. výkonový propad v určitém spektru otáček motoru).

Cílem práce bylo prostudovat metody měření výkonů a ze získaných znalostí navrhnout a zhotovit zařízení, které bude schopno zaznamenávat zrychlení vozidla za účelem výpočtu výkonu motoru vozidla. Naměřená data by měla být ukládána pro pozdější zpracování. Výsledný průběh výkonu a točivého momentu by měl být graficky znázorněn v závislosti na otáčkách motoru.

V současné době se pro měření výkonu používají nejčastěji tři metody. V první metodě probíhá měření přímo na motoru, kde veškeré jízdní odpory simuluje motorová brzda. Další metodou je dnes hojně využívaná válcová zkušebna pro svou dostupnost a přesnost. U nichž se měří výkon přímo na vozidle, kdy motor zůstává v autě, poháněná kola jsou umístěna na válcích, brzděných retardéry, ze kterých se následně snímají údaje. V tomto případě je naměřený výkon ovlivňován odporem převodovky, rotační hmotou kol, jejich nahuštěním i např. odporem alternátoru a dalších přídatných zařízení motoru a samozřejmě také samotným měřicím zařízením. Poslední známou metodou je měření výkonu pomocí snímání provozních parametrů. Vlastní měření je velmi podobné postupu měření ve válcové zkušebně jen s tím rozdílem, že vozidlo se pohybuje. Tato metoda je však velice ovlivňována prostředím, kde měření probíhá. Tyto metody budou podrobněji rozebrány v kapitole 2.2.

Vlastní text je rozdělen do několika základních kapitol. První se zabývá rozbořením aplikačních požadavků na navrhovaný systém. Dále je analyzován současný stav řešení měření výkonu motoru vozidla.

V další části je podrobněji rozebrána metoda měření výkonu pomocí snímaných provozních parametrů a dynamika vozidla s odvozením jízdních odporů. Následuje určení senzorů a jejich parametrů. To bylo realizováno experimentálním měřením a teoretickým výpočtem.

Následující kapitola se zabývá vlastním návrhem a zhotovením měřícího zařízení spolu s firmwarovým řešením a uživatelským rozhraním. Součástí tohoto oddílu je také realizace programu na PC pro zpracování naměřených dat.

V závěru této práce je funkce navrženého systému prakticky ověřena měřením několika vozidel.

2 Rozbor aplikačních požadavků

2.1 Požadavky na návrh systému

Požadavkem této práce bylo navrhnout a zhotovit samostatné měřicí zařízení, které je schopné určit výkon a točivý moment motoru vozidla ze zadaných parametrů vozidla a dále z průběžně vyhodnocovaných parametrů pohybu vozidla graficky vykreslit křivku průběhu výkonu motoru (se zanedbáním ztrát) v závislosti na otáčkách motoru. Pro tyto účely by mělo být navrženo samostatné zařízení s CPU, vhodnými akcelerometry a dalšími periferiemi, nutnými pro průběžné ukládání dat a komunikaci s vyhodnocovacím PC. Proto by další částí systému měl být jednoduchý SW na PC pro vizualizaci průběhu výkonu a export naměřených dat. Měřicí zařízení by mělo být kompaktní, přenosné a nezávislé na jeho napájení, mělo by být schopno měřit v jakékoliv poloze. Také by neměla chybět možnost připojit k zařízení dalšímu měřicímu hardware jako například měřicí páté kolo.

Hlavní funkce měřicího systému by tedy měla být schopnost měření provozních parametrů jako je celkové zrychlení a náklon vozidla, dále uchování více měření bez nutnosti připojovat zařízení k PC. Software pro zpracování naměřených dat by kromě grafického znázornění křivky výkonu a točivého momentu v závislosti na otáčkách motoru měl obsahovat funkci pro porovnání dvou měření pro analyzační potřeby. Další očekávanou funkcí je možnost zpracovat naměřená dat do podoby tzv. *logu*.

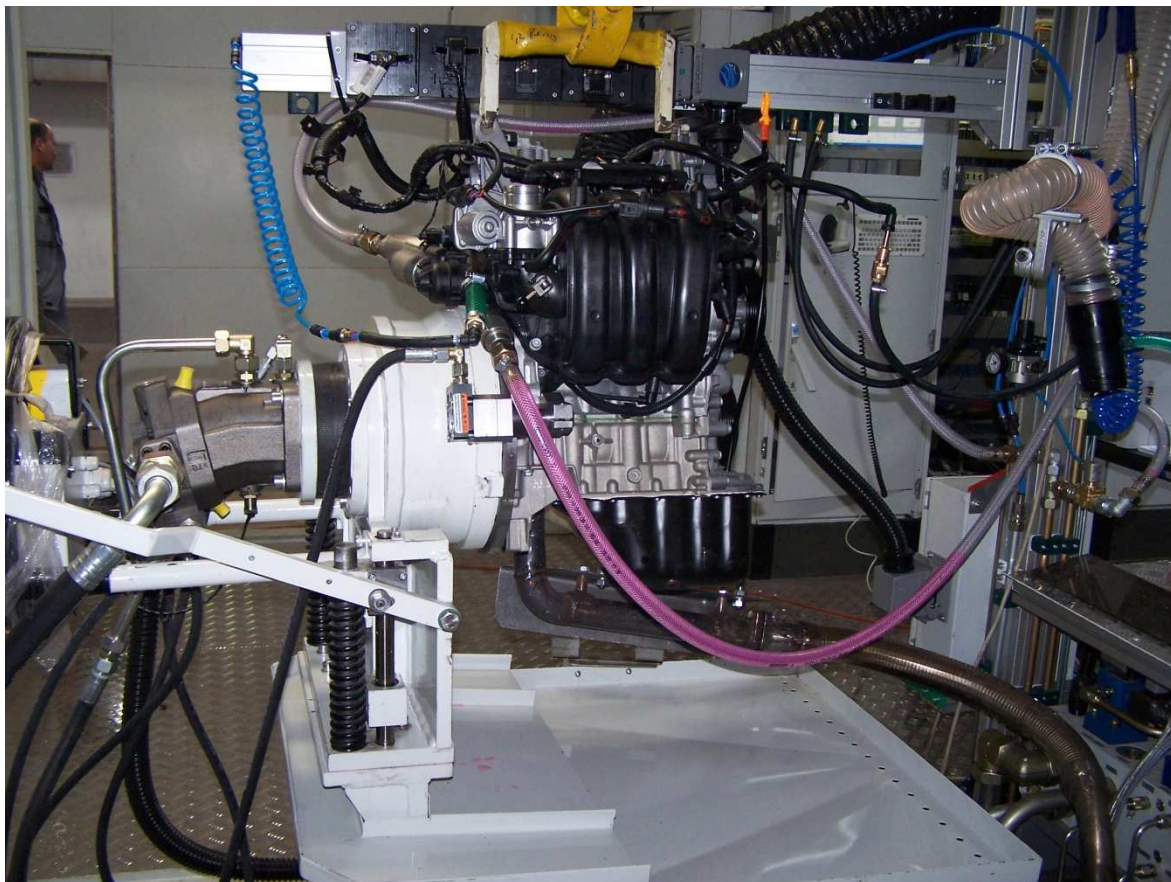
2.2 Rozbor současných řešení

Motory vozidel jsou charakterizovány maximálním výkonem a točivým momentem, které může motor dosáhnout. Výkon motoru na klikové hřídeli je převáděn pomocí převodového ústrojí na kola. Jednotlivé metody měření výkonu jsou popsány v následujícím bodech.

2.2.1 Motorová brzda

Měření výkonu na motorové brzdě probíhá přímo na motoru, což znamená, že motor musí být před měřením spolu s příslušenstvím vymontován. Toto je velká nevýhoda oproti ostatním metodám, kde motor zůstává ve vozidle. Princip je takový, že se samotný motor namontuje na brzdící zařízení, které simuluje veškeré odpory motoru, stejně jako je tomu v silničním provozu. Nejčastěji se používá rotační vodní brzdy. Při měření na brzdě se neměří přímo výkon, ale točivý moment a snímají se otáčky motoru. Samotný výkon se dopočítává pomocí naměřeného momentu otáček. Metoda je velice přesná, protože měří výkon bez ztrát v převodovém ústrojí, valivého odporu pneumatik a dalších ztrátových veličin. Tento způsob měření se nejčastěji používá při ladění

závodních motorů a při vývoji ve velkých automobilních závodech. Příklad měření na motorové brzdě je na obrázku 1.



Obrázek 1 - Motorová brzda - Škoda Mladá Boleslav. [15]

2.2.2 Válcová zkušebna

Nejčastější používanou metodou pro svou přesnost a finanční dostupnost je válcová zkušebna. Zde se měří výkon přímo na vozidle, kdy motor zůstává v autě, poháněná kola jsou umístěna na válcích, brzděných retardéry, ze kterých se následně snímají údaje. V tomto případě je naměřený výkon ovlivňován odporem převodovky, rotační hmotou kol, jejich nahuštěním i např. odporem alternátoru a dalších přídavných zařízení motoru a samozřejmě také samotným měřicím zařízením.

Hodnota takto vzniklého ztrátového výkonu se tedy samozřejmě vypočítává u každého typu zařízení poněkud jinak, neboť vychází z technických parametrů té, které zkušebny. Zásadně ji však ovlivňují parametry zkoušeného vozidla (např. pouhá změna průměru hnacích kol na vozidle vždy způsobí změnu výkonu). Abychom se přiblížili co nejvíce k absolutní reálné hodnotě výkonu a kroutícího momentu, musí být zkušebna velmi přesně „kalibrována“, a tyto hodnoty musí být v přesně stanovených časových

intervalech ověřovány a eventuálně korigovány. Pokud se kontrola striktně neprovádí, jsou pak válcové zkušebny nejvíce vhodné pouze pro měření výkonu před tuningovou úpravou a následně po ní. Tehdy nás zajímá především nárůst výkonu před chipováním a po něm. Totéž platí samozřejmě i v případě, kdy máme na motoru závadu a domníváme se, že způsobuje nedostatek výkonu. Následným změřením i po odstranění závady si záležitost snadno ověříme.

Je zcela jasné, že pokud provedete (nebo necháte provést) jakékoliv úpravy na motoru, bude Vás v první řadě zajímat, zda to vůbec k něčemu bylo. Důležitý je totiž také nárůst výkonu oproti neupravené verzi, nikoliv jen jeho absolutní hodnota, uvedená v katalogu pro danou úpravu.

Mezi takovými měřicími stolicemi jsou samozřejmě velké rozdíly v tom, co dovedou. Některé válcové zkušebny dokážou měřit výkon a kroutící moment pouze na vozidlech s jednou hnanou nápravou, některé s přední jiné se zadní. Kvalitnější zkušebny pak dokážou měřit vozidla s jednou hnanou nápravou a to buď přední nebo při otočení vozidla zadní. Na obrázku 2 je válcová zkušebna firmy Diesel Power, která je schopna obě nápravy.

Před započítím měření je vozidlo pevně připoutáno k měřicí stoličce, do počítače jsou uložena veškerá potřebná data o vozidle. Výkon vozidla je za provozu prostřednictvím kol přenášen na válce. V průběhu měření údaje počítač vyhodnotí. Na závěr měření je pak vytvořen závěrečný protokol, který obsahuje také výsledný graf, jak výkonu, tak kroutícího momentu a to v celém rozsahu otáček. Po celou dobu provozu se o chlazení podstatných komponent výkonově zatíženého motoru starají vysoce výkonné ventilátory. Účinné odsávací ventilátory také zabezpečují odvod spalin, vzniklých při měření tlumícími filtry mimo budovu.[2]



Obrázek 2 - Příklad válcové zkušebny firmy Diesel Power¹. [20]

2.2.3 Měření výkonu pomocí snímání provozních parametrů

Tato metoda známá, také pod pojmem reálná brzda. Tímto pojmem je myšleno měření přímo na silnici. Postup měření je hodně podobný měření ve válcové zkušebně, jen se vozidlo pohybuje. Naměřený výkon motoru ovlivňuje valivý odpor pneumatik, odpor převodovky a hlavně odpor vzduchu, který stoupá s druhou mocninou rychlosti.

V prvním případě lze výkon určovat pomocí diagnostického zařízení, ale to jen v případě, že vozidlo je vybaveno diagnostickou zásuvkou a řídicí jednotka podporuje reálné měření. Poté se měří stejně jako v případě s motorovou brzdou točivý moment a výkon je dopočítáván pomocí otáček.

Pokud ale vozidlo není vybaveno diagnostickou zásuvkou nebo řídicí jednotka takového měření nedovoluje nabízí se řešení v podobě měření celkového zrychlení vozidla. Tento způsob se realizuje pomocí senzorů akcelerace tzv. akcelerometrů. Pro aplikaci této metody je však důležité znát technické parametry vozidla jako je provozní hmotnost², poloměr hnacího kola a výsledný převod převodového ústrojí.

¹ <http://race.dieselpower.cz/Mereni-Vykonu/valcova-zkusebna.php>

² provozní hmotnost vozidla je definovaná jako: vozidlo s náplní chladicí kapaliny, oleje, 90 % paliva, 100 % ostatních náplní, nářadí, náhradního kola a řidiče (75 kg).

Velkou nevýhodou této metody je, že prostředí ve kterém probíhá měření má podstatný vliv na naměřené hodnoty. Mezi vlivy prostředí patří rychlost a směr větru. Dále valivý odpor pneumatik, který plyne z povrchu vozovky nebo typu pneumatik vozidla. Nedílnou součástí této problematiky je také stoupání. Z toho plyne, že optimální prostředí pro měření by mělo probíhat na rovné části vozovky nejlépe za bezvětří (např. letiště), aby byly tyto vlivy co nejvíce eliminovány, pokud by ovšem nebyly uvažovány ve výpočtech.

Je nutné si uvědomit, že motorové vozidlo si lze zjednodušeně představit jako systém tvořený karoserií a čtyřmi koly, které jsou navzájem spojeny zavěšením kol, tlumiči a nápravami. Každé volně pohybující se tuhé těleso má šest stupňů volnosti. V tomto případě by byl celkový počet stupňů volnosti 30. K popisu pohybu tělesa je proto nutný stejný počet diferenciálních rovnic, které jsou navzájem vázány. Ve výše uvedené představě navíc ještě nejsou uvažovány další faktory pohybujícího se vozidla jako je jeho náklon při akceleraci a v zatáčkách, dále rotační hmoty motoru a kol. Popis takovéto soustavy je velice složitý, proto se v praxi uvažuje jen zjednodušený model vozidla. Podrobnější rozbor této problematiky by však přesáhl obsah zadané práce.

Tento způsob měření výkonu a točivého momentu motoru vozidla je vůbec poslední známou metodou měření výkonu motoru vozidla

2.2.4 Zhodnocení

Ve výše uvedených kapitolách byl proveden rozbor současných metod měření výkonu. Každá metoda má své výhody a nevýhody, ale z hlediska zadání práce je nejvhodnější metoda měření výkonu pomocí snímání provozních parametrů. V následující kapitole bude proveden rozbor měření výkonu z provozních parametrů vozidla.

3 Měření výkonu pomocí snímání provozních parametrů vozidla

3.1 Rozbor metod měření provozních parametrů

Měření provozních parametrů vozidla lze uskutečnit hned několika způsoby. V první řadě se nabízí možnost napojit se přímo na řídicí jednotku vozidla, kde je možné vyčítat otáčky motoru, rychlost vozidla a tyto údaje následně ukládat do měřicího systému. Tato metoda však přináší úskalí v podobě nevyhovující kompatibility, protože ne všechny typy vozidel jsou vybaveny diagnostickou zásuvkou a nebo jsou staršího data výroby a řídicí jednotku vůbec nemají.

Další možností je měření rychlosti pomocí tzv. *měřicího pátého kola*. Rychlost vozidla lze měřit také určit snímáním otáček kola (obrázek 3). Otáčky motoru jsou vypočteny pomocí převodového poměru. Nevýhodou těchto metod měření rychlosti je nutnost instalace měřicího zařízení před každým měřením.



