

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Univerzitní studijní programy

Simulační model systémů pro řízení vozidla

The Simulation Model of Vehicle's Control Systems

Student: Kristián Zigmund

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Mrověk, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student: **Kristián Zigmund**
Studijní program: B3943 Mechatronika
Studijní obor: 3906R007 Automobilová elektronika
Téma: Simulační model systémů pro řízení vozidla
The Simulation Model of Vehicle's Control Systems
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte detailní analýzu systémů pro řízení vozidel a následně se zaměřte na konkrétní vozidlo dle pokynů vedoucího.
2. Na základě matematického popisu zpracujte model systémů pro řízení vozidla v prostředí MATLAB/Simulink.
3. Vytvořený model implementujte do modulárního simulačního modelu vozidla.
4. Dle specifikace vedoucího porovnejte simulační výsledky s měřením na reálném vozidle.

Seznam doporučené odborné literatury:

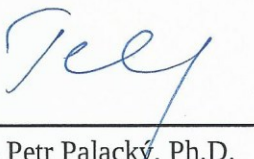
- [1] RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 str., ISBN 0-7506-7599-3.
- [2] KIENCKE, Uwe a Lars NIELSEN. Automotive control systems for engine, driveline, and vehicle. 2nd ed. Berlin: Springer, c2005. ISBN 3-540-23139-0.
- [3] ZAPLATÍLEK, Karel. MATLAB: průvodce začínajícího uživatele. Brno: Tribun EU, 2011. ISBN 978-80-263-0014-4.
- [4] ZAPLATÍLEK, Karel. MATLAB: tvorba grafického uživatelského rozhraní. Brno: Tribun EU, 2014. ISBN 978-80-263-0861-4.
- [5] VLK, F.: Elektronické systémy motorových vozidel 1, 2. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2002, ISBN 80-238-7282-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

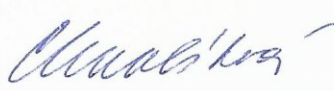
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Mrovč, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry




Ing. Zdeňka Chmelíková, Ph.D.
prorektorka pro studium

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Tomáše Mrověce, Ph.D. a uvedl všechny zdroje a literaturu ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 21.května 2018

Podpis studenta

Dále prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mojí bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a údaje o této práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. O vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 21.května 2018

Podpis studenta

Jméno a příjmení autora bakalářské práce: Kristián Zigmund

Adresa trvalého pobytu autora bakalářské práce: Prchalov 1, Příbor 74258, Česká republika

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá modelováním systémů pro řízení vozidla s využitím prostředí Mathworks Matlab/Simulink. První kapitoly jsou věnovány teoretické rešerši z oblasti řídicích prvků automobilu. Jsou zde popsány systémy, kterými řidič ovlivňuje chod vozidla. Další část práce obsahuje modelování a simulace těchto systémů. Cílem této bakalářské práce je seznámení s jednotlivými řídicími systémy, jejich modelováním v softwarovém programu a porovnání výsledků získaných na modelu, s výsledky z reálných měření na vozidle.

Klíčová slova

Modelování, simulace, Simulink, Matlab, elektronický pedál akcelerace, brzdový systém, ABS, pohyb vozidla

Abstract

This bachelor thesis deals with modelling of vehicle's control systems in software program Matlab-Simulink. First parts of the work are dedicated to a theoretical research of vehicle control systems. There are described systems that can be affected by a driver. Second part is aimed to modelling and simulating these systems. The main purpose of this work is to get informations about modelling vehicle control systems and comparing simulation results with measurements on the real vehicle.

Key words

Model, simulation, Simulink, Matlab, Electronic accelerator pedal, brake system, ABS, car motion control

Seznam použitých zkratk a symbolů

1-D/2-D	Jedno nebo dvoudimenzionální mapa hodnot
ABS	Protiblokovací systém
ASR	Systém kontroly trakce
A/D	Analogově digitální převodník
CAN	Komunikační sběrnice CANBUS
CRDi	Systém přímého vstřikování Common Rail
ECU	Elektronická řídicí jednotka
EEPROM	Elektronicky mazatelná paměť
ESP	Elektronický systém stabilizace
HIL	hardware in the loop
ICE	interní spalovací motor
I [A]	proud
OBD	Palubní diagnostika
R [Ω]	Odpor
R _H	Hallova konstanta
RAM	Paměť s náhodným přístupem
U [V]	Napětí

Obsah

1. Úvod	9
2. Teoretická řešení	10
2.1 Elektronický řídicí systém	10
2.2 HIL simulace.....	12
2.3 Pedál akcelerace.....	12
2.3.1 Konstrukce el. pedálu akcelerace.....	13
2.3.2 Snímače pedálu akcelerace	14
2.4 Brzdový systém, ABS.....	15
2.4.1 ABS.....	16
2.4.2 ASR, ESP.....	19
3. Simulační model řízení vozidla	20
3.1 Simulační model pedálu akcelerace.....	21
3.2 Simulační model ABS	24
3.2.1 Hallův snímač otáček.....	25
3.2.2 ABS.....	26
3.3 Zobrazení výsledků.....	30
4. Praktická měření	31
4.1 Měření snímače pedálu akcelerace	31
4.2 Měření Hallova snímače otáček.....	32
5. Závěr	36
Bibliografie	37