Obrázek 3 - Příklad měření rychlosti pomocí otáček kola.

Jako nejuniverzálnější způsob měření provozních parametrů vozidla se jeví měření celkového zrychlení vozidla, ze kterého jsou následně dopočítávány otáčky motoru a rychlost. Tato metoda však nedosahuje přesnosti výše uvedených způsobů měření jízdních parametrů. Přesnost naměřených hodnot lze však do určité míry korigovat kalibrací měřicího zařízení. Toto řešení je nejvhodnější z hlediska zadání práce.

3.2 Dynamika motorového vozidla

Při simulaci směrové dynamiky automobilu lze v závislosti na složitosti volit různé matematické modely. Nejjednodušší je jednostopý rovinný model, tedy model s nulovým rozchodem kol. Na rozdíl od dvoustopého jsou zde uvažovány boční a hnací síla působící na nápravu. Boční síla na přední nápravě je např. dána součtem sil působících na přední pravé a přední levé kolo. Model je možné pro zjednodušení linearizovat. To lze uskutečnit pouze při malých hodnotách úhlu směrové úchyly těžiště vozidla a s tím souvisejícího úhlu natočení předních kol.

Lepší představu o dynamickém chování vozidla je možné získat pomocí dvoustopého rovinného modelu, u něhož je rozchod kol nenulový. Zde lze na rozdíl od jednostopého modelu sledovat průběh rozložení bočních sil při průjezdu zatáčkou.

Rozsáhlejší a složitější variantou je prostorový model. Ten umožňuje komplexně vyšetřovat průběhy ve všech směrech. Lze jej vytvořit jak pro ustálenou, tak i neustálenou rychlost jízdy. Pro důkladnější a přesnější ověření řídicí jednotky stabilizačního systému ABS byl využit právě prostorový model vozidla, který má deset stupňů volnosti a je určen pro neustálenou rychlost jízdy. Současně se uvažuje působení podélných, příčných a radiálních sil na každém kole. To vyžaduje použití modelu pneumatiky a výpočet radiálních sil na jednotlivých kolech. Součástí je i náhradní model řídicího ústrojí.

V našem případě budeme předpokládat, že kola jsou s karoserií pevně spojena, poté je možné pro potřeby měření dynamického zrychlení uvažovat pouze přímočarý rovnoměrně zrychlený pohyb.

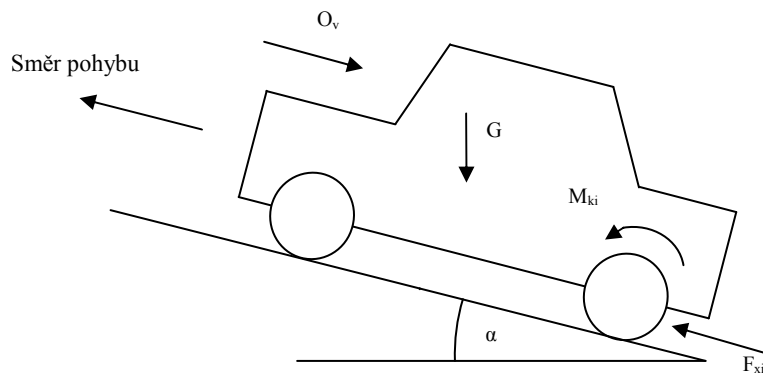
Pohybové rovnice ve směru osy (obrázek 2) jsou

$$m * a = -O_v - G * \sin \alpha + \sum_i F_{xi} \quad (3.21)$$

kde m - je hmotnost vozidla

a - je zrychlení

O_v - je vzdušný odpor



Obrázek 4 - Síly a momenty na karoserii

Pohybové rovnice kola pro dopředný pohyb a otáčení kola (obrázek 5)

$$m_{Ki} * a_{Ki} = -F_{xi} + H_{Ki} - G_{Ki} * \sin \alpha \quad (3.22)$$

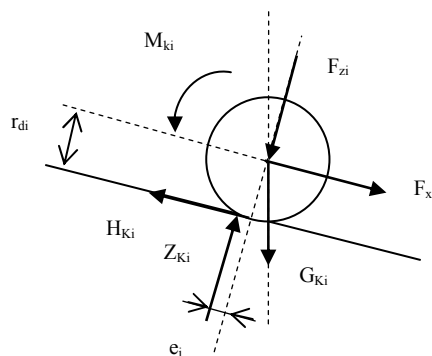
$$J_{Ki} * \ddot{\varphi}_{Ki} = M_{Ki} + H_{Ki} * r_{di} - Z_{Ki} * e_i \quad (3.23)$$

kde m_{Ki} - je hmotnost kola

G_{Ki} - je tíha kola

J_{Ki} - je hmotnostní moment setrvačnosti kola

M_{Ki} - je hnací moment kola



Obrázek 5 - Síly a momenty na kole

Z rovnic (3.35) a (3.36) plyne

$$F_{xi} = -G_{Ki} * \sin \alpha - m_{Ki} * a_{Ki} + \frac{m_{Ki}}{r_{di}} - \frac{J_{Ki}}{r_{di}} * \ddot{\varphi}_{Ki} - Z_{Ki} * \frac{e_i}{r_{di}} \quad (3.24)$$

Dosadíme-li tento výraz pro $a_{Ki} = a$ do rovnice (3.21) dostaneme

$$\left(m_1 + \sum m_{Ki}\right) * a + \sum \frac{J_{Ki}}{r_{di}} * \ddot{\varphi}_{Ki} = \sum \frac{M_{Ki}}{r_{di}} - \left(G_1 + \sum G_{Ki}\right) * \sin \alpha - O_v - Z_{Ki} * \frac{e_i}{r_{di}} \quad (3.25)$$

Označíme-li celkovou hmotnost vozidla m a celkovou tíhu G , pak platí

$$m = m_1 + \sum m_{Ki} \quad \text{a} \quad G = G_1 + \sum G_{Ki} \quad (3.26)$$

Úhlovou dráhu otáčení kola φ můžeme určit z translační dráhy x , pro kterou platí

$$a_K = r_K + \varphi_K \quad (3.27)$$

Kde r_K - je tzv. valivý poloměr kola.

Valivý poloměr kola je fiktivní veličina, která udává poloměr volně se valícího kola, které má stejnou úhlovou rychlost i stejnou dopřednou rychlost jako skutečné kolo. Poloměr dynamický r_d je skutečný poloměr kola, to je kolmá vzdálenost středu kola od opěrné plochy, které má kolo při jízdě vozidla a případně při přenosu obvodových sil. Valivý poloměr je roven poloměru dynamickému nepřenáší-li kolo žádnou obvodovou sílu. Při přenosu hnacího momentu M_k se poloměr valení r_K zmenší oproti dynamickému r_d vlivem tečné deformace a prokluzu ve stopě.

Dosadíme-li (3.26) a (3.27) do rovnice (3.25) dostaneme

$$\sum_i \frac{M_{Ki}}{r_d} = \left(m + \sum_i \frac{J_{Ki}}{r_{di} * r_{Ki}}\right) * a + G * \sin \alpha + O_v + \sum_i Z_{Ki} * \frac{e_i}{r_{di}} \quad (3.28)$$

Pravá strana rovnice (3.28) se skládá ze čtyř členů, které nazýváme jízdní odpory

$$\text{valivý odpor} \quad O_f = \sum_i Z_{Ki} * \frac{e_i}{r_{di}} \quad (3.29)$$

$$\text{vzdušný odpor} \quad O_v$$

$$\text{odpor stoupání} \quad O_s = G * \sin \alpha \quad (3.291)$$

$$\text{odpor zrychlení} \quad O_z = \left(m + \sum_i \frac{J_{Ki}}{r_{di} * r_{Ki}} \right) \quad (3.292)$$

Součet hnacích momentů dělený dynamickým poloměrem kola nazýváme silou vozidla

$$F_K = \sum \frac{M_{Ki}}{r_{di}} \quad (3.293)$$

3.3 Jízdní odpory

Hnací síla musí překonávat tyto jízdní odpory

$$F_K = O_f + O_v + O_s + O_z \quad (3.31)$$

Jízdní odpory jsou síly, které působí proti pohybu vozidla. Některé odpory působí vždy proti pohybu vozidla (odpor valivý a vzdušný odpor). Při zrychlování musí vozidlo překonávat odpor zrychlení a při jízdě do svahu odpor stoupání[3]. Největší jízdní odpor představuje odpor vzdušný, který se bude započítávat do výpočtu výkonu. Ostatní jízdní odpory budou zanedbány. Vzdušný odpor se vypočítá následovně.

3.3.1 Odpor vzdušný

Při jízdě vozidla proudí část vzduchu kolem horní části karoserie a část se musí protlačit prostorem mezi spodní částí vozidla a povrchem vozovky. Proudnice se za vozidlem neuzavírají, ale nastává víření a tím vzniká vzdušný odpor O_v

Celkový vzdušný odpor vozidla se určuje z běžného aerodynamického vztahu

$$O_v = c_x * \frac{\rho}{2} * S_x * v_r^2 \quad (3.3.11)$$

kde v_r - je výsledná (náporová) rychlost proudění vzduchu kolem vozidla

S_x - je čelní plocha vozidla

ρ - je měrná hmotnost vzduchu

c_x - je součinitel vzdušného odporu

Náporová rychlost v_r se skládá ze záporné rychlosti pohybu vozidla v se kterou vozidlo projíždí klidný vzduch a z rychlosti větru v_v podle (3.3.12), který ve výpočtech zanedbáváme.

$$\vec{v}_r = \vec{v} + \vec{v}_v \quad (3.3.12)$$

Měrná hmotnost vzduchu ρ závisí na teplotě a tlaku vzduchu. V praktických výpočtech uvažujeme $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$, což platí pro tlak vzduchu $p_0 = 1.013 \text{ bar}$ (101,3kPa) a teplotu $t_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Přesná velikost čelní plochy S_x se získá tzv. čelní projekcí vozidla (obrázek 6) [4].



Obrázek 6 - Zjištění čelní plochy vozidla - tzv. projekce čelní plochy[2]

V praxi je hodnota čelní plochy osobních vozidel zhruba $S_x = 1.8 - 2 \text{ m}^2$ a sportovních vozů $S_x = 1.5 - 1,7 \text{ m}^2$.

Součinitel odporu vzduchu c_x závisí především na tvaru karoserie vozidla. Hodnoty c_x se zjišťují měřením na modelech při vývoji nebo skutečných vozidlech v aerodynamickém tunelu. Měření na skutečných vozidlech, zejména stojí-li na válcích a kola se otáčejí. Velké c_x má za následek velkou spotřebu paliva, a proto je snaha dosáhnout u vozidel co nejnižších hodnot c_x .

Tabulka 1 - Příklad hodnot součinitele c_x některých vozidel [5]

vozidlo	c_x	rok výroby
Škoda Octavia II	0,29	2005
Mercedes C180	0,26	2000
Audi A3	0.33	2006
Mini Cooper	0,35	2008
Honda Civic	0.36	2001

Koeficienty S_x a c_x nejsou pro dané vozidlo vždy známe, proto je počítáno s následujícími hodnotami $S_x = 2 \text{ m}^2$ a $c_x = 0,33$. Vzniklá chyba je však zanedbatelná. Jestliže známe přesné hodnoty S_x a c_x je možné je v softwaru změnit.

3.4 Jízdní výkony a točivý moment

Výkon je dán podílem práce a času, za který je tato práce vykonána. Práce je přitom násobkem síly a dráhy, na které tato síla působí. Proto výkon motoru vozidla je počítán následovně

$$P = F * s * \frac{1}{t} = F * v \quad (3.41)$$

Výše uvedenou rovnici lze upravit do následující podoby

$$P_i = (m * a + 0_v) * v_i \quad (3.42)$$

Otáčky motoru n vypočteme jako součin otáček kola n_K a výsledného převodového poměru z .

$$n = n_K * z \quad \text{kde } n_K = \frac{v}{2\pi * r_K} \quad (3.43)$$

Rychlost vozidla závisí na otáčkách motoru n a na celkovém převodu převodového ústrojí.

$$P = F * n * (2\pi) * r_K \quad (3.44)$$

Tuto rovnici můžeme přepsat do podoby, kdy na jedné straně zůstane moment síly

$$M = F * R = \frac{P}{(2\pi) * n} \quad (3.45)$$

Z předchozí rovnice plyne, že točivý moment motoru závisí nepřímo na otáčkách motoru a přímo na výkonu dosahovaném při těchto otáčkách. Síla dosahovaná na hnacím kole je rovna[7].

$$F = \frac{P}{(2\pi) * n * r_K} = \frac{P}{V} \quad (3.46)$$

V programu pro zpracování naměřených dat jsou použity rovnice (3.42) pro výpočet výkonu a (3.45) pro výpočet točivého momentu.

3.5 Výpočet rychlosti pomocí akcelerace

Akcelerace je změna rychlosti v závislosti na čase. Ačkoliv je obvykle vyjádřena ve výrazech v násobcích zemské gravitace (g), jsou jednotky zrychlení vlastně m/s^2 , $1 g$ je rovné $9,80665 m/s^2$ (podle zemské šířky). Zrychlení $1 g$ způsobí zrychlení tělesa o $35,3 km/h$ každou sekundu. Pokud budeme uvažovat velikost zrychlení z obrázku 8, můžeme si vypočítat změnu rychlosti (3.5.11). Podle tabulky 2 můžeme odvodit jak velká chyba bude pro jednotlivé vzorkování. V našem případě je akceptovatelná hodnota chyby měření při odebrání vzorku každých 20 milisekund

Tabulka 2 - Vztah mezi zrychlením a změnou rychlosti

Zrychlení [g]	Čas [s]	Změna rychlosti [km/h]
0,3	1	10.5948
0,3	0,1	1,0594
0,3	0,05	0,5297
0,3	0,02	0,2118
0,3	0,01	0,1059
0,3	0.001	0,0105

okamžitá rychlost v se určí sečtením změn jednotlivých rychlostí d_v (2.41).

$$v_i = \sum_i d_v \quad (2.41)$$

3.6 Určení senzorů a jejich rozsahů

Stěžejním parametrem pro výpočet výkonu motoru vozidla dle rovnic (3.42 a 3.45) je správné určení zrychlení. Pro tyto účely je nutné zvolit vhodné senzory. Měření zrychlení je realizováno senzory zrychlení tzv. *akcelerometry*.

Akcelerometry jsou senzory schopné měřit dynamické zrychlení, což je síla vzniklá změnou rychlosti pohybujícího se objektu. Dále jsou schopny měřit statické zrychlení, to je síla vzniklá působením zemské gravitace. V dnešní době jsou mechanické senzory nahrazovány součástkami vyrobenými MEMS technologií, které mají mnohem menší rozměry, nižší energetickou spotřebu a podstatně nižší cenu. Nevýhodou těchto součástek je zatím stále nedostatečná přesnost pro mnohé aplikace, kterou lze však do určité míry eliminovat správnou kalibrací.

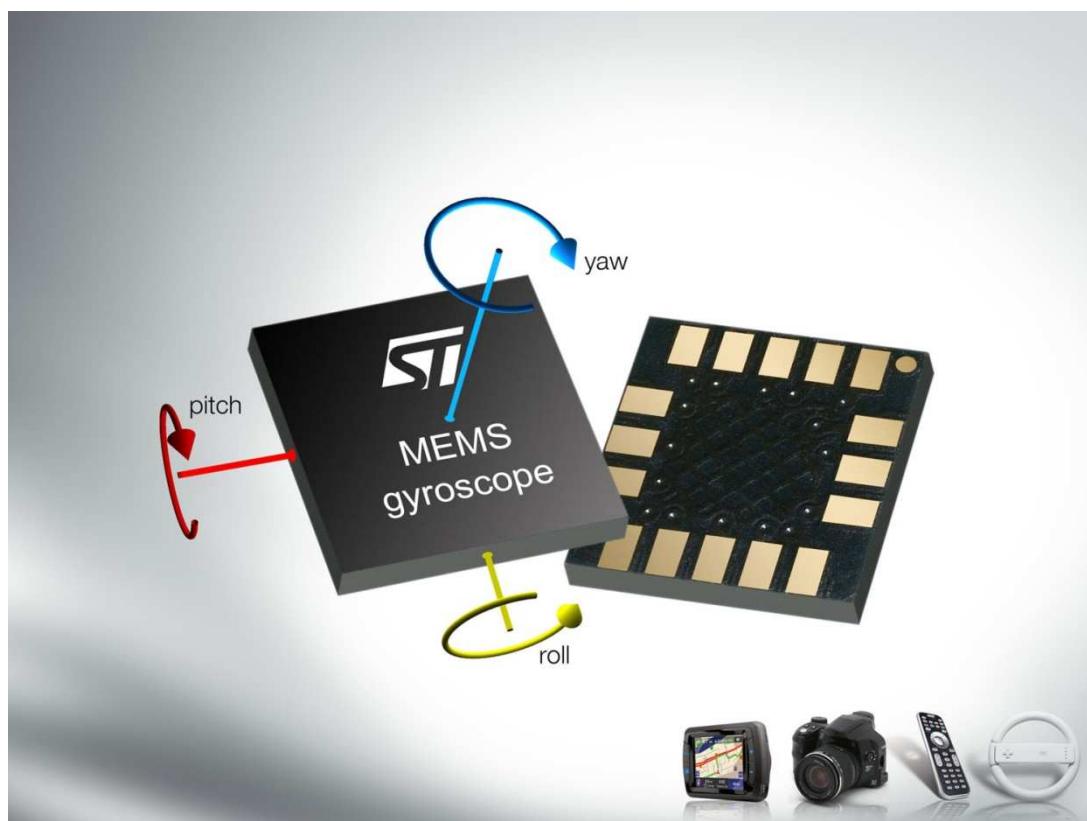
Příklad použití akcelerometrů.

- v automobilovém průmyslu - systémy jízdní stability, airbagy
- detekce pohybu nebo volného pádu
- měření velikostí vibrací
- v navigačních systémech
- v "chytrých telefonech"

Dále je nutné měřit náklon vozidla při akceleraci, kterou budeme realizovat pomocí senzoru natočení tzv. *gyroskopu*.

Gyroskopy jsou již dlouhou dobu známy a využívány pro měření a určování změny polohy nebo natočení libovolného předmětu, ke kterému jsou připevněny. Dříve však bylo možné použít je mechanické provedení, případně optické s využitím světla nebo světlovodných vláken. Dnes je již lze najít v integrované podobě klasických součástek obsahující mimo samotný snímač i celou škálu vyhodnocovacích obvodů a logiky. Výstup je pak analogový, digitální nebo obojí. Díky tomu lze gyroskopy použít i v běžných aplikacích, nejen ve vědě a výzkumu. Například dnes běžné přesné určování pozice a sledování pohybu objektů přes GPS by bez gyroskopů nebylo možné.

Gyroskopy jsou obecně určené pro měření úhlové rychlosti, tzn. údaj o tom, jak se měřený objekt rychle otáčí, v jednotkách stupňů/sekundu ($^{\circ}/s$). Rotaci je možné typicky měřit vzhledem k jedné ze tří os z, y, x (obrázek 7), někdy označované jako svislá (kolmá) osa (yaw axis), příčná osa (pitch axis) a podélná osa (roll axis). Integrované gyroskopy, vyráběné různými výrobci jako integrované MEMS obvody, pracující na principu Coriolisovy síly.[14]



Obrázek 7 - Znáznornění měřících os gyroskopu.[21]

Příklad použití gyroskopů.

- Zjišťování změny polohy, detekce pohybu
- Detekce a měření rotačního pohybu - např. převrácení vozidla
- Zpřesňování pozice systémů GPS
- Navádění a řízení raket, letadel, robotů apod.

Abychom zaručili správnou funkci zařízení je nutno zvolit akcelerometr se správným měřicím rozsahem. Protože se jedná o měření gravitačního zrychlení, je rozlišení akcelerometru udáváno právě v jednotkách g , kde $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Pro použití této práce se následujícími způsoby pokusíme určit jaký rozsah je potřeba pro měření akcelerace vozidla.

3.6.1 Určení rozsahu akcelerometru výpočtem

Velikost zrychlení vozidla nebude po celou dobu akcelerace konstantní z důvodu nutnosti zařazení vyššího převodového stupně. Pro zjednodušení výpočtu si můžeme představit, že se vozidlo bude pohybovat přímočarým rovnoměrně zrychleným pohybem. Definice zrychlení je.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t} \quad (3.6.11)$$

kde v - je rychlost, kterou vozidlo dosáhne

v_0 - je počáteční rychlost vozidla

a - je zrychlení vozidla

t - je doba, za kterou vozidlo dosáhlo rychlosti v

Dosahované zrychlení budeme určovat pro vozidlo Škoda Octavia 1,6 o výkonu $P = 75 \text{ kW}$. Dle technických parametrů vozidlo zrychlí z 0 na 100km/h za dobu $t = 13 \text{ s}$.

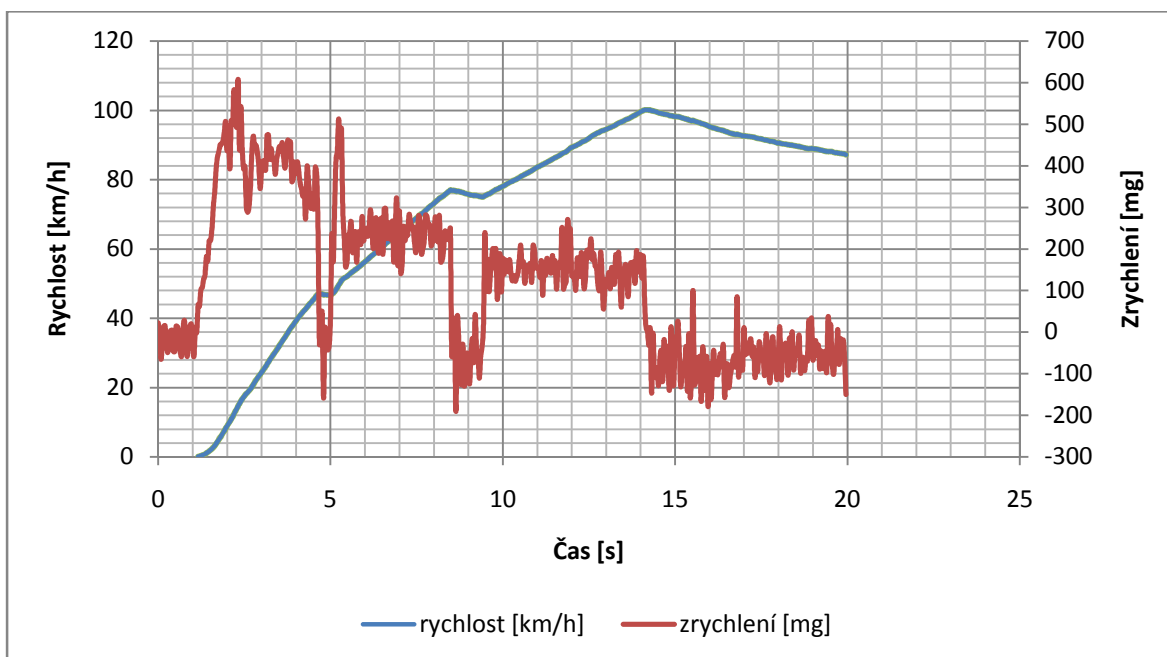
$$a = \frac{100/3,6 - 0}{13} = 2,136 \text{ m/s}^2 \quad (3.6.12)$$

po převodu na jednotky g

$$a = \frac{2,136}{9,81} = 0,217g = 217mg \quad (3.6.13)$$

3.6.2 Určení rozsahu akcelerometru praktickým měřením

Pro toto měření mi byl zapůjčen vývojový kit *STEVAL-MKI062V2*, který kromě zrychlení dokáže měřit úhel natočení, atmosférický tlak a teplotu. Kit je napojen přes rozhraní USB do PC a naměřená data jsou do počítače rovnou ukládána pro pozdější zpracování. Měření probíhalo tím způsobem, že jsem měřil velikost zrychlení výše uvedeného vozu při dosažení 100km/h, abych hodnoty mohl porovnat s teoretickým výpočtem. Výsledky experimentu jsem zpracoval do podoby obrázku 6, kde je vidět v jakém okamžiku jsem řadil jednotlivé převodové stupně.

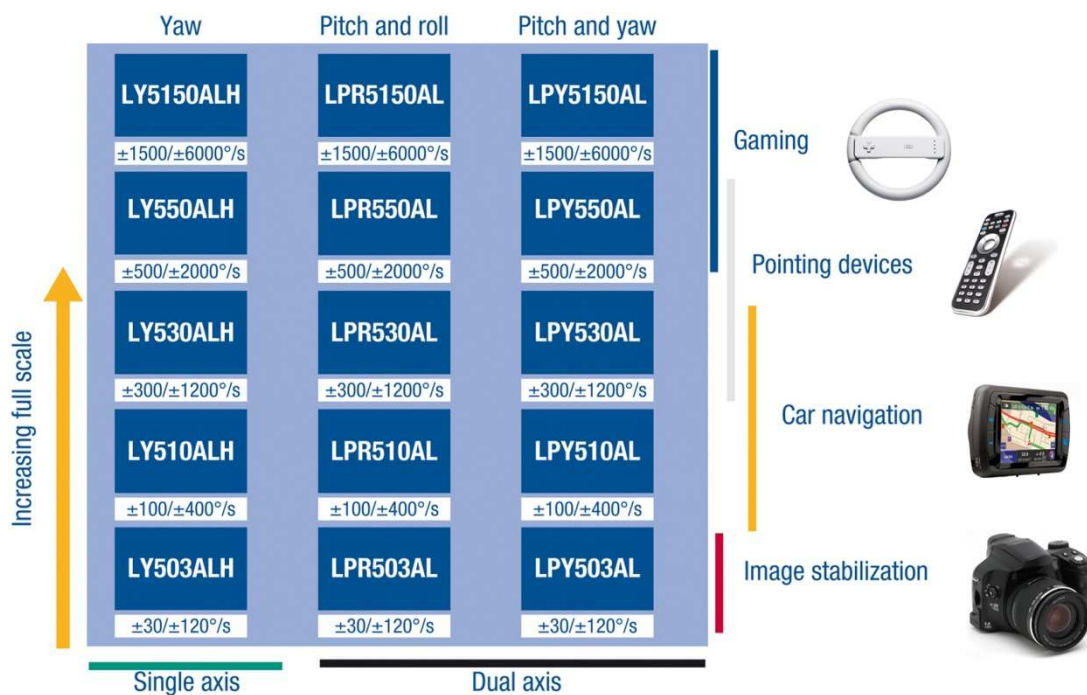


Obrázek 8 - Naměřené hodnoty zrychlení

Nejvyšší hodnoty zrychlení se mění podle převodového poměru zařazeného stupně. Pro měření výkonu je první převodový stupeň nevhodný z důvodu prokluzu kol. Proto bude měření probíhat až na druhý nebo třetí stupeň, dle výkonu vozidla. Hodnota zrychlení při druhém převodovém stupni z obrázku 6 je zhruba 250 mg, což zhruba odpovídá, kdyby vozidlo akcelerovalo konstantně podle (3.6.13). Pokud bychom měřili tak výkonné vozidlo, které by například dokázalo zrychlit z 0 na 100 km/h za 5 s, výsledná hodnota zrychlení po dosažení do rovnice (3.6.13) by byla 560 mg. Cenově dostupné akcelerometry jsou však jen s minimálním rozsahem $\pm 1,5$ g, což s přehledem pokryje námi měřený rozsah akcelerace.

3.6.3 Určení rozsahu gyroskopu

Při určení rozsahu gyroskopu pro účely měření náklonu vozidla se vychází z předpokladu, že rozsah gyroskopu je stejný jako rozsah gyroskopu použitý v auto navigaci. Na obrázku 9 je doporučený rozsah gyroskopů pro různé aplikace.



ST launches 15 new gyroscopes

Obrázek 9 - Doporučený rozsah gyroskopů pro různé aplikace.[21]

4 Návrh systému

Návrh systému vychází z požadavku (kapitola 2.1) navrhnout a zhotovit samostatné měřicí zařízení, které je schopné určit výkon a točivý moment motoru vozidla ze zadaných parametrů vozidla a dále z průběžně vyhodnocovaných parametrů pohybu vozidla graficky vykreslit křivku průběhu výkonu motoru (se zanedbáním ztrát) v závislosti na otáčkách motoru. Pro tyto účely je navrženo samostatné zařízení s CPU, vhodnými akcelerometry a dalšími perifériemi, nutnými pro průběžné ukládání dat a komunikaci s vyhodnocovacím PC. Další částí systému je jednoduchý SW na PC pro vizualizaci průběhu výkonu a export naměřených dat.

Měřicí zařízení by mělo splňovat požadavky jako je kompaktnost, přenositelnost, nezávislost na jeho napájení, dále by mělo být schopno měřit v jakékoliv poloze. Také nesmí chybět možnost připojit k zařízení další měřicí hardware jako například měřicí páté kolo. Hlavní funkce měřicího systému by tedy měla být schopnost měření provozních parametrů jako je celkové zrychlení a náklon vozidla, dále uchování více měření bez nutnosti připojovat zařízení k PC.

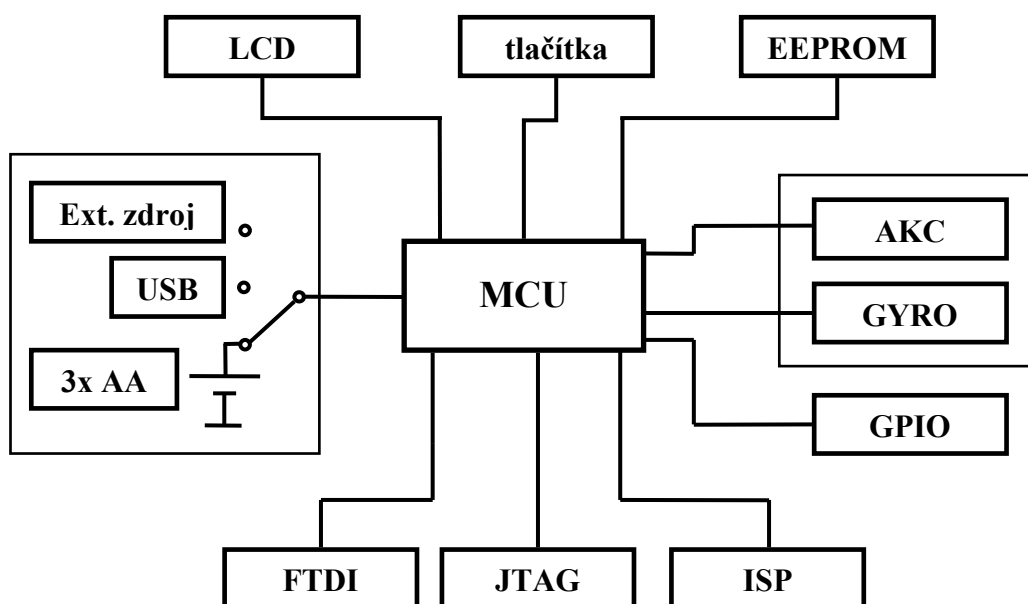
Software pro zpracování naměřených dat by kromě grafického znázornění křivky výkonu a točivého momentu v závislosti na otáčkách motoru měl obsahovat funkci pro porovnání dvou měření pro analyzační potřeby. Další očekávanou funkcí je možnost zpracovat naměřená data do podoby tzv. *logu*. Z těchto výchozích požadavků bylo navrženo zařízení, které popisuje blokové schéma v další kapitole.