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Příklad moderního os. automobilu vybaveného elektronickými systémy [4]..	10
Obrázek 2 - Blokové schéma řízení se zpětnou vazbou	10
Obrázek 3 - Zjednodušená struktura HIL simulátoru	12
Obrázek 4 – Blokové schéma zapojení řídicího systému	13
Obrázek 5 - Modul pedálu akcelerace	13
Obrázek 6 - Zapojení potenciometru do obvodu	14
Obrázek 7 - Příklad konstrukce snímače	14
Obrázek 8 - Princip Hallova snímače [5].....	15
Obrázek 9 - Porovnání brzděných dráh bez a s ABS [8].....	16
Obrázek 10 - Modul ABS [9]	17
Obrázek 11 - Regulační soustava ABS [8]	17
Obrázek 12 - Indukční snímač otáček a jeho umístění u impulsního kola [7].....	18
Obrázek 13 - Hallův snímač otáček a impulsní kroužek, [7].....	19
Obrázek 14 - Hallův snímač umístěný v ložisku kola, [5].....	19
Obrázek 15 - Modulární simulační model vozidla	20
Obrázek 16 - Model pedálu akcelerace.....	21
Obrázek 17 - Výstupní napětí ze snímače a poloha pedálu akcelerace v čase	22
Obrázek 18 – Část ŘJ motoru, která vyhodnocuje polohu pedálu.....	22
Obrázek 19 – Příklad hodnot 1-D Look-up table	23
Obrázek 20 - Vyhodnocování vhodného požadavku na kroutící moment řídicí jednotkou	23
Obrázek 21 - Mapa hodnot ŘJ pro určení požadovaného kroutícího momentu motoru.....	23
Obrázek 22 - Model pedálu brzdy	24
Obrázek 23 - simulační model hydraulického brzdového systému	24
Obrázek 24 – Pulsní kolo, přepočítání ot/min na 1 periodu pulzu pro generátor průběhu	25
Obrázek 25 - Část modelu Hallova snímače otáček, generátor obdélníkového signálu	25
Obrázek 26 - Výstupní signál z Hallova snímače otáček	26
Obrázek 27 - Graf závislosti adheze na skluzu [10]	26
Obrázek 28 - Otáčející se kolo po vozovce [10].....	27
Obrázek 29 – Výpočet brzdění kola a jednotlivých rychlostí pro výpočet skluzu	27
Obrázek 30 - ECU ABS, výpočet skluzu a porovnání s požadovanou hodnotou.....	28
Obrázek 31 - Hydraulická jednotka ABS	28
Obrázek 32 - Průběh výsledných rychlostí s ABS.....	29
Obrázek 33 - Průběh brzdění bez ABS	29
Obrázek 34 - Přístrojová deska modulárního simulačního modelu	30
Obrázek 35 - výsledek simulace modulárního simulačního modelu	30
Obrázek 36 - Zapojení pedálu v laboratorním modelu	31
Obrázek 37 - Závislost napětí na poloze pedálu	32
Obrázek 38 - Průběh signálu ze snímačů otáčení kol při rychlosti 10km/h	33
Obrázek 39 - Průběh signálu snímače otáček při 25km/h	33
Obrázek 40 - Počet impulsů při otočení kola o jednu otáčku	34
Obrázek 41 - Průběh signálu rozjíždějícího se kola	34
Obrázek 42 - Průběh signálu simulovaného snímače otáček při rozjezdu vozidla.....	35

1. Úvod

Vývoj osobních automobilů prošel od 18. století řadou inovací a objevů, které vedly k zvyšování efektivity přenosu síly motoru na vozovku a vyšší bezpečnosti. Od představení elektronicky řízeného spalovacího motoru a rozvoji v oblasti elektromotorů a mikroelektroniky došlo k rapidnímu nárůstu využívání elektroniky v automobilovém průmyslu [1]. Počet snímačů, senzorů a zejména řídicích jednotek roste, a jejich velikost se zmenšuje. Čistě mechanické systémy jsou nahrazovány systémy mechatronickými a elektronickými. Jednou z příčin zavádění elektroniky do automobilu mohou být rostoucí požadavky na zvyšování hospodárnosti (vyšší efektivita při současném snižování emisí), bezpečnosti a komfortu [2].

Pro snazší a efektivnější práci s komplexními řídicími jednotkami, užívanými v moderním automobilovém průmyslu, dochází při vývoji k tvorbě počítačových modelů, na kterých se testuje jejich chování, robustnost a stabilita. Počítačové modely se využívají jako softwarová část Hardware-In-the-Loop simulace. Při simulaci je možné uvést jednotku do různých stavů, ovlivňovat její chování změnou parametrů, a sledovat jejich funkčnost bez nutnosti provádět fyzické testy.

První kapitoly této práce se zabývají teorií o elektronických systémech pro řízení vozidla. Jsou zde popsány principy některých ovládacích prvků pro určování jízdní dynamiky a bezpečnostních systémů, které má uživatel k dispozici. Dále jsou zde uvedeny informace o používaných senzorech a snímačích v jednotlivých systémech pro řízení automobilu.

V další části se text zaměřuje na simulaci těchto systémů. Kde simulace vyžaduje vytvoření modelu na základě fyzikálních vlastností reálného objektu. Pro modelování a simulaci bylo využito počítačového programu Matlab/Simulink ver.2017b od společnosti Mathworks.

Namodelovaná data jsou na konci porovnána s daty získanými měřeními na laboratorním vozidle. Data týkající se reálného vozu byly získány z laboratorního automobilu.

2. Teoretická rešerše

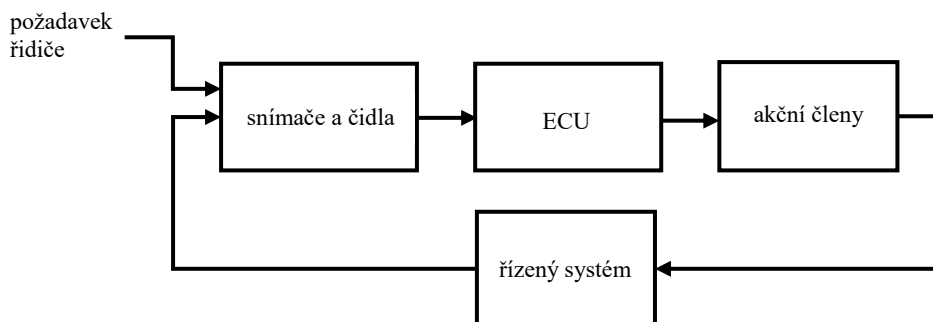
Použití elektronických systémů v automobilech odhaluje mnoho výhod spojených se samotným řízením a také s vyvíjením nových funkčních řešení. Snižují náročnost řízení vozidla a umožňují řidiči soustředit se více na dění okolního provozu. Zvyšují komfort a dělají jízdu příjemnější [3]. Umožňují realizaci nových nápadů v oblasti autonomního řízení. Tyto vozy vyžadují použití plně elektronických řídicích systémů. Do budoucna je snahou nahradit nedokonalosti člověka rychle a přesně pracující elektronikou.



Obrázek 1 - Příklad moderního os. automobilu vybaveného elektronickými systémy [4]

2.1 Elektronický řídicí systém

Elektronický řídicí systém působí dle nastavení řídicí jednotky na akční členy za účelem dosažení požadovaných hodnot. Většina elektronických řídicích systémů pracuje na principu regulace se zpětnou vazbou. Zpětnou vazbu systém získává ze senzorů a snímačů. Řídicí jednotka tyto informace zpracovává. A na základě těchto dat pak dle algoritmu přiřazuje jednotlivé úkoly akčním členům. Akční člen pak svým chováním ovlivňuje chod řízeného systému.