4.1 Popis blokového schéma zařízení

Na obrázku 10 můžeme vidět měřicí systém, který je ovládán mikrokontrolérem. Při jeho výběru byl zohledněn jak výpočetní výkon, tak cena. Kompromisem se stala volba procesoru z rodiny ATmega. Jeho výpočetní výkon by však nestačil na měření a zpracování dat. Z tohoto důvodu se naměřená data ukládají do paměti a zpracování naměřených dat se provádí v režimu off-line. To znamená, že naměřená data jsou vyčtena do PC a tam jsou následně zpracována. Cíl práce nebyl navrhnout vlastní komunikační protokol mezi PC a měřicím zařízením. Proto jsem vybral obvod FTDI, který představuje hotové řešení pro komunikaci PC s periferií pomocí USB. Důležitým prvkem měřicího systému jsou vlastní senzory zrychlení a úhlového natočení. Naměřená data jsou ukládána do paměti EEPROM. K programování mikrokontroléru je možné dvěma způsoby a to pomocí rozhraní ISP nebo JTAG.

Pro komunikaci mezi zařízením a uživatelem bylo vytvořeno rozhraní, které obsahuje čtyři ovládací tlačítka a informační alfanumerický LED displej. Další požadovanou vlastností je možnost připojení jiného měřicího zařízení (např. měřící páte kolo).

Pro co největší univerzálnost a mobilitu je možné využít hned tři možných druhů napájení měřicího systému a to z externího zdroje, z USB konektoru nebo baterií. Výběr se provádí přepínačem.



Obrázek 10 - Blokové schéma měřicího systému

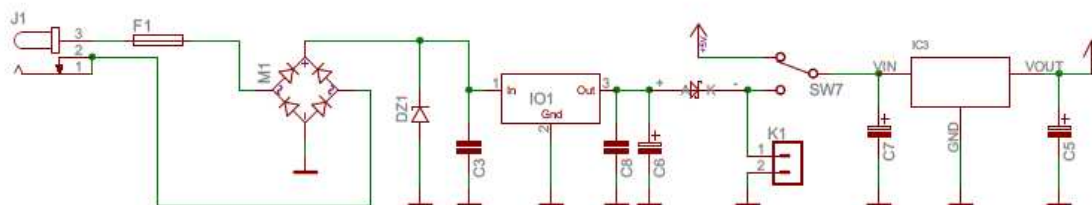
4.2 Detailní popis jednotlivých částí.

4.2.1 Napájení

Abychom vyhověli požadavkům návrhu měřicího systému byla zvolena kombinace napájení z externího zdroje, USB a baterií. Napájecí napětí se volí pomocí přepínače.

Na obrázku 11 je elektrické schéma napájení zařízení. Je realizováno dvěma stupni stabilizátorů. První je známý stabilizátor 7805. Druhý stabilizátor je typu LDO [9], z důvodu co nejvyšší výdrže při bateriovém napájení. Výstupní napětí stabilizátoru LDO bylo voleno podle požadovaného napětí ostatních součástek měřicího systému, které je $U = 3\text{ V}$.

Obvod je vybaven ochranou proti přepětí v podobě Zenerovy diody[8]. Dalšími ochrannými prvky je tavná pojistka a Graetzův můstek. Při použití externího zdroje je rozsah napájecího napětí $U = 7 - 20 \text{ V}$.



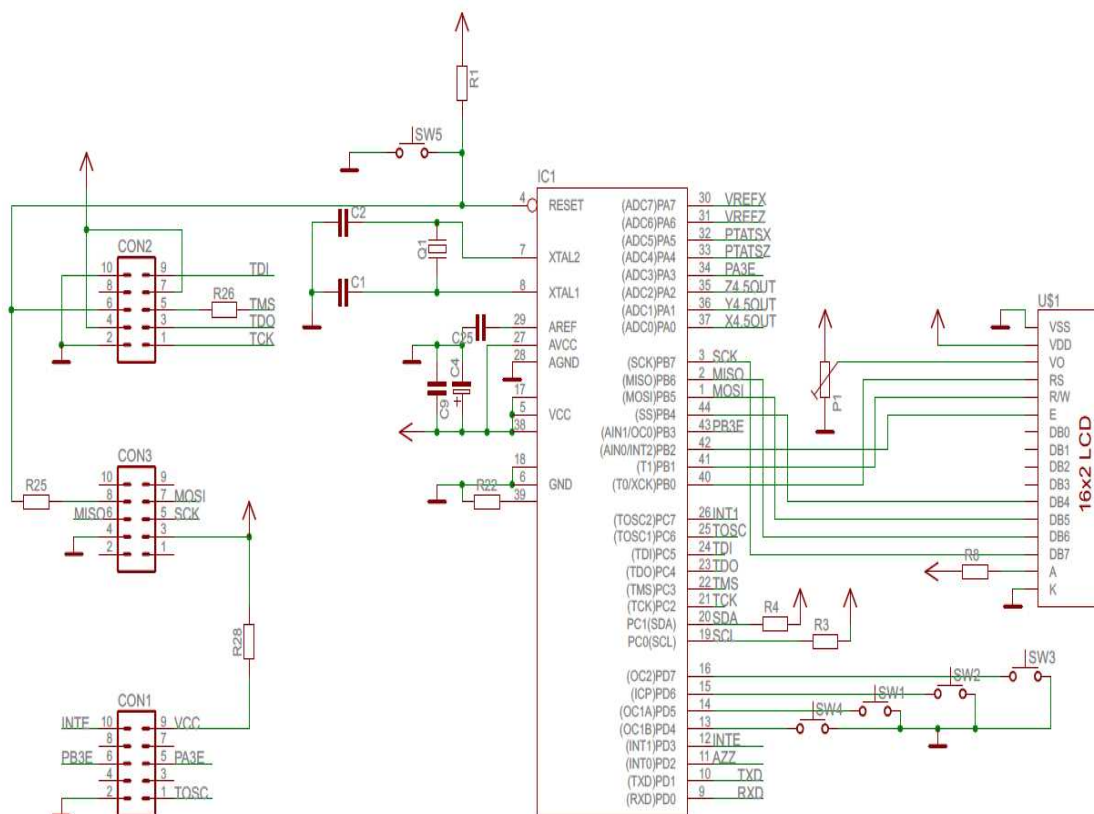
Obrázek 11 - Elektrické schéma napájecího obvodu

4.2.2 Řídící mikrokontrolér ATmega32L

Řízení měřícího zařízení má na starost mikrokontrolér ATmega32L. Z důvodu zachování malých rozměrů je použito pouzdro TQFP. Napájecí napětí jak bylo výše uvedeno je $U = 3 \text{ V}$, to znamená, že maximální kmitočet může být 8 MHz. Zdroj hodinového signálu zajišťuje krystalový oscilátor s kmitočtem 7,3728 MHz, který byl zvolen tak, aby hodnota časovače mohla být nastavena na 20 ms (viz. kapitola 3.5) kdy jsou v přesném intervalu odebrány vzorky z měřících zařízení.

Na obrázku 12 je schéma zapojení, které vychází z doporučení výrobce. Konektory CON2 a CON3 slouží k programování mikrokontroléru, kde CON3 je rozhraní ISP a CON2 je JTAG. Protože konektor na připojení JTAG adaptéru není standardizovaný, byl použit *pinout* podle zapůjčeného programátoru UniProg-USB od výrobce PK Design s nainstalovanou poslední verzí firmwaru.

Pro účely komunikace mezi uživatelem a zařízením byl do obvodu přidán informační LED displej, který je připojen na port B mikrokontroléru. Dále čtyři ovládací tlačítka, která jsou zapojena čtyř vodičovou sběrnicí na portu D. Na konektor CON1 jsou vyvedeny volné piny mikrokontroléru, které slouží pro připojení dalšího měřícího zařízení. Analogově digitální převodník portu A slouží pro potřeby analogového gyroskopu. Resetovací tlačítko je realizováno na náběžnou hranu.

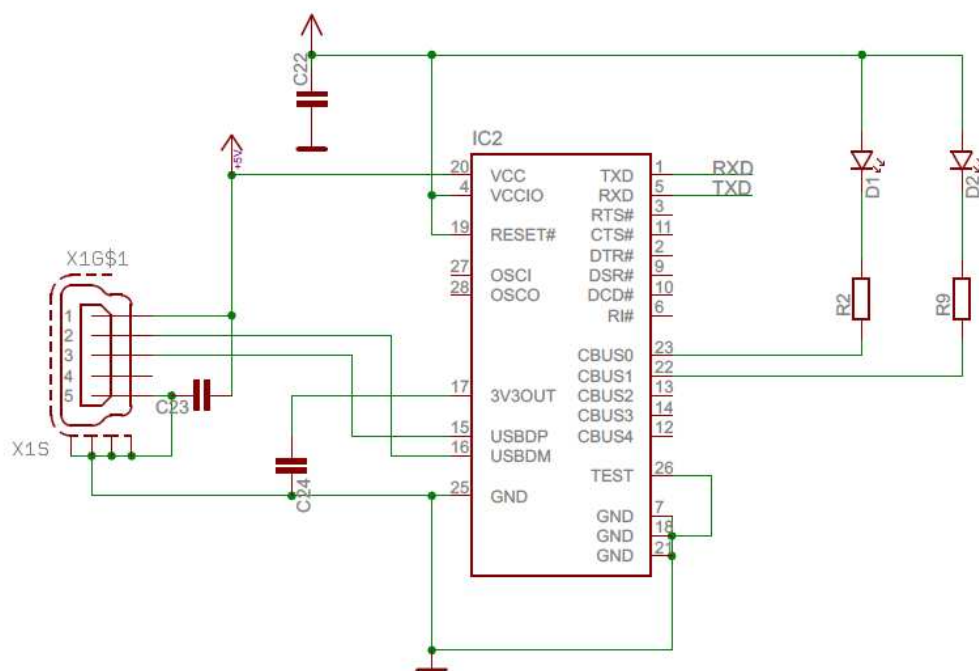


Obrázek 12 - Schéma zapojení obvodu ATmega32 a dalších periférií

4.2.3 USB převodník FTDI

Tento integrovaný obvod představuje hotové řešení pro přenos dat mezi PC a měřicím zařízením pomocí sběrnice USB. Na obrázku 13 je opět zapojení podle doporučení výrobce [12], jen byly přidány dvě informační LED diody (D1 a D2), které indikují připojení k PC nebo probíhající přenos dat. Dále je nutné nainstalovat do PC ovladače. Poté se zařízení jeví jako další sériový (virtuální) port v počítači. Pouzdro integrovaného obvodu je typu SSOP.

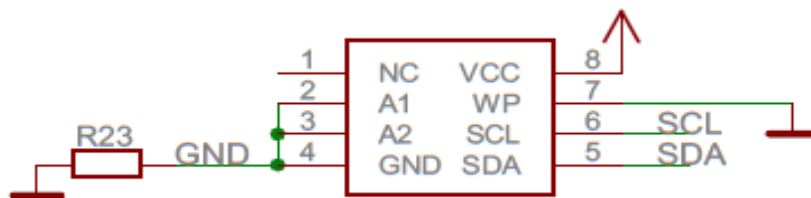
Pro správnou funkci tohoto obvodu je důležité zachovat co nejmenší vzdálenost mezi tímto obvodem a konektorem USB. Konektor USB byl volen v provedení tzv. mini USB.



Obrázek 13 - Schéma zapojení obvodu FTDI

4.2.4 Paměť EEPROM

Požadavkem pro návrh systému bylo naměřená data ukládat pro pozdější zpracování. Z tohoto důvodu je do zařízení přidána paměť typu EEPROM, aby po vypnutí zařízení nedošlo ke ztrátě dat. Paměť je zapojena podle referenčního zapojení [11], které je možné vidět na obrázku 14. Komunikace s mikrokontrolérem probíhá po sběrnici I²C, přičemž paměť je v režimu *slave*.



Obrázek 14- Schéma zapojení paměti AT24C1024B.

Paměť bude ukládat data z tříosého akcelerometru a z tříosého gyroskopu, každých 20 milisekund (viz. kapitola 3.5).

$$(3 \times \text{akcelerometr} + 3 \times \text{gyroskop}) * 10 \text{ b rozlišení} \quad (4.2.41)$$

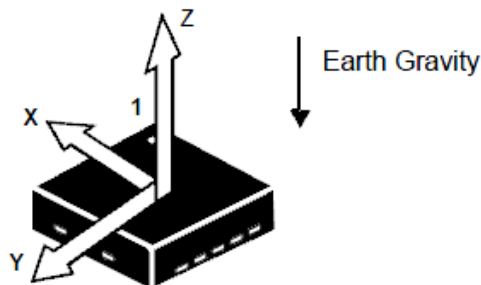
$$6 \text{ registrů} * 10 \text{ b rozlišení} = 60 \text{ b / vzorek} = 7.5 \text{ B / vzorek} \quad (4.2.42)$$

$$\frac{1024 * 1024}{8} / (7,5 * 50 \text{ vzorků}) = 349.52 \text{ s} = 5.8 \text{ min} \quad (4.2.43)$$

Do paměti o velikosti 1024 kB se výše uvedená data budou ukládat po dobu dle vztahu (4.2.43). V této době však není započítána hlavička paměti, proto se bude skutečná hodnota nepatrně lišit.

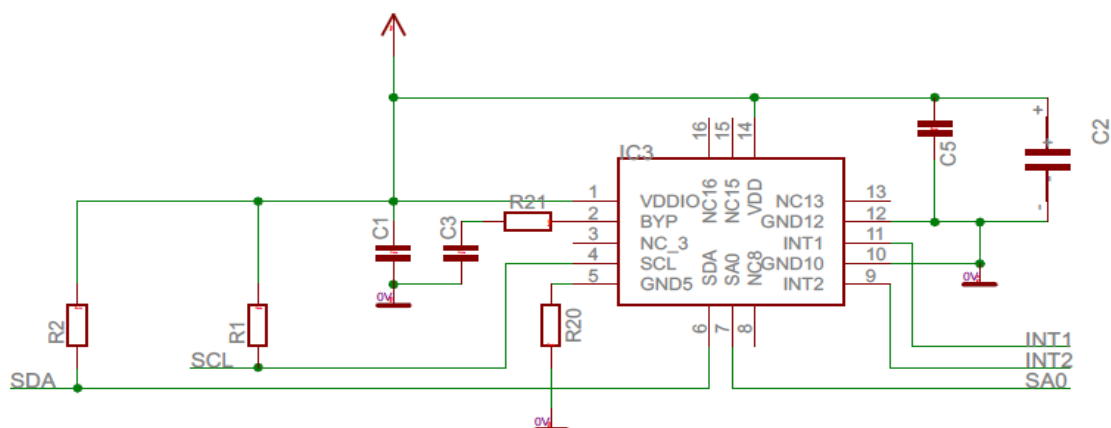
4.2.5 Akcelerometr

Rozsah akcelerometru byl volen podle kapitoly 3.5. Při výběru akcelerometru nebyl požadovaný rozsah $\pm 1,5 \text{ g}$ z technických důvodů k dispozici, proto byl vybrán akcelerometr *MMA8453Q* od společnosti Freescale Semiconductor s rozsahem $\pm 2 \text{ g}$. Jedná se o tříosý (obrázek 15) digitální akcelerometr s nastavitelným rozsahem 2/4/8 g s rozlišením 10 bit. Napájen může být napětím $U = 1,95 - 3,6 \text{ V}$. Komunikace s mikrokontrolérem probíhá po I²C sběrnici, kde akcelerometr je v režimu *slave*.



Obrázek 15 - Příklad tříosého akcelerometru. [10]

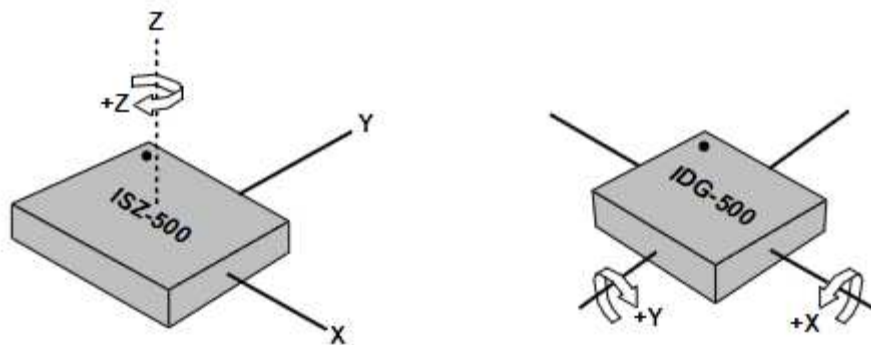
Senzor zrychlení měří celkovou akceleraci vozidla. Na obrázku 16 je znázorněno zapojení senzoru, které vychází z referenčního zapojení dle výrobce [10]. Klíčovou funkcí v obvodu plní odpory R1 a R2. Jsou to tzv. PULL UP odpory, bez nichž by komunikace po sběrnici I²C mezi akcelerometrem a mikrokontrolérem vykazovala značné chyby nebo v horším případě vůbec nefungovala.



Obrázek 16 - Schéma zapojení akcelerometru.

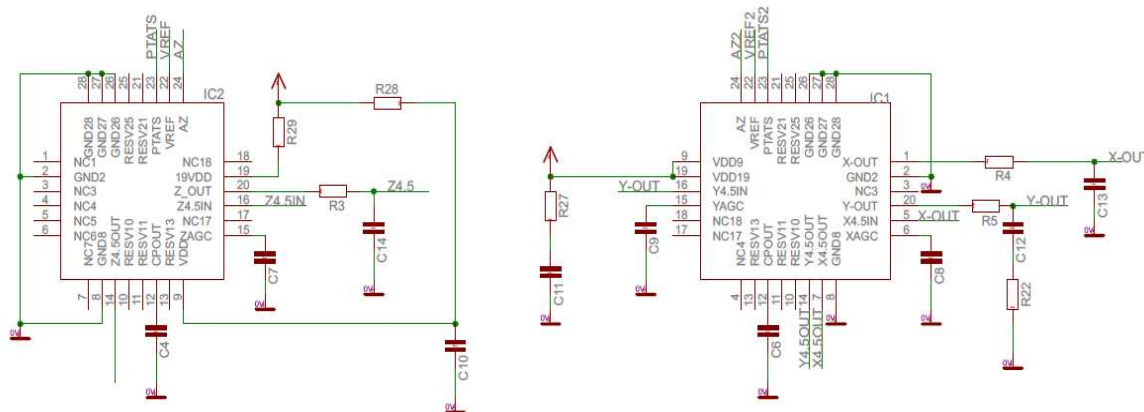
4.2.6 Gyroskop

Gyroskop byl volen tak, aby splňoval podmínky v kapitole 3.5. Z technických důvodů byl nabízený sortiment značně ochuzen o mnoho modelů. Z toho důvodu byly vybrány dva gyroskopické senzory. První je model *IDG-500* od výrobce *InvenSense*. Tento gyroskopický senzor dokáže měřit dvě osy tzv. *roll* a *pitch* (viz obrázek 17). Druhý senzor *ISZ-500* má stejné parametry, jen s tím rozdílem, že měří svislou osu tzv. *yaw*.

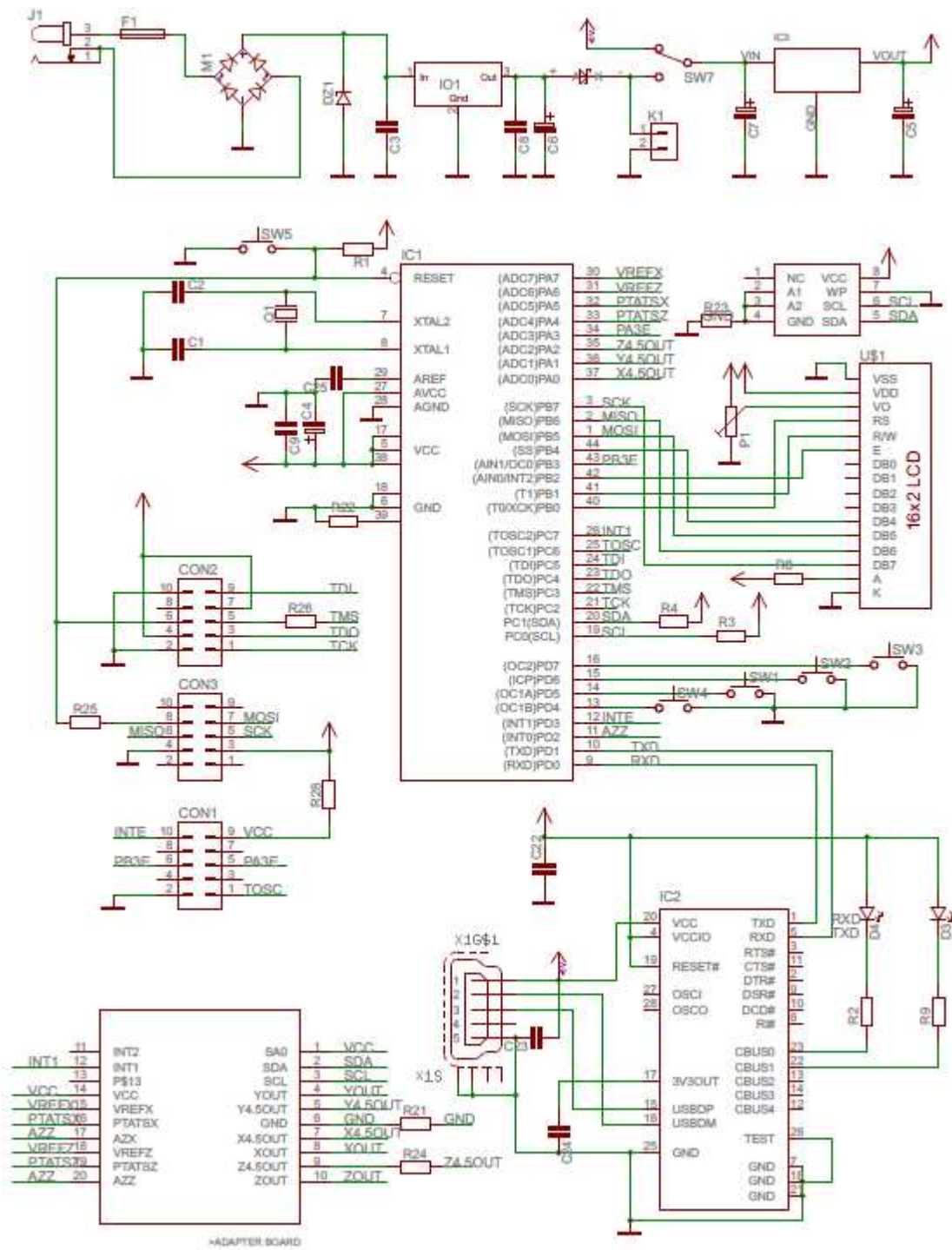


Obrázek 17 - Rozmístění os na gyroskopických senzorech. [17][18]

Výstup naměřených hodnot je v analogové podobě. Sensory mají dva rozsahy ± 500 %/s a ± 110 %/s. Podle kapitoly 3.5 byl vybrán rozsah ± 110 %/s. Na obrázku 18 je schéma zapojení podle referenčního zapojení podle výrobce [17][18]. Ze schématu je zřejmé, že výstupní analogový signál prochází filtrem typu dolní propust.



Obrázek 18 - Schéma zapojení gyroskopů.

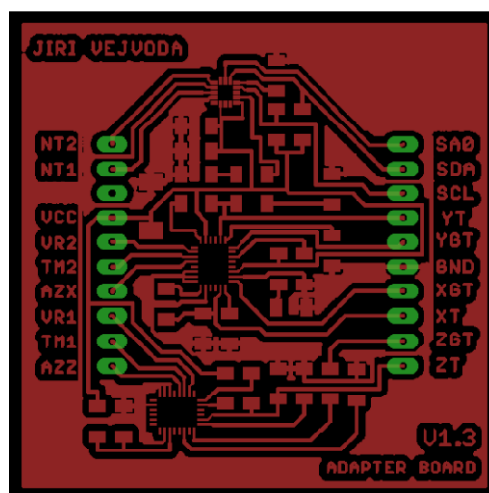


Obrázek 19 - Celkové schéma logiky zařízení

4.3 Návrh DPS

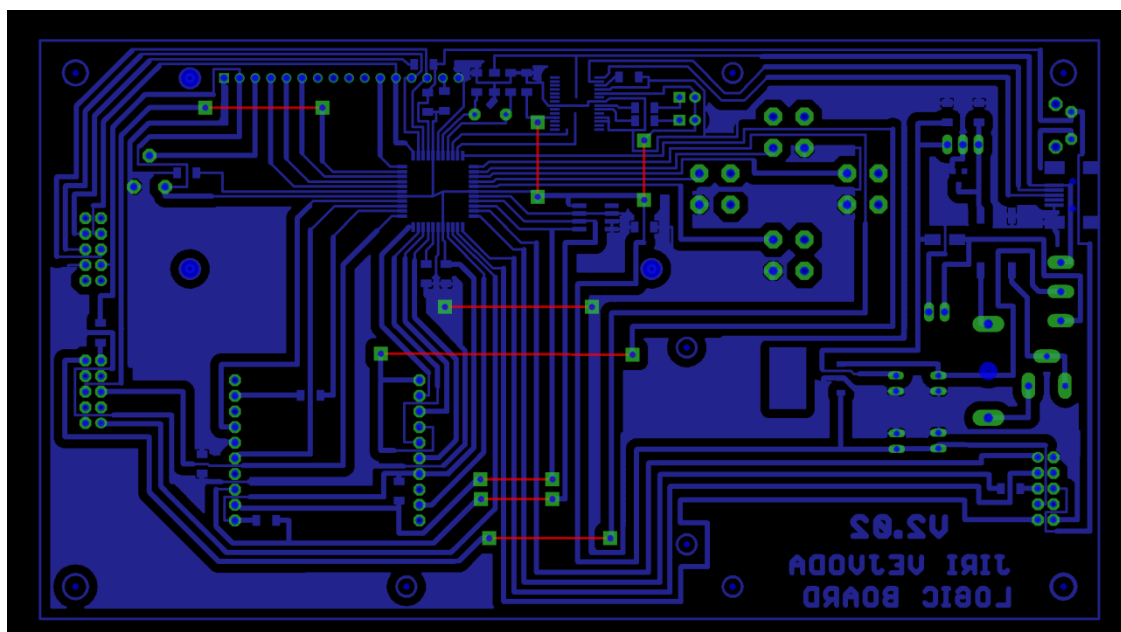
Při návrhu desky plošných spojů byl kladen důraz na zachování co nejmenších rozměrů a minimum prokovek, aby byla DPS co nejjednodušší na výrobu.

Pro měřicí zařízení byly navrženy dvě jednostranné desky DPS. Na první byly osazeny senzory (obrázek 20).



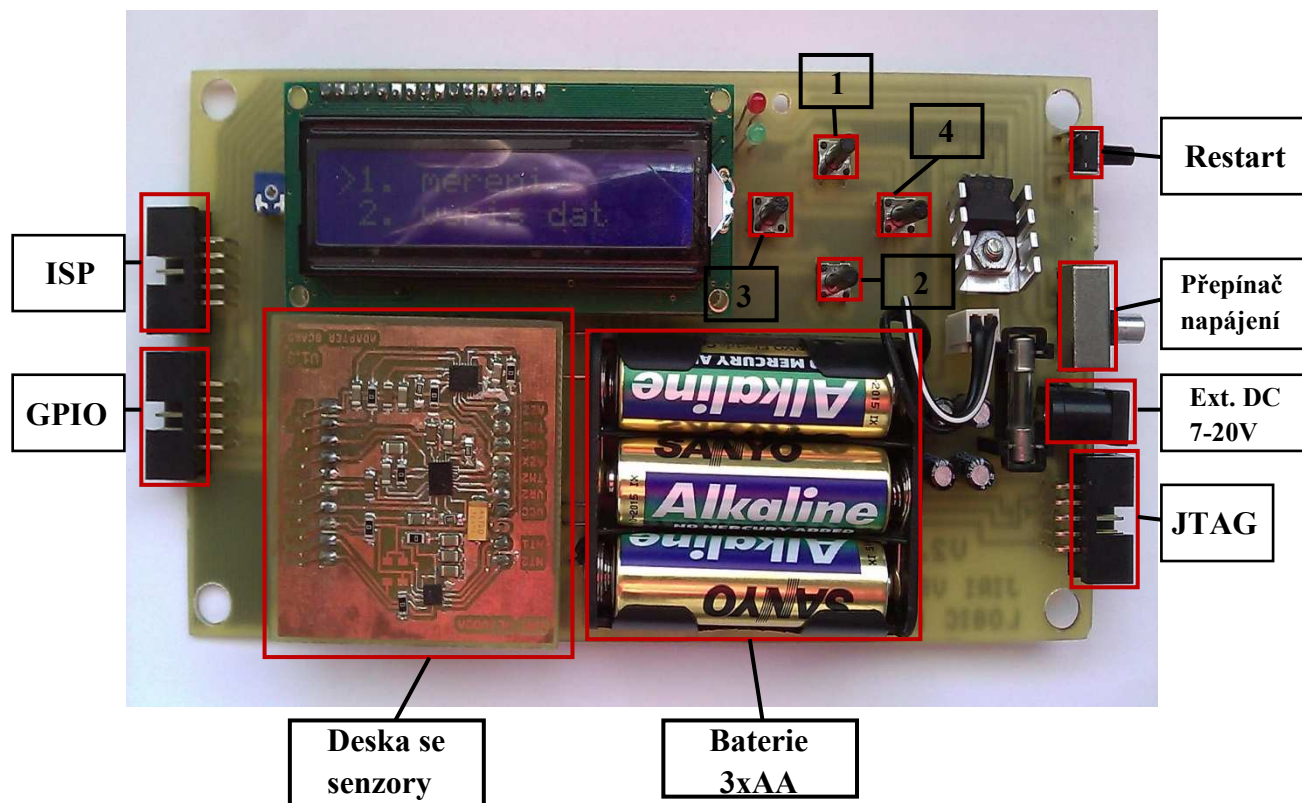
Obrázek 20 - DPS senzorů měřicího zařízení.

Na druhé DPS je logika (obrázek 21). Senzory jsou na vlastní desce z toho důvodu, že vybraný akcelerometr byl dostupný pouze v provedení v pouzdře QFN. Tento chip o velikosti 3 x 3 mm s 16 vývody je na hranici osazení v domácích podmínkách. Z tohoto důvodu byl zhotoven samostatný modul akcelerometru, který se posléze připojí na vlastní měřicí zařízení. Pro návrh DPS byl použit program EAGLE, který slouží pro návrh plošných spojů. Z důvodu snahy zachovat co nejmenší rozměry plošných spojů je většina pasivních součástek volena v rozměrech SMD. Pouzdra rezistorů a keramických kondenzátorů jsou ve velikosti 1206, ale i přesto je velikost hlavní desky poněkud větších rozměrů (170 x 95 mm) z důvodu domácí výroby.



Obrázek 21 - DPS logiky.

Fotografie osazených desek a zkompletovaného zařízení s popisem je na obrázku 22.



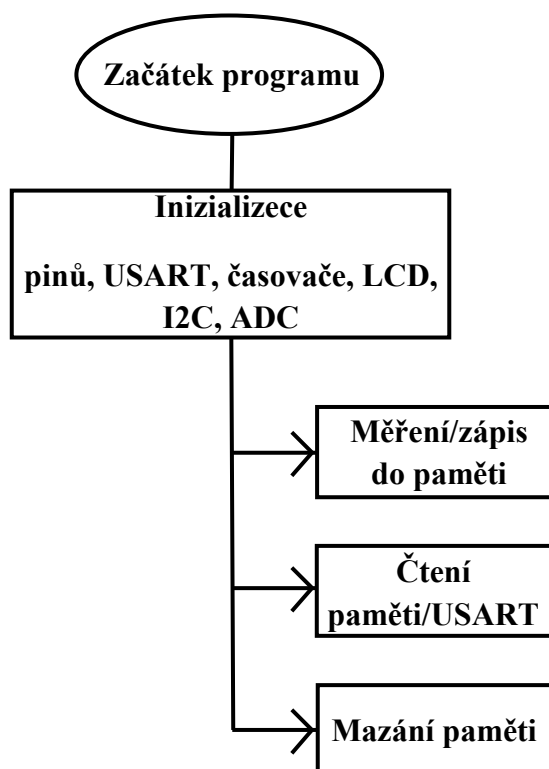
Obrázek 22 - Popis desky měřícího zařízení.