Obrázek 2 - Blokové schéma řízení se zpětnou vazbou

Moderní automobil obsahuje řadu elektronicky řízených systémů. Mezi aktuálně využívané patří zejména: [1]

- elektronické řízení motoru a pohybu vozidla (snižování emisí a zvyšování efektivity)
- prostředky pro měření výkonu a okolí, OBD
- regulace a řízení podvozku
- bezpečnostní systémy
- komfortní systémy, zábava/komunikace/navigace

Každý řídicí systém se skládá ze základních prvků. Spojením těchto částí vznikne řídicí systém s možností regulace. Struktura komponent vypadá následovně:

- snímače měřených hodnot
- elektronické řídicí jednotky
- akční členy
- komunikační sběrnice

Snímače a senzory měřených hodnot

Snímače a čidla požadovaných hodnot převádí měřenou fyzikální veličinu na elektrické signály. Za čidlo většinou považujeme spínač se skokovou změnou signálu na výstupu. Snímače měří spojitě v čase neelektrickou veličinu. Příkladem snímačů mohou být snímače teploty, hladiny, otáček, zrychlení a příkladem senzorů spínač brzdového pedálu nebo mikropsínače dveří.

Elektronické řídicí jednotky

Elektronická řídicí jednotka je mozkiem řídicího systému. Zpracovává informace získaných ze snímačů a na základě matematických rovnic posílá řídicí signály akčním členům. Obsahem ŘJ je A/D převodník, mikropočítač, paměť RAM, EEPROM, D/A převodník, a výkonové stupně [5].

Akční členy

Akční člen též nazýváme z angličtiny slovem aktuátor. Aktuátory převádí informaci z ŘJ, elektrický signál na mechanickou veličinu. Příkladem takového aktuátoru může být vstříkovací ventil, škrticí klapka, el. motor vstříkovacího čerpadla atd.

Komunikační sběrnice

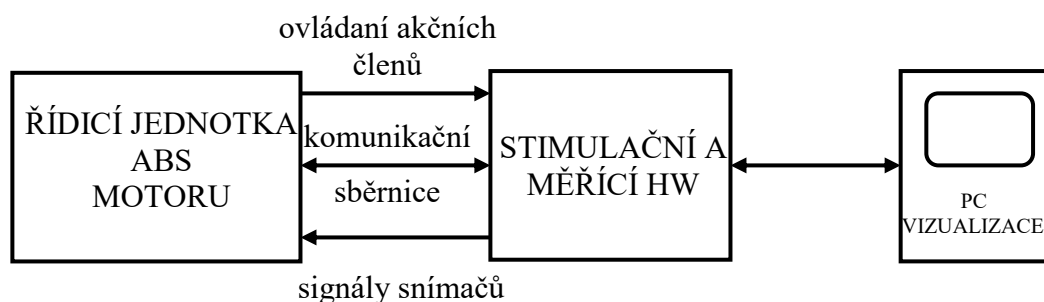
Jednotlivé řídicí jednotky mezi sebou komunikují skrze interní komunikační sběrnici. Využívané sběrnice jsou LIN BUS, CAN BUS nebo Flex Ray. Sběrnice snižují počet použitých vodičů, protože nároky na propojovací kabely stále rostou. Další využitím

komunikační sběrnice je pro diagnostické účely, kdy je sběrnice napojena k diagnostické zásuvce OBD.

2.2 HIL simulace

Rostoucí počet ŘJ v automobilu s sebou nese i jejich přizpůsobování různým úkonům. Požadavky na tyto elektronické řídicí jednotky kladou důraz na spolehlivost a stabilitu v čase. Není výjimkou, že jedna řídicí jednotka může patřit i více systémům. Složité algoritmy je nutné testovat. Přičemž jako výhodnější se ukazuje testování v HIL simulaci, než v reálném automobilu.

HIL simulace se využívá pro efektivní sledování a upravování chování mechatronických systémů. Její hlavní výhodou je simulace stavů, které mohou při provozování řídicích jednotek nastat. Jde o proces, kdy se skutečná ŘJ vyjme z vozidla a spojí se s počítačem pomocí specifického hardwarového rozhraní. Na počítači probíhají výpočty a simulace stavů, které ovlivňují chování jednotky. Do simulace je možné vstupovat a upravovat tak model v reálném čase. Například změnou hodnot snímačů vstupující do ECU.



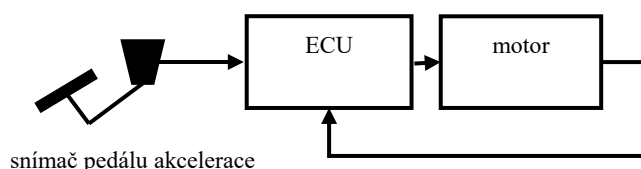
Obrázek 3 - Zjednodušená struktura HIL simulátoru

HIL testovací stanice se skládají z vlastního simulátoru, na kterém běží program. K ovládání simulátoru slouží modely vytvořené například právě v Matlab – Simulink. Model je přeložen tak, aby byl umožněn jeho automatický běh na simulátoru. Další součástí stanice je regulovatelný napájecí zdroj a vstupně-výstupní karty pro připojení jak řídicích jednotek, tak akčních členů nebo snímačů. [6]

2.3 Pedál akcelerace

Pedálem akcelerace řidič zadává požadavek na rychlost jízdy. Aby vozidlo dosáhlo vyšší rychlosti, musí spalovací motor vykazovat výkon, který je potřeba pro překonání jízdních odporů. Z historického hlediska se u vznětových motorů výkon zvyšuje přivedením více paliva do spalovacího prostoru. Přívod nafty reguluje vstřikovací čerpadlo. Od plynového pedálu je vedeno lanko, které mechanicky ovládá čerpadlo, a tím reguluje množství

přivedeného paliva. Z důvodu stále častějšího využívání elektronického řízení motoru, nahradilo mechanické ovládání lankem technologie throttle-by-wire. Moderní vozidla obsahují elektronický pedál akcelérátoru, který snímá polohu sešlápnutí pedálu a informaci o tom odesílá do řídicí jednotky motoru. Řídicí jednotka na základě polohy pedálu odešle informaci akčnímu členu. Využívání elektronického pedálu akcelerace umožnilo nasazení tempomatu udržující nastavenou rychlost. Pokud by byl tempomat vytvořen zachycením lanka v určité poloze a vozidlo narazilo na kopec, došlo by ke zpomalování automobilu.

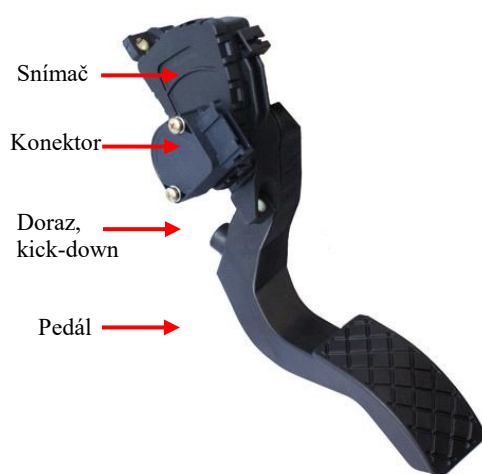


Obrázek 4 – Blokové schéma zapojení řídicího systému

2.3.1 Konstrukce el. pedálu akcelerace

Vyrábí se jako moduly pedálu akcelerace, provedené ve formě samostatné jednotky k zabudování. Odpadá zde nutnost nastavování a seřizování na vozidle. Moduly se skládají ze samotného pedálu a snímače polohy. Jako snímač se využívá potenciometr. Tělo pedálu se po sešlápnutí otáčí na hřídeli. S hřídelí je spojen sběrač potenciometru, který jezdí po odporových drahách. Změna odporu vede ke změně výstupního napětí, které je odesíláno řídicí jednotce. Řídicí jednotka má v paměti uloženou charakteristiku snímače, a pomocí ní jednotka přepočítává napětí na relativní dráhu (polohu) nebo úhlovou polohu hřídele.

Automobily s automatickou převodovkou využívají u pedálu akcelerace také spínač ‚kick-down‘, který po úplném sešlápnutí signalizuje požadavek na maximální možný výkon nezávisle na zvoleném jízdním režimu. [7]



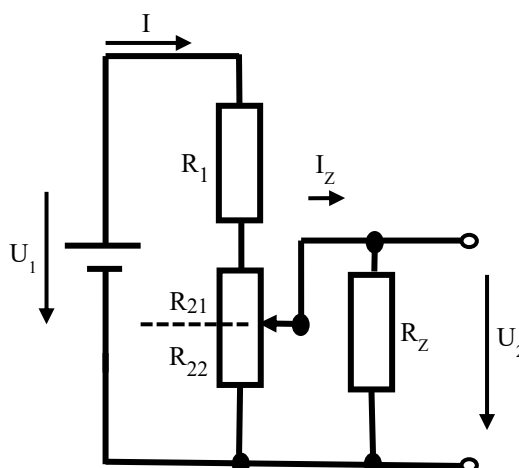
Obrázek 5 - Modul pedálu akcelerace

2.3.2 Snímače pedálu akcelerace

Potenciometr:

Měřicí potenciometry patří do skupiny odporových snímačů polohy. Působením neelektrické veličiny se mění poloha sběrače, který se pohybuje po odporové dráze. Změnou polohy sběrače se mění odpor mezi sběračem a koncem nebo začátkem odporové dráhy. Proměnný odpor způsobuje změnu napětí na výstupu snímače.

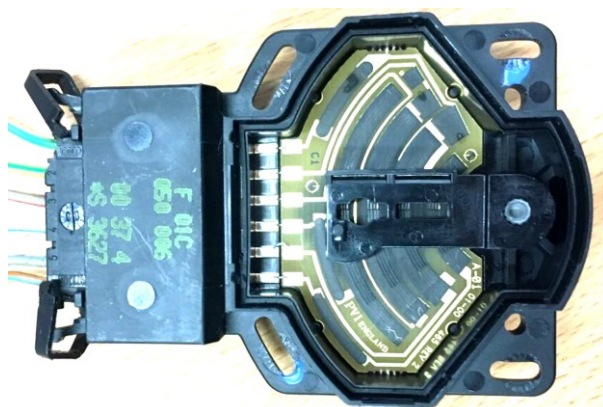
Vnitřní zapojení potenciometru lze srovnat se zapojením zatíženého odporového děliče.



Obrázek 6 - Zapojení potenciometru do obvodu

Sběrače bývají zhotoveny z drátů slitiny platiny a iridia nebo platiny a beryllia. Mohou být použity ploché sběrače ze stříbra nebo fosforu. Odporové dráhy bývají z mosazi. Sběrač bývá uchycen na hřídeli.

Snímač se vyznačuje svou stálostí a jednoduchostí. Je nutné zvolit správnou kombinaci materiálů a přiměřený zatěžovací moment. Nevhodně zvolené parametry mohou způsobovat nadměrné opotřebávání odporových drah nebo sběrače, může též docházet k poskakování sběrače po dráze, což by způsobovalo nežádoucí šum. [5]



Obrázek 7 - Příklad konstrukce snímače

Hallův snímač úhlu:

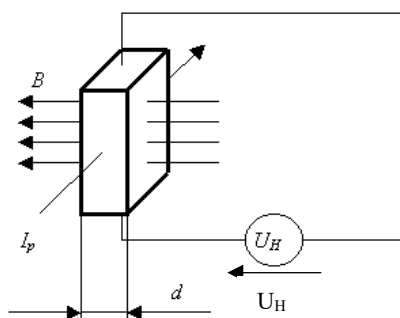
Tyto aktivní snímače využívají Hallova jevu. Ten spočívá v tom, že příčné magnetické pole s indukcí B působí na polovodič, kterým prochází el.proud. Pro Hallovo napětí U_H měřené na protějších stěnách hranolu platí:

$$U_H = R_H \frac{I_p B}{d_p} \quad (2.1)$$

kde Hallova konstanta

$$R_H = \frac{3}{8} \cdot \frac{1}{nq} \quad (2.2)$$

přičemž n je hustota nosičů náboje, q je elementární náboj a d_p tloušťka polovodiče.



Obrázek 8 - Princip Hallova snímače [5]

V modulech pedálu akcelerace se využívá kombinace Hallova snímače a magnetu umístěného na hřídeli otáčení pedálu. Stlačení pedálu způsobuje pohyb magnetu, v jehož blízkosti je umístěn Hallův snímač. Pohybem magnetu se mění magnetický tok a na výstupu snímače se mění napětí podle rovnice výše. [5]

2.4 Brzdový systém, ABS

Rozjeté vozidlo je také nutné zpomalit nebo úplně zastavit. Řidič zpomaluje vozidlo působením síly na brzdový pedál. Na pedálu je spínač signalizující sešlápnutí pedálu a tato informace se předává ŘJ která jí využívá pro rozsvícení brzdových světel. Řidič brzdovým pedálem ovládá elektrohydraulickou brzdovou soustavu. Brzdová soustava mění kinetickou energii rozjetého automobilu v teplo třením destiček o kotouč. Běžná brzdová soustava se skládá se z několika částí a to z:

- samotného brzdového pedálu – Tímto pedálem ovládá řidič brzdový účinek. Pedálem se mechanicky přenáší síla na brzdové třmeny.
- podtlakového posilovače – Ten se nachází mezi brzdovým pedálem a hlavním brzdovým válcem. Funguje na principu podtlaku, který je získáván ze sání motoru nebo

v případě vznětových motorů z podtlakového čerpadla. Posilovač podporuje vynaloženou sílu řidiče a usnadňuje mu používání brzd.