5 Popis FW řešení měřicího zařízení

System byl vytvořen tak, že vznikl oddělený software pro PC a firmware pro měřicí zařízení. Programování mikrokontroléru ATmega probíhalo pomocí jazyka C v programu CodeVisionAVR. Návrh firmwaru probíhal tak, že jsem vytvořil testovací programy k jednotlivým periferiím, abych ověřil jejich správnou funkci. Tyto programy jsem upravil do podoby jednotlivých funkčních stavů, jako například měření nebo mazání paměti (obrázek 23). Kompletní zdrojový kód je na přiloženém CD.

5.1 Popis funkce programu

Funkce programu vychází z požadavků v kapitole 2.1. Po startu programu se provede potřebná inicializace periferií, poté program pokračuje do nekonečné smyčky, kde jsou prováděny jednotlivé funkce jako je měření, zápis a čtení z/do paměti, výpis dat pomocí USART a mazání paměti. Zjednodušený diagram běhu programu je na obrázku 23.



Obrázek 23 - Zjednodušený diagram běhu programu měřicího zařízení

5.2 Popis jednotlivých funkčních celků

5.2.1 Měření

Režim měření se provádí tak, že chod programu zapne časovač. V každém cyklu časovače se provede vyčtení hodnot z akcelerometru a gyroskopu. Tyto hodnoty se následně uloží do paměti EEPROM. Tento cyklus probíhá do té doby, než se vypne běh časovače.

5.2.2 Výpis dat z paměti pomocí USART

Po zavolání programu výpis dat se z hlavičky paměti vyčte adresa posledního uloženého měření a do této adresy bude prováděno čtení paměti. Vyčítaná data jsou ihned posílána pomocí obvodu FTDI do PC.

5.2.3 Mazání paměti.

V režimu mazání paměti se provede přepsání hlavičky programu (viz kapitola 5.4). To má za následek, že je vymazán počet měření, z kterého plyne výpočet adresy konce posledního měření.

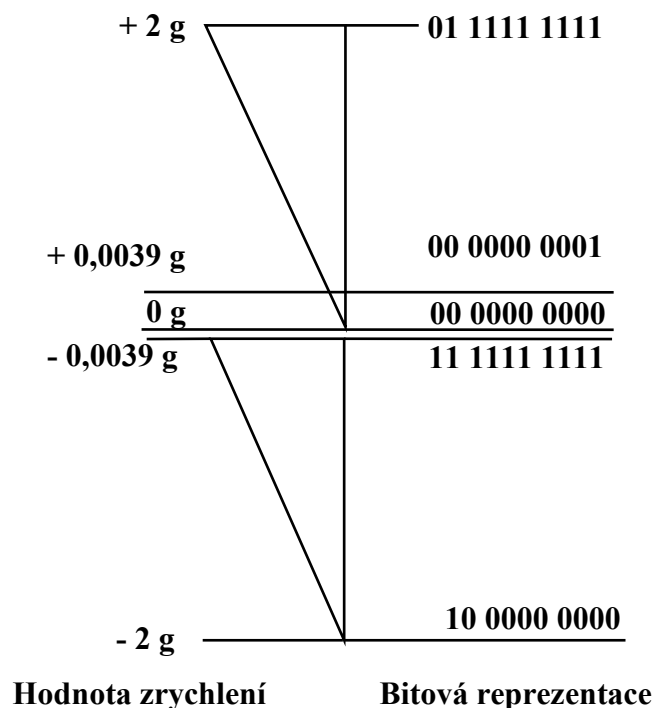
5.3 Způsob inicializace a vyčítání periférií

5.3.1 Akcelerometr

Komunikace mikrokontroléru s akcelerometrem probíhá po I²C sběrnici, akcelerometr je v režimu *slave*. Inicializace akcelerometru probíhá tak, že mikrokontrolér naváže komunikaci s akcelerometrem, poté je akcelerometr přiveden do režimu *ACTIVE* a nastaví se jeho rozsah.

V aktivním režimu se naměřená data připraví pro vyčtení. Pro další vyčtení naměřených hodnot se musí akcelerometr převést do režimu *STANDBY* a následně opět do aktivního režimu, kde se opět připraví naměřená data. Pro správnou funkci akcelerometru je nutné zachovat tento postup, jinak se hodnota vyčtených dat bude stále rovnat stavu po inicializaci a přivedení do aktivního režimu.

Jak již bylo řečeno v kapitole 4.2.5, akcelerometr je digitální s 10 bitovým rozlišením. To znamená, že naměřené hodnoty zrychlení reprezentuje 10 bitová hodnota. Na obrázku 24 je zobrazen vztah mezi výstupem akcelerometru a hodnotou zrychlení.



Obrázek 24 Zobrazení vztahu mezi výstupem akcelerometru a hodnotou zrychlení

5.3.2 Gyroskop

Výstup gyroskopu je analogový, proto je tento výstup přiveden do analogově - digitálního převodníku mikrokontroléru. Inicializace A/D převodníku proběhla již v inicializaci samotného programu (viz obrázek 23).

AD převodník mikrokontroléru byl zvolen s 10 bitovou přesností. Jako napěťová reference bylo zvoleno napájecí napětí $U = 3 \text{ V}$. Velikost úhlového zrychlení reprezentuje velikost výstupního napětí gyroskopu, které je pro $\pm 110\%$ $U = 0,35 - 2,35 \text{ V}$. Převod je prováděn podle vztahu 5.3.21.

$$ADC = \frac{V_{in} * 1024}{V_{ref}} \quad (5.3.21)$$

kde ADC - je hodnota převodu

V_{in} - je velikost vstupního napětí

V_{ref} - je hodnota referenčního napětí

5.3.3 Paměť

Čtení a zápis z/do paměti probíhá pomocí I²C sběrnice. Proto se při zápisu do paměti nejdříve zadá adresa zařízení (paměti), poté adresa kam do jakého paměťového místa se budou data zapisovat a nakonec samotné data .

Čtení z paměti probíhá podobně jako zápis. Nejdříve je na I²C sběrnici poslána adresa zařízení, poté adresa z jakého místa v paměti se bude číst a nakonec jsou vyčtená data poslána po sběrnici I²C do mikrokontroléru.

Samotnou organizací paměti se bude zabývat následující kapitola.

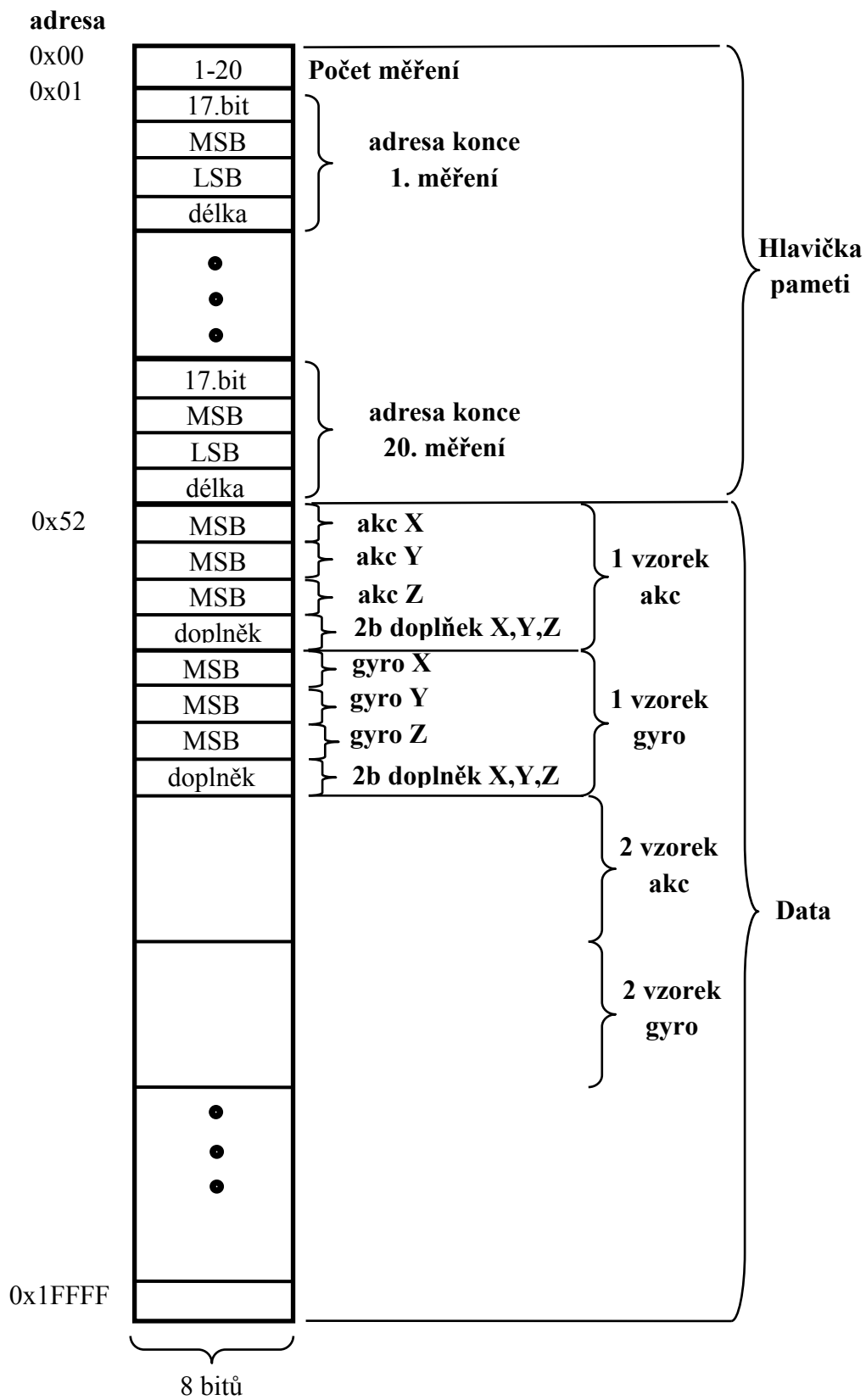
5.4 Organizace paměti

Vnitřní struktura paměti EEPROM je organizována do 512 stránek, přičemž každá stránka obsahuje 256 B. Z toho vyplývá, že paměť má 512 * 256 paměťových buněk o velikosti 8 bitů. Z tohoto důvodu je velikost adresy 17 bitů.

Paměť obsahuje 2 bloky. Na adresách 0x00 až 0x51 je hlavička paměti. Od adresy 0x52 až do 0x1FFFF se ukládají naměřená data. (viz obrázek 25).

Do prvního paměťového místa paměti v hlavičce se ukládá kolik bylo provedeno měření. Dále se do dalších tří míst ukládá po každém skončení měření adresa posledního místa (tato adresa je rozdělena do tří částí), kam byla data uložena a z rozdílu adresy začátku a adresy konce jednotlivých měření se vypočte délka měření, která je uložena v následující buňce. Tento postup se opakuje až do počtu dvaceti měření, kdy je SW ošetřeno další ukládání do paměti. Ošetřeno je také pokud by měření trvalo déle než 6 minut (viz kapitola 4.2.4).

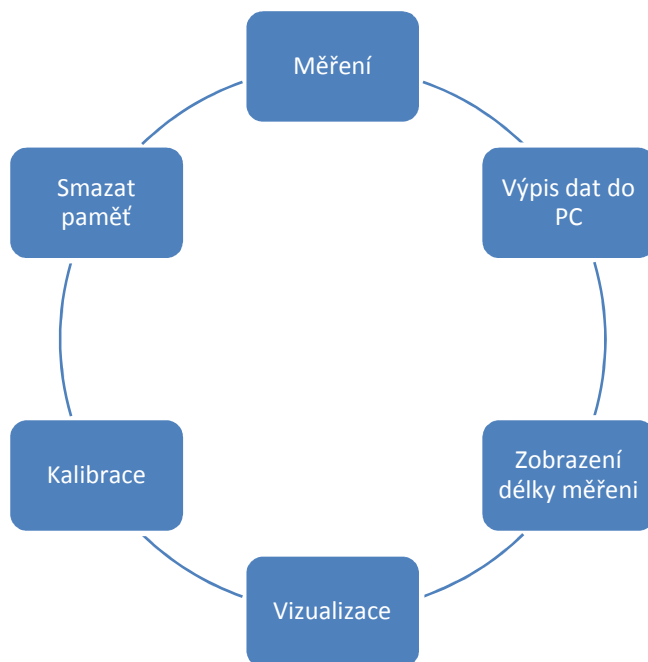
Naměřená data jsou ukládány do paměti od adresy paměti 0x52 do adresy 1x1FFFF a protože naměřená data jak z akcelerometru, tak z gyroskopu mají délku 10 bitů, jsou ukládána tím způsobem, že data jsou rozdělena do dvou částí. Z důvodu co největší úspory místa jsou zbylé dva bity jednotlivých dat spojeny a uloženy do jedné paměťové buňky (viz obrázek 25).



Obrázek 25 - Popis organizace paměti

5.5 Popis Uživatelského rozhraní

Za účelem komunikace mezi uživatelem a měřicím zařízením bylo vytvořeno uživatelské rozhraní, které je ovládáno tlačítky 1 a 2 (obrázek 10). Pomocí těchto tlačítek lze procházet nabídkou funkcí. Jednotlivé funkce potvrzujeme tlačítkem 3 a ukončujeme tlačítkem 4. Dále si popíšeme některé režimy měřicího zařízení.



Obrázek 26 - Nabídka uživatelské rozhraní měřicího zařízení.

5.5.1 Měření

Po potvrzení funkce měření začne LED displej odpočítávat zbývající dobu do měření, aby bylo možné zařadit rychlostní stupeň ve vozidle. Maximální počet měření může být až 20. V praxi však dosáhneme při průměrné době měřicího cyklu $t = 30$ s a celkové doby zápisu do paměti 6 minut (4.2.43) zhruba 12 měření za předpokladu, že jedno měření bude trvat průměrně 30s. Po ukončení měření se na 3 vteřiny na displeji objeví délka měření.

5.5.2 Zobrazení délky měření

Funkce zobrazení délky měření slouží k lepší orientaci při větším počtu měření. Po potvrzení se na displeji postupně zobrazuje číslo měření a jeho délka (viz obrázek 27).



Obrázek 27 - Příklad funkce zobrazení délky měření.

5.5.3 Vizualizace

Tato funkce zobrazuje hodnotu zrychlení v jednotkách mg . Na obrázku 28 je příklad této funkce. Přístroj byl položen na stole, tudíž hodnoty zrychlení na osách x a y se blíží nule a hodnota na ose z je velikost gravitačního zrychlení.