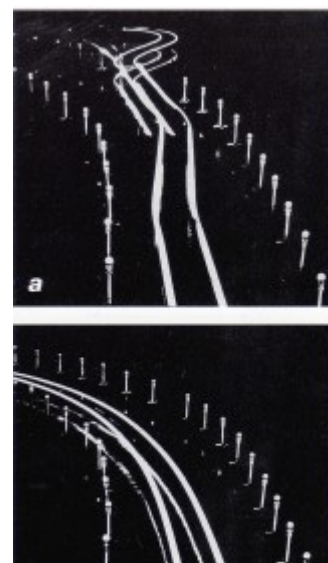
- hlavního brzdového válce – Jeho úlohou je vytvoření požadovaného tlaku v brzdovém okruhu nebo jeho snížení při uvolnění pedálu. Z důvodu bezpečnosti bývá konstruován jako dvouokruhový, tandemový. Brzdný tlak rozděluje do dvou okruhů, které ovládají pístky v brzdových třmenech. V případě poruchy na jednom okruhu je využíván druhý a určité brzdy jsou stále funkční.
- expanzní nádržky – Bývá umístěna nejvýše v brzdové soustavě. Obsahuje hydraulickou kapalinu, která slouží pro přenos síly pedálu na brzdové třmeny.
- kotoučových brzd – Postupně nahradily brzdy bubnové. Mají rychlejší nástup brzdného účinku a vyznačují se také stálostí brzdného účinku a lepším odvodem tepla.

Protože elektronika stále více nahrazuje mechanické spojení mezi samotnou brzdou a brzdovým pedálem, objevují se systémy brake-by-wire. Provádějí se zkoušky brzd, které pro vynaložení brzdného tlaku na kotouč využívají elektromotoru. Snahou je nahradit hydrauliku elektronikou. Takovouto elektronickou brzdovou soustavu může využívat autonomní vůz pro brzdění bez potřeby zásahu řidiče.

2.4.1 ABS

ABS (Anti Blocking System) patří do skupiny aktivní bezpečnosti, kdy aktivně zasahuje do řízení za účelem snížení rizika nehody. Protiblokovací systém spadá pod oblast regulace a řízení podvozku. Jeho účelem je udržet vozidlo ovladatelné i při kritickém brzdění, kdy může dojít k zablokování kol. Pokud by došlo k zablokování kol, vozidlo se může stát neovladatelné nebo může ztratit stabilitu a skončit ve smyku. [2]

Protiblokovací systém reguluje při nouzovém brzdění brzdný tlak tak aby nedošlo k zablokování otáčení kol. Snímače otáček kol slouží pro výpočet obvodových rychlostí kol. Řídící jednotka ABS porovnává rychlost otáčení kol s rychlostí vozidla nebo mezi koly navzájem a při rozpoznání nebezpečí blokování spustí v hydraulické jednotce čerpadlo pro zpětnou dodávku tlaku přes elektromagnetické ventily a nezávisle na sešlápnutí pedálu odblokuje na krátkou dobu brzdy. Každé kolo má přiřazený svůj pár elektromagnetických ventilů ovládaných tak aby mohlo optimálně přispět k brzdění. Na zadní nápravě kolo s menším součinitelem přilnavosti určuje společný tlak v obou



Obrázek 9 - Porovnání brzdné dráhy bez a s ABS [8]

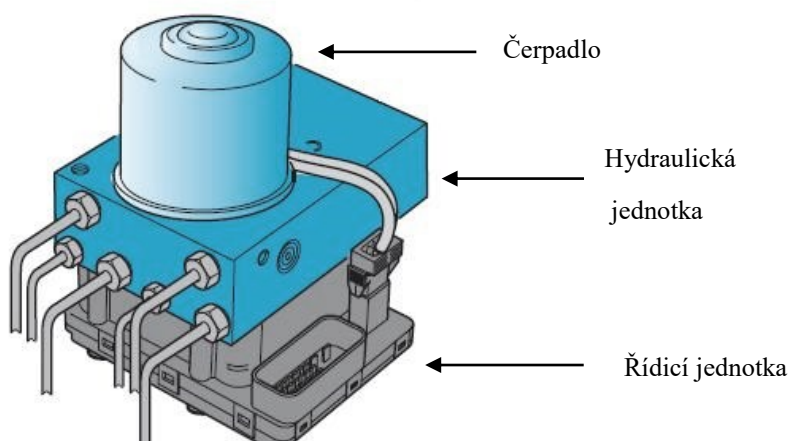
brzdách kol. Kolo s větším součinitelem přilnavosti díky ABS mírně nedobrzdí, což způsobí mírně delší brzdnu dráhu, nicméně tím získáme vyšší stabilitu. Tento bezpečnostní systém pracuje vysokou rychlostí a k regulaci brzdění dochází i 10x za vteřinu. [8]

2.4.1.1 Konstrukce

Protiblokovací systém je konstruován jako nástavba ke stávající konvenční brzdové soustavě. Doplnuje ji o tyto prvky:

- Snímače otáček
- Řídící jednotku ABS
- Hydraulickou jednotku ABS

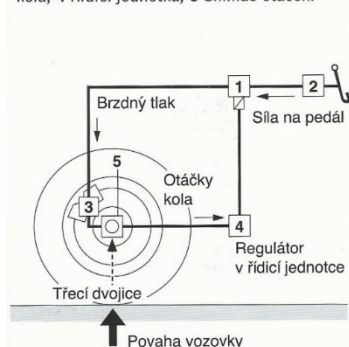
Všechny tyto prvky jsou vyráběny ve formě kompaktního modulu zabudovatelného do automobilu, viz obrázek 10.



Obrázek 10 - Modul ABS [9]

Regulační soustava ABS (obrázek 11) se skládá z regulačního obvodu, vozidla s brzdovou soustavou. Regulátorem v této soustavě jsou snímače otáček a ECU. Jako regulační veličina slouží zrychlení kola a brzdný skluz. Do soustavy vstupují i rušivé elementy jako povrch vozovky, kvalita pneumatik atp.

Obrázek 3: Regulační soustava ABS
 1 Hydraulická jednotka s magnetickými ventily
 2 Hlavní brzdový válec, 3 Brzdový váleček
 kola, 4 Řídící jednotka, 5 Snímač otáček.