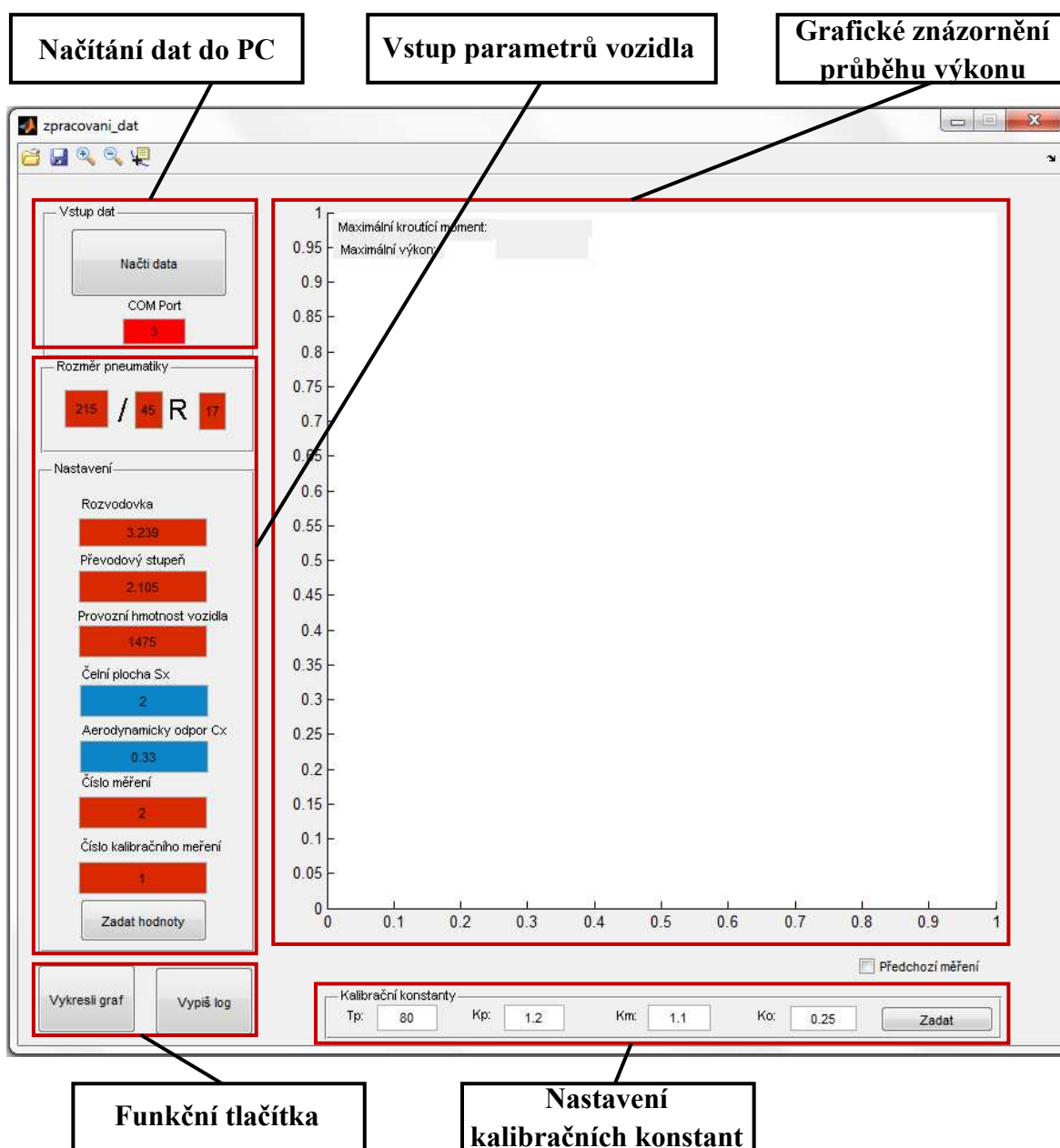
Obrázek 28 - Příklad funkce vizualizace

5.5.4 Kalibrace

Zařízení obsahuje funkci kalibrace z toho důvodu, že požadavkem byla nezávislá poloha měřícího zařízení během měření. Proto se v analyzačním programu hodnoty z kalibrace odečítají od naměřených hodnot vozidla, což řeší výše zmíněný požadavek.

6 Popis softwarového řešení pro PC

Tento koncový bod systému pro určení výkonu motorového vozidla představuje softwarové řešení pro zpracování dat na PC. K návrhu tohoto softwaru bylo použito vývojové prostředí GUI programu MATLAB, z důvodu snadnější manipulace velkého množství dat. Program vychází z analýzy problematiky v kapitole 2. Na obrázku 29 jsou popsány jednotlivé bloky programu. Dále si vysvětlíme funkci programu.



Obrázek 29 - Popis jednotlivých bloků analyzačního softwaru

6.1 Načítání dat do PC

Než začneme načítat naměřená data, je potřeba nastavit číslo virtuálního sériového portu, na kterém je měřící zařízení připojeno. Po stisknutí tlačítka "Načti data" čeká program na příjem dat z měřícího zařízení. O průběhu přenosu dat do PC informuje tzv. progress bar. Po dokončení přenosu, jsou data uložena v adresáři, odkud je spuštěno prostředí GUI. Načtená data jsou uložena v souboru s příponou *txt*.

6.2 Vykreslení křivky průběhu výkonu

Nyní jsou naměřená data již v PC, tudíž je možné data zpracovat. Nejdříve nastavíme cestu, kde se nacházejí vyčtená data. Poté nastavíme parametry vozidla. Modře označená políčka představují koeficienty S_x a c_x , které podle kapitoly 3.3.1 nemusíme vyplňovat. Ostatní červená políčka vyplněny být musí. Hodnoty posledních zadaných parametrů jsou v programu ukládány, aby se po vypnutí nemusely znovu zadávat. Protože při vyčtení dat do PC se vypisují všechna naměřená data, je potřeba ještě nastavit také s jakým měřením bude počítáno a kalibrace. Pokud jsou všechny výše uvedené parametry nastavené je možné stisknout tlačítko "Vykresli Graf". Poté se znázorní vypočítaný průběh výkonu a točivého momentu v závislosti na otáčkách motoru vozidla. Hodnoty výkonu a točivého momentu se počítají podle (3.44) a (3.45). Vedoucí bakalářské práce si nepřál zahrnovat měřený náklon vozidla do výsledného výpočtu, protože by to rozsahem překročilo rámeček zadané bakalářské práce, ale tzv. *logování* naměřených dat bylo přesto implementováno do softwaru pro PC.

Jedním z požadavků bylo, aby se naměřené hodnoty jak již bylo výše řečeno tzv. logovaly do souboru. Proto se při každém vykreslení grafu nebo stisknutí tlačítka "Vypiš log" uloží naměřená data do souboru *log.txt*. Příklad výpisu logu je na obrázku 30.

Další funkcí programu je zobrazení dvou naměřených průběhů, aby bylo možné porovnat například výkon před a po úpravě motoru. Tato funkce je řešena tak, že je poslední vykreslený průběh uložen a při vykreslení nového průběhu je vytvořeno nové okno se starým průběhem.

t [s-2]	x [mg]	y [mg]	z [mg]	x [°/s]	y [°/s]	z [°/s]
0	12	39	1010	3	-2	-1
2	0	16	995	3	-2	-4
4	0	39	1010	2	-2	-1
6	-4	43	1018	3	-2	-2
8	4	23	983	3	-2	-2
10	16	27	1022	2	-2	-1
12	0	23	1006	3	-2	-3
14	-4	35	1014	2	-2	-1
16	0	47	1014	3	-1	-2
18	4	16	987	3	-2	-2
20	20	31	1014	2	-2	-2
22	-12	23	1018	3	-2	-2
24	0	39	1002	2	-2	-1
26	12	39	1022	3	-2	-2
28	20	8	983	3	-2	-3
30	16	27	1014	2	-3	-1
32	-4	43	1010	3	-2	-2
34	-8	35	1002	2	-2	-1
36	12	43	1018	3	-2	-2
38	8	16	991	3	-2	-3

Obrázek 30 - Příklad funkce logování naměřených dat

7 Praktické ověření funkce navrženého zařízení

7.1.1 Postup měření

Měření probíhá následujícím způsobem. Měřicí zařízení upevníme ve vozidle tak, aby se nepohybovalo, dále provedeme kalibraci. Pote zapneme měření, s vozidlem se rozjedeme, zařadíme druhý nebo třetí (podle výkonu vozidla) převodový stupeň a sundáme nohu z plynového pedálu. Jakmile klesnou otáčky motoru až na otáčky volnoběžné, sešlápneme plynový pedál. Od tohoto okamžiku je v analyzačním programu z celkového zrychlení počítán výkon a točivý moment motoru. Plynový pedál necháme sešlápnutý až do doby, kdy se otáčky motoru dostanou do oblasti vysokých otáček a motor se začne tzv. přetáčet. Poté opět sundáme nohu z plynového pedálu, vozidlo zastavíme a vypneme měření. Tento postup měření je z toho důvodu, aby vypočtené hodnoty výkonu a točivého momentu byly v celém rozsahu otáček motoru.

7.2 Volkswagen Passat 1.9 TDI

Toto vozidlo v nedávné době podstoupilo zvýšení výkonu pomocí chipování řídicí jednotky a také bylo změřeno ve válcové zkušebně před a po úpravě. Měl jsem tudíž k porovnání graf průběhu výkonu a točivého momentu (obrázek 32). Proto jsem vozidlo bral jako referenční a podle něj jsem experimentálně nastavil hodnoty kalibračních koeficientů. Naměřená data na obrázku 32 nebyly v jiné než obrazové podobě. Z toho důvodu není možné provést porovnání ve formě jednoho grafu.



Obrázek 31 - VW Passat 1.9 TDI, Průběh výkonu a točivého motoru pomocí měření celkového zrychlení vozidla



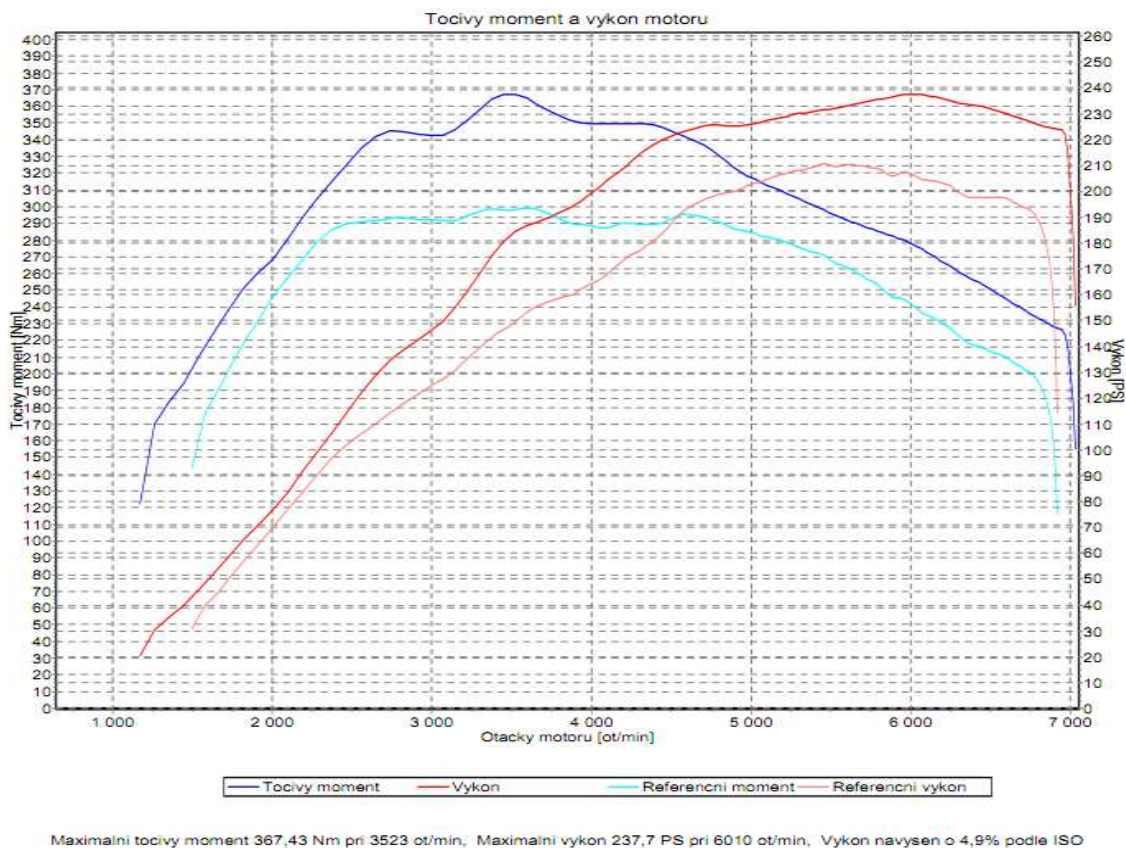
Obrázek 32 - Passat 1.9 TDI, Naměřený průběh výkonu a točivého motoru ve válcové zkušebně.[19]

Pokud porovnáme průběhy na obrázcích 31 a 32 vidíme, že výkon vrcholí v obou případech v oblasti 3000 ot/min hodnotou výkonu 113,9 kW, která je o 9,5 % vyšší než hodnota naměřená mým měřením. Točivý moment motoru vrcholí v obou případech v oblasti 2500 ot/min hodnotou točivého momentu 392,4 nm, která je o 4,4 % vyšší než hodnota naměřená mým měřením. Výsledkem tohoto porovnání je chyba měření pro výkon menší než 10 % a pro točivý moment motoru je menší než 5 %. Z tohoto srovnání plyne, že naměřené hodnoty se mírně liší, ale tvar průběhů výkonu a točivého momentu souhlasí s průběhem naměřeným na válcové brzdě.

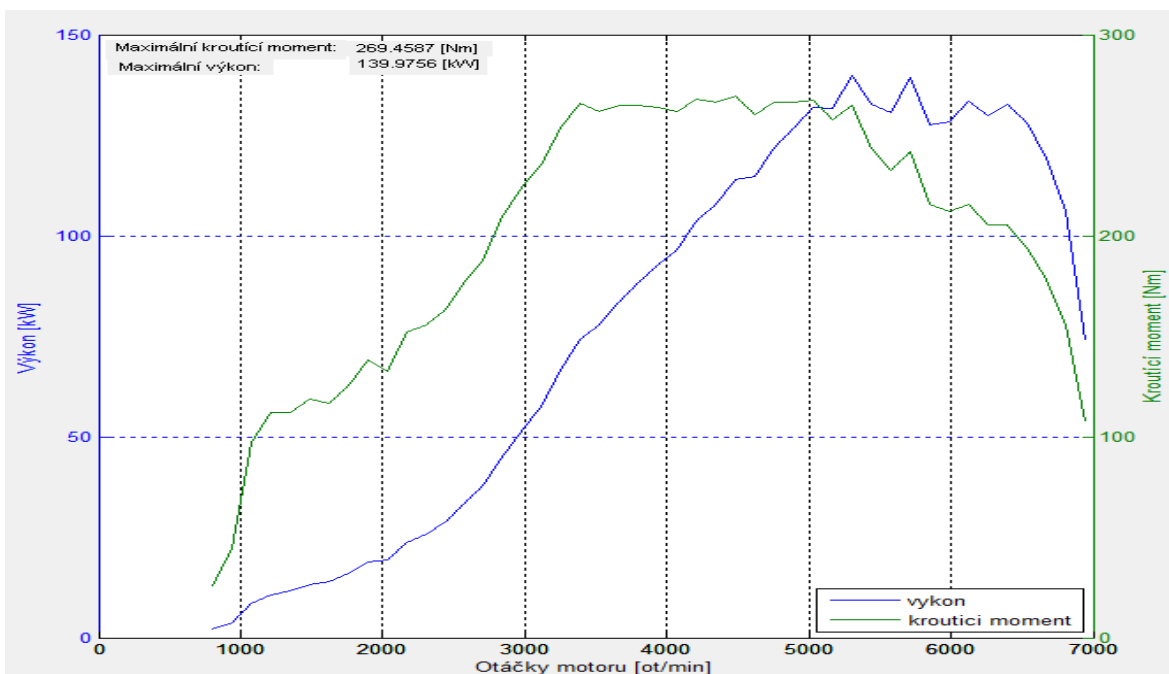
7.3 Škoda Octavia RS 2.0 TFSI

Další vozidlo, které jsem měl možnost změřit byla Škoda Octavia RS. Vozidlo v době měření bylo pouze pět měsíců staré, z tohoto důvodu jsem předpokládal, že deklarovaný výkon v technických parametrech vozidla se nebude příliš lišit od skutečného výkonu vozidla. Na obrázku 33 je provedeno měření výkonu a točivého momentu motoru před úpravou a po úpravě motoru. Nás budou zajímat hodnoty ještě neupraveného motoru. V tomto případě se opět opakovala situace, kdy naměřená data z válcové zkušebny byla je v obrazové formě. Z toho důvodu není možné provést porovnání ve formě jednoho grafu. Typ motoru vozidla, které bylo měřeno ve válcové zkušebně se shoduje s typem motoru vozidla, které jsem měl na měření k dispozici[22]. Jestli se ovšem jedná opravdu o stejná vozidla nemohu zaručit.