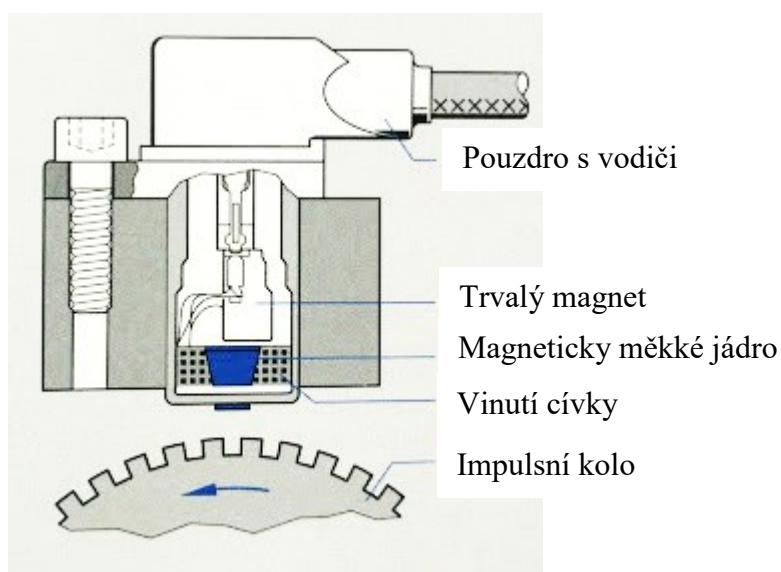
Obrázek 11 - Regulační soustava ABS [8]

2.4.1.2 Snímače otáček

Podle provedení ABS jsou v automobilu použity dva nebo nejčastěji čtyři snímače pro každé kolo. Ze signálu snímačů lze vypočítat skluz mezi kolem a vozovkou. Další využití informace o otáčení kol využívá např. elektronický diferenciál, tempomat.

Indukční pasivní snímače otáček

Indukční snímače spojují cívku a pólový nástavec, u kterého je pomocí stálého magnetu vytvářen magnetický tok. Magnetický tok magnetu prostupuje ozubeným impulsním kolem z magneticky měkkého materiálu. Střídáním zubů a mezer při otáčení kola se mění magnetický tok cívky. Změna magnetického pole indukuje ve vinutí sinusové napětí. Otáčkám je úměrná frekvence i amplituda napětí. [7]



Obrázek 12 - Indukční snímač otáček a jeho umístění u impulsního kola [7]

Napětí indukované v cívce je dle Faradayova zákona dáno:

$$U = -N_z \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.3)$$

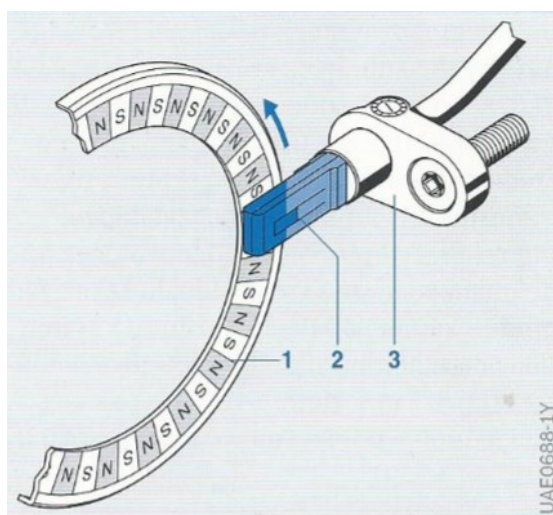
kde N_z je počet závitů cívky a Φ magnetický tok. Uvažujme, že impulsní kolo je vlastně ozubené kolo o poloměru r , s počtem zubů z , úhlem natočení φ a dostaneme výslednou rovnici napětí pro konstantní úhlovou rychlost: [5]

$$U = -N_z \frac{d\Phi}{dt} = -N_z z \Phi_m \cos(2\pi f t) \frac{d\varphi}{dt} \quad (2.4)$$

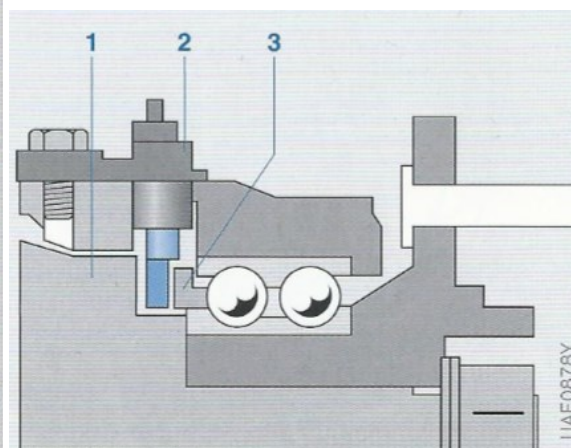
Hallův aktivní snímač otáček

Snímače využívající Hallova jevu stále více nahrazují běžné indukční snímače. Impulsní kolo je ve formě kroužku s magnety střídavé polarity místo zubů. Měřící prvek snímače je vystaven střídajícímu se magnetickému poli těchto magnetů. Amplituda výstupního napětí je oproti případům s indukčními snímači nezávislá na otáčkách kola. Místo sinusového průběhu se na výstupu objevuje obdélníkový signál s frekvencí úměrnou rychlosti otáčení kola.

Snímač je také možné konstruovat přímo do ložiska kola, kdy těsnící kroužek ložiska obsahuje magnetický prášek místo pevných magnetů. [7]



Obrázek 13 - Hallův snímač otáček a impulsní kroužek, 1-impulsní kroužek, 2-Hallův snímač, 3-pouzdro [7]



Obrázek 14 - Hallův snímač umístěný v ložisku kola, 1-ložisko, 2-Hallův snímač, 3-těsnící kroužek (multipól) [5]

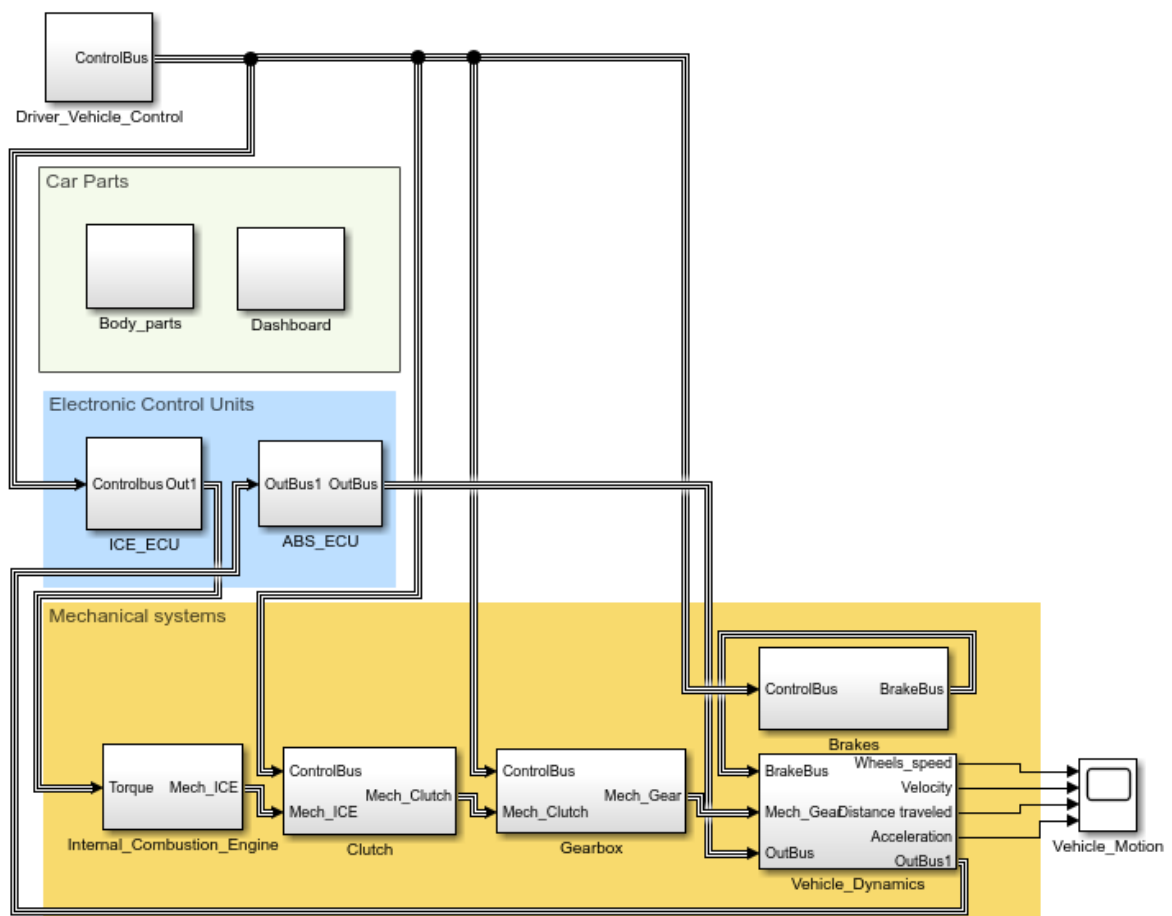
2.4.2 ASR, ESP

Systemy ASR a ESP využívají komponenty ABS, doplněny o potřebné funkce. Kritické situace při brzdění pomáhá zvládnout systém ABS. V případě prudkého rozjezdu může dojít k prokluzu kola a ztrátě stability. ASR zajistí přibrzdění prokluzujícího kola nebo vyvolá zásah do řízení motoru pro omezení točivého momentu. Pokud dochází ke smyku vozidla v příčném směru, zasáhne systém elektronické stability. Pokud ŘJ ze snímačů zrychlení obdrží informaci o smyku vozidla, zasáhne vhodným přibrzděním kol. Výsledkem správně fungujícího ESP je zvládnutí smyku a udržení jízdní stopy.

3. Simulační model řízení vozidla

V této kapitole je popsáno vytvoření simulačního modelu v prostředí Matlab – Simulink. Modely jsou kompatibilní s verzí programu 2017b, a vztahují se k laboratornímu vozidlu

Jednotlivé pasáže jsou součástí celkového modulárního simulačního modelu, skládajícího se z několika subsystémů. Odděleny jsou ovládací prvky, řídicí jednotky a mechanické části. Výhodou takového modulárního modelu je možnost rozšiřovat dosavadní řešení o nové nápady.



Obrázek 15 - Modulární simulační model vozidla

Veškeré použité proměnné v modelu je před simulací potřeba načíst. V tomto projektu jsou jednotlivé systémy rozděleny do vlastních „.m-souborů“, které na začátku volá jeden inicializační soubor, pro načtení hodnot do workspace.

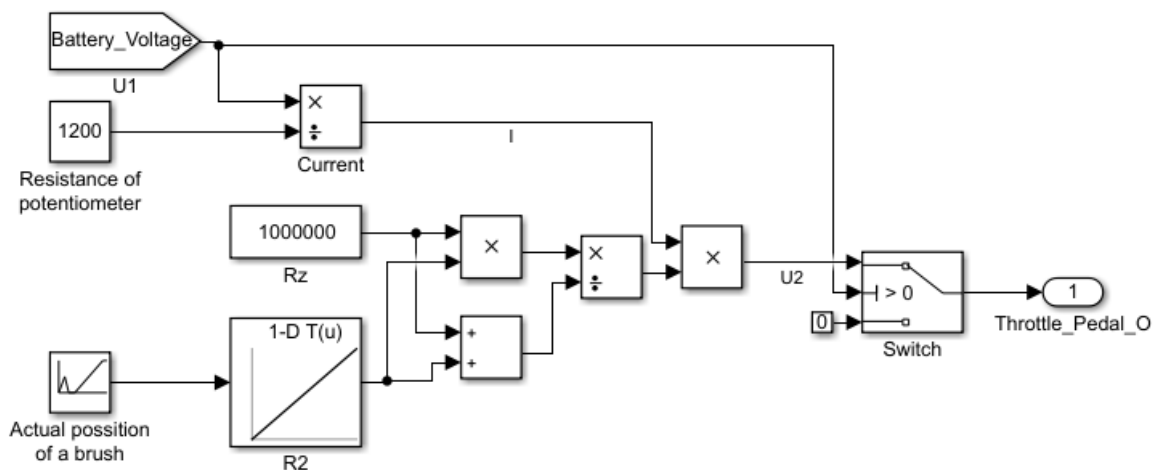
Komunikace mezi řídicími jednotkami je realizována pomocí komunikačních sběrnic, proto bylo v modelu zvoleno také propojení virtuální sběrnicí.

Hlavním výstupem z tohoto modulárního simulačního modelu jsou informace o pohybu vozidla. Pohybu je docíleno součinností všech dílčích částí spojených v jeden celek. Subsystémy se mezi sebou navzájem ovlivňují a mají značný vliv na výsledek. Využitím všech možností Simulinku je možné získat informace o jakékoliv veličině objevující se v simulaci. Hodnoty lze zobrazit grafem nebo s využitím editoru grafického uživatelského prostředí jako indikátory ve formě měřidel nebo diod.

3.1 Simulační model pedálu akcelerace

Model pedálu akcelerace se nachází v subsystému s názvem *Driver_Vehicle_Control*, který obsahuje další ovládací prvky vozidla.

Nejčastěji využívané provedení elektronického pedálu akcelerace je s použitím potenciometrického snímače polohy. Snímač je napájen z palubní sítě, kterou představuje blok U_1 . Blok *Switch* přivedením palubního napětí umožňuje napájení snímače polohy. V případě vypnutého zapalování je snímač ve vypnutém stavu.



Obrázek 16 - Model pedálu akcelerace

Blok *Actual position of a brush*, nahrazuje řidiče šlapajícího na pedál. Jeho nastavení představuje polohu pedálu, v rozsahu 0-1, z klidové polohy až do maximálního možného úhlu. Pro získání vhodného signálu je model sestaven jako zatížený dělič napětí s proměnným odporem R_2 . Proměnný odpor je řešen pomocí bloku *1-D Lookup Table*.