Pokud stejně jako v předchozím případě porovnáme průběhy na obrázcích 33 a 34 uvidíme, že výkon vrcholí v obou případech v oblasti 5500 ot/min hodnotou výkonu 154,4 kW, která je o 9,3 % vyšší než hodnota naměřená mým měřením. Točivý moment motoru vrcholí v obou případech v oblasti okolo 4000 ot/min hodnotou točivého momentu 290 nm, která je o 7 % vyšší než hodnota naměřená mým měřením. Výsledkem tohoto porovnání je chyba měření pro výkon a točivý moment menší než 10 %. Z tohoto srovnání plyne, že naměřené hodnoty se opět mírně liší, ale tvar průběhů výkonu a točivého momentu souhlasí s průběhem naměřeným na válcové brzdě.



Obrázek 33 - Škoda Octavia RS 2.0 TFSI, Naměřený průběh výkonu a točivého motoru ve válcové zkušebně.[22]



Obrázek 34- Škoda Octavia RS 2.0 TFSI, Průběh výkonu a točivého motoru pomocí měření celkového zrychlení vozidla

7.4 Volkswagen Golf III 1.9 TDI

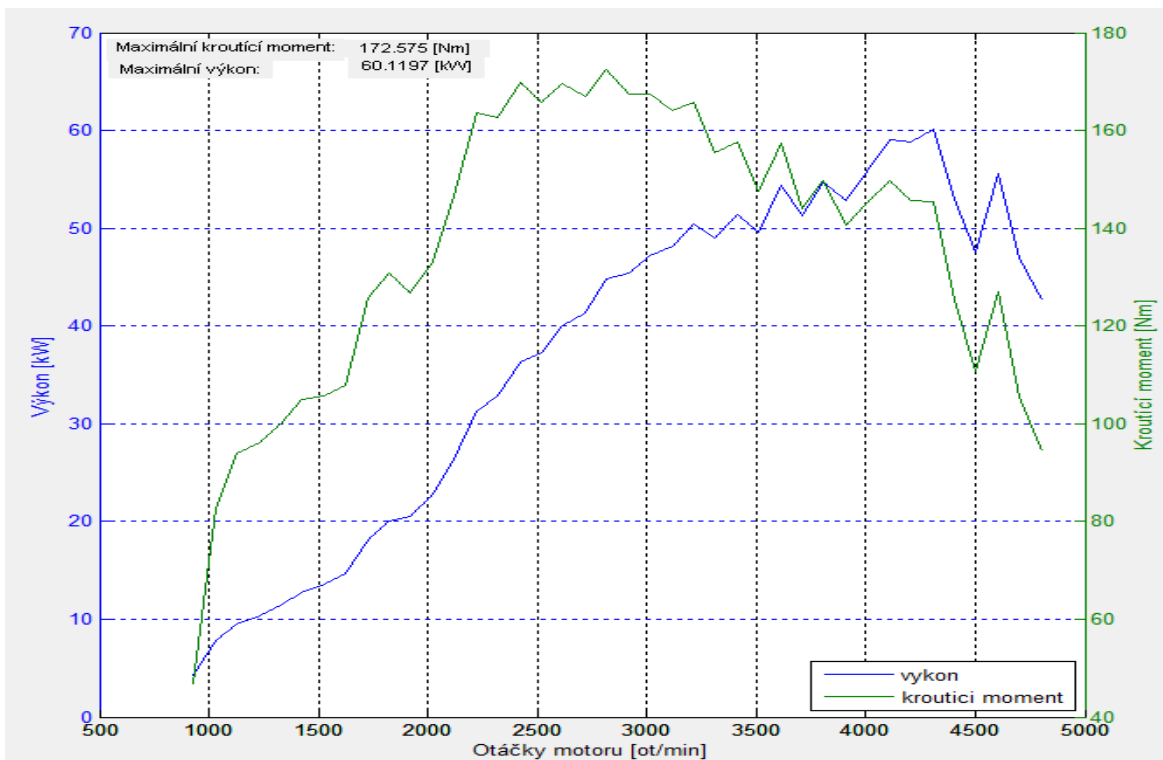
Posledním zde uváděným vozidlem je Volkswagen Golf III 1.9 TDI. Výrobce udává výkon je 66 kW a točivý výkon 202 nm. V tomto případě než určení samotného výkonu a točivého momentu nás bude zajímat, zda při opakování měření budou naměřené výsledky korespondovat s předchozími.

Na obrázcích 35 a 36 je zobrazeno opakované měření stejného vozidla. Tato měření proběhla, aby byla prakticky ověřena velikost chyby vzniklé při opakovaném měření.

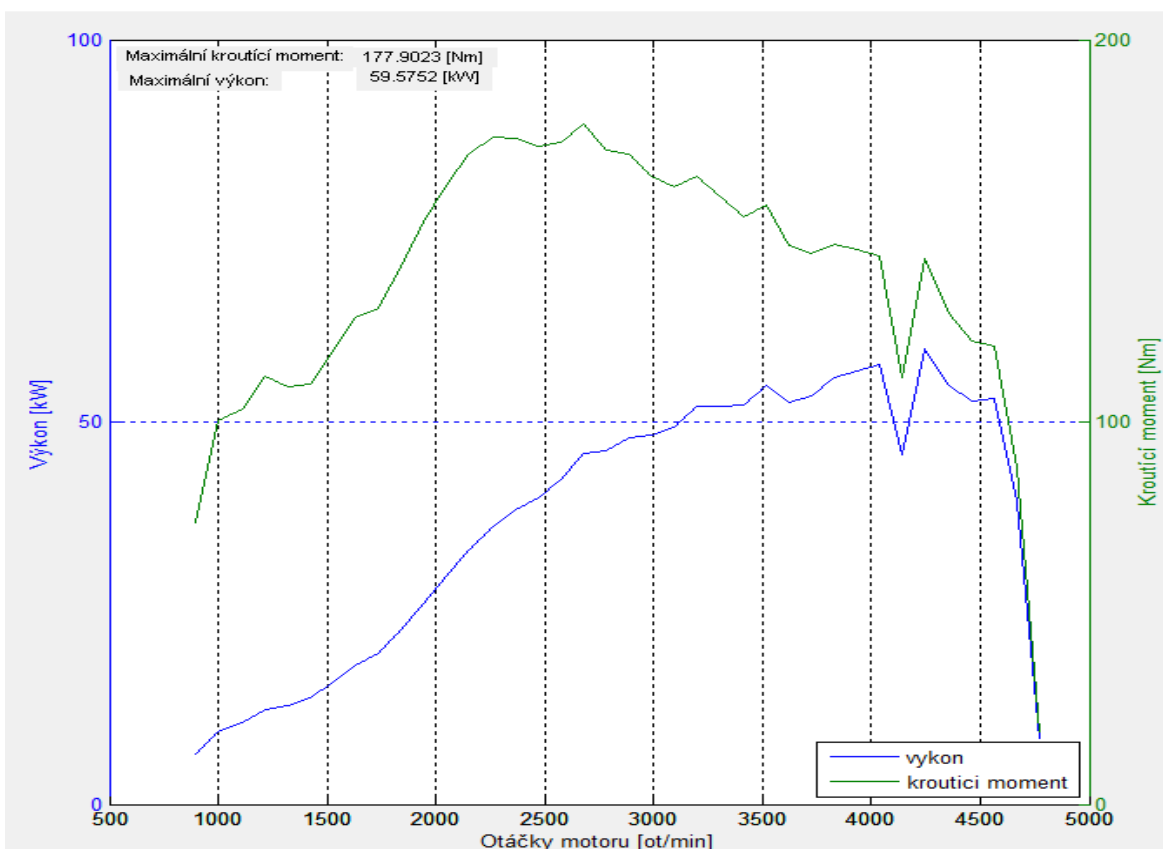
Opět jako v předchozích případech porovnáme průběhy na obrázcích 35 a 36. Výkon vrcholí v obou případech v oblasti 4200 ot/min hodnotou výkonu 60,1 kW, která je o 2 % vyšší než hodnota naměřená opakovaným měřením. Točivý moment motoru vrcholí v obou případech v oblasti okolo 2500 ot/min hodnotou točivého momentu 177,9 nm, která je o 3,1 % vyšší než hodnota naměřená opakovaným měřením. Pokud porovnáme hodnotu výkonu a točivý moment obou měření v oblasti 1500 ot/min vidíme, že v druhém měření je výkon o 22 % vyšší, než v prvním měření a točivý moment je v druhém měření o 8,5 % vyšší, než v prvním měření.

Výsledkem tohoto porovnání je chyba opakovaného měření pro maximální výkon 2 % a pro maximální točivý moment menší než 3,1 %. V oblasti nízkých otáček motoru dosahuje chyba měření výkonu 22 % a chyba měření točivého momentu 8,5 %. Tento rozdíl může být způsoben rozdílnými podmínkami při rozjezdu vozidla.

Z tohoto srovnání plyne, že naměřené hodnoty dosahují dobré shody a hodnota maximálního výkonu a točivého momentu je velice podobná.



Obrázek 35 - VW Golf III 1.9 TDI, Průběh výkonu a točivého motoru pomocí měření celkového zrychlení vozidla



Obrázek 36 - VW Golf III 1.9 TDI, Průběh výkonu a točivého motoru pomocí měření celkového zrychlení vozidla

8 Závěr

V předložené bakalářské práci jsou teoreticky rozebrány metody měření výkonu motoru vozidla. Z rozboru aplikačních požadavků vychází navržené a zhotovené měřicí zařízení. Pro následnou analýzu byl vytvořen program pro zpracování naměřených dat.

Všechny vytyčené cíle práce se podařilo bezezbytku splnit. Zařízení měří provozní parametry pohybujícího se vozidla. Naměřené hodnoty jsou zpracovány ve vytvořeném softwaru pro PC a jsou uchovány pro pozdější zpracování. Výsledkem měření pohybujícího se vozidla je křivka průběhu výkonu a točivého momentu motoru vozidla v závislosti na otáčkách motoru.

Nad rámec požadavků bylo vytvořeno komunikační rozhraní mezi uživatelem a měřicím zařízením.

Lze konstatovat, že se podařilo dosáhnout velmi dobré shody se skutečným výkonem a průběhem točivého momentu motoru vozidla. Při reálném použití je však vždy nutné zohlednit zanedbané ztráty valením, rotačních hmot a náklonu vozidla. Tyto negativní jevy mohou silně ovlivnit nepřesnost zařízení. Funkce zařízení byla prakticky ověřena na několika vozidlech a bylo provedeno i opakované měření shodných vozidel. Chyby měření nepřesáhly 20 %.

Podle očekávání je tato metoda spíše vhodná pro relativní porovnávání například dvou měření po sobě, kde by nepřesnost měření neměla být větší než $\pm 5\%$.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Hrabáček J.: „Komunikace mikrokontroléru s okolím“, BEN Praha 1999, ISBN: 80-86056-73-2
- [2] KONRÁD, Milan . NÁVRH A ÚPRAVY MOTORŮ TDI VOZIDEL VW GOLF III. A IV. GENERACE ZA ÚČELEM ZVÝŠENÍ VÝKONU. Padubice, 2010. 76 s. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Doprvní fakulta Jana Pernera.
- [3] VLK, František . Dynamika motorových vozidel. Vyd. 1. Brno : Vlk, 2000. 434 s. ISBN 80-238-5273-6.
- [4] PRACHAŘ, Roman. Jízdní odpory vozidel. Brno, 2010. 123 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické, Brno .
- [5] [Http://www.martin-tlusty.euweb.cz](http://www.martin-tlusty.euweb.cz) [online]. 18. 1. 2007 [cit. 2011-08-15]. Osobní web Martina Tlustého. Dostupné z WWW: <<http://www.martin-tlusty.euweb.cz/htm/CarAerodCz.htm>>.
- [6] Kempower motorsport [online]. 2.4.2010 [cit. 2011-08-10]. Vehicle Performance Measurements Using Accelerometers. Dostupné z WWW: <http://www.kempower.be/Performance%20meter/vehicle_performance_measurements.htm>.
- [7] Vysoké učení technické v Brně [online]. 2004 [cit. 2011-08-10]. Výkon a kroutící moment vozidla. Dostupné z WWW: <<http://www.fce.vutbr.cz/PKO/0M2/VykMom/VykMom.htm>>.
- [8] ON semiconductor : Datasheet [online]. 2009 [cit. 2011-08-25]. [Http://www.onsemi.com/](http://www.onsemi.com/). Dostupné z WWW: <http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/BZX84C2V4LT1-D.PDF>.
- [9] MICROCHIP : datasheet [online]. 2002 [cit. 2011-08-11]. [Http://ww1.microchip.com](http://ww1.microchip.com). Dostupné z WWW: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21373b.pdf>>.
- [10] Freescale.com : datasheet [online]. 2010 [cit. 2011-08-11]. Freescale. Dostupné z WWW: <http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA8453Q.pdf>.
- [11] Atmel : datasheet [online]. 2007 [cit. 2011-08-12]. Atmel.com. Dostupné z WWW: <<http://www.farnell.com/datasheets/97306.pdf>>.
- [12] Ftdi chip : datasheet [online]. 2005 [cit. 2011-08-12]. Ftdichip.com. Dostupné z WWW: <<http://www.farnell.com/datasheets/11529.pdf>>.
- [13] Atmel : datasheet [online]. 2011 [cit. 2011-08-13]. Atmel.com. Dostupné z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2503.pdf>.

- [14] Hw : automatizace [online]. 2009 [cit. 2011-08-16]. [Http://automatizace.hw.cz](http://automatizace.hw.cz). Dostupné z WWW: <<http://automatizace.hw.cz/integrované-mems-gyroskopy>>.
- [15] Jaroslav Konečný-KNE : software pro průmysl a autodiagnostiku [online]. 2009 [cit. 2011-08-30]. Kne.cz. Dostupné z WWW: <<http://www.kne.cz/index.php?strana=foto&projekt=projekt003>>.
- [16] Freescale [online]. 2010 [cit. 2011-08-17]. Freescale.com. Dostupné z WWW: <http://www.freescale.com/files/graphic/product_freescale/MMA7260Q_3ARROW_LOWRES.jpg>.
- [17] Invensense [online]. 2009 [cit. 2011-08-16]. [Http://invensense.com](http://invensense.com). Dostupné z WWW: <<http://invensense.com/mems/gyro/documents/PS-ISZ-0500-00-03.pdf>>.
- [18] Invensense [online]. 2009 [cit. 2011-08-31]. [Http://invensense.com](http://invensense.com). Dostupné z WWW: <<http://invensense.com/mems/gyro/documents/PS-IDG-0500-00-06.pdf>>.
- [19] Chiptuning : PowerTEC [online]. 2010 [cit. 2011-08-18]. [Chiptuning.cz](http://chiptuning.cz). Dostupné z WWW: <<http://www.chiptuning.cz/galerie-chipovanych-vozidel.php?id=5351>>.
- [20] Diesepower [online]. 2009 [cit. 2011-08-17]. [Race.dieselpower.cz/](http://race.dieselpower.cz/). Dostupné z WWW: <<http://race.dieselpower.cz/Mereni-Vykonu/valcova-zkusebna.php>>.
- [21] STMicroelectronics [online]. 2009 [cit. 2011-08-17]. [St.com](http://www.st.com). Dostupné z WWW: <<http://www.st.com/internet/com/home/home.jsp>>.
- [22] Tdifun [online]. 25.8.2010 [cit. 2011-08-18]. [Tdifun.cz](http://tdifun.cz). Dostupné z WWW: <http://www.tdifun.cz/wp-content/uploads/2010/10/OCTAVIE2_2.0TFSI_200hp.pdf>.