Nejprve je na základě Ohmova zákona získán proud potenciometrem podle:

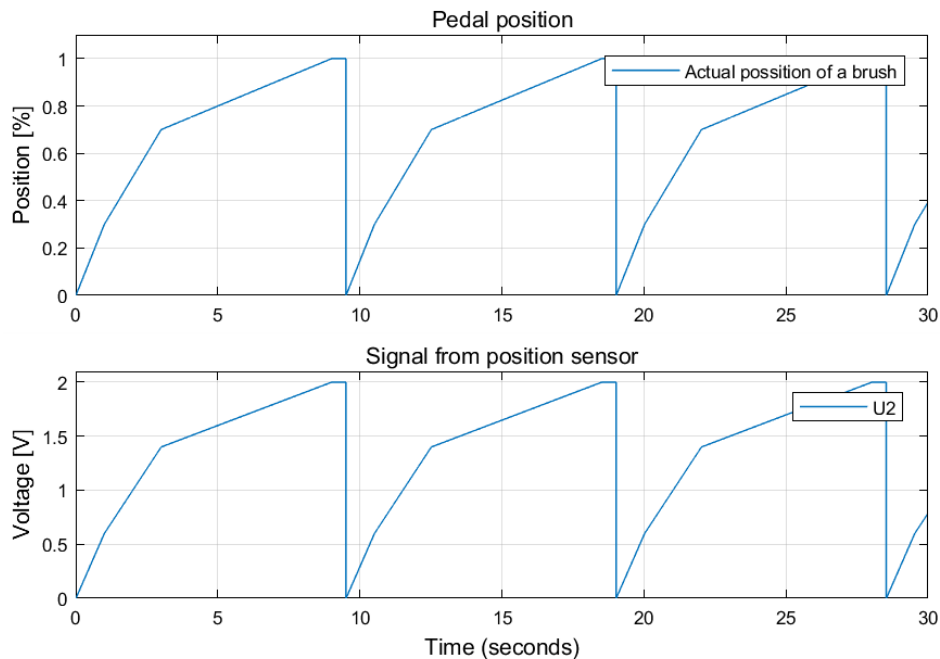
$$I = U_1 \cdot R_p \quad (3.1)$$

kde $R_p = 1200 \Omega$ je celkový odpor potenciometru a $U_1 = 12 \text{ V}$ napětí palubní sítě. Paralelním řazením odporů R_2 a R_z , kde R_z je odpor zátěže, se vypočte náhradní odpor R_x podle:

$$R_x = \frac{R_2 R_Z}{R_2 + R_Z} \quad (3.2)$$

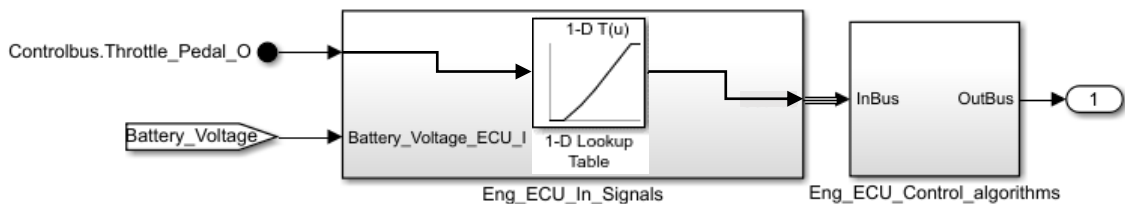
Odpor zátěže, tedy ECU, je v řádech megaohmů. Z tohoto náhradního odporu a proudu potenciometru se získá výstupní napětí potenciometru dle:

$$U_2 = R_x I \quad (3.3)$$



Obrázek 17 - Výstupní napětí ze snímače a poloha pedálu akcelerace v čase

Výstupní napětí bývá v rozsahu 0-2 V. Signál pokračuje dále po sběrnici do ŘJ motoru. ŘJ převádí napětí snímače pomocí vstupního obvodu na procentuální hodnotu. Informace o aktuální pozici pedálu se využívá pro vybrání vhodného kroutícího momentu motoru z příslušné mapy hodnot. Podle tohoto požadavku na moment, ECU motoru volí správnou kombinaci spalovací směsi.



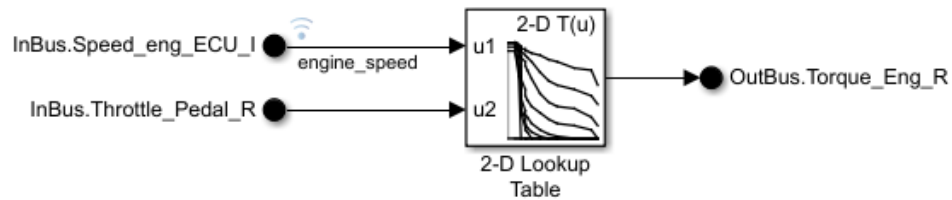
Obrázek 18 – Část ŘJ motoru, která vyhodnocuje polohu pedálu

V simulaci je vstupní obvod (A/D převodník) nahrazen polem hodnot. Vyhodnocení sešlápnutí v procentech probíhá skrz 1-D Lookup table.

Breakpoints	Column	(1)
Row		--
(1)	0	0
(2)	0.3	0
(3)	0.715	20
(4)	1	40
(5)	1.286	60
(6)	1.557	80
(7)	1.834	100
(8)	2	100

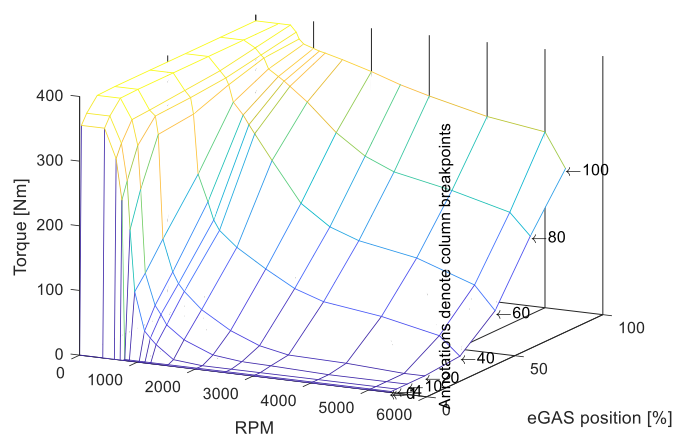
Obrázek 19 – Příklad hodnot 1-D Look-up table

Ve sloupci *Column* se nachází vstupní napětí a ve sloupci (1) odpovídající procentuální hodnota. Porovnáním aktuální míry sešlápnutí s otáčkami motoru řídicí jednotka vybírá vhodný kroutící moment z pole hodnot uloženého paměti.



Obrázek 20 - Vyhodnocování vhodného požadavku na kroutící moment řídicí jednotkou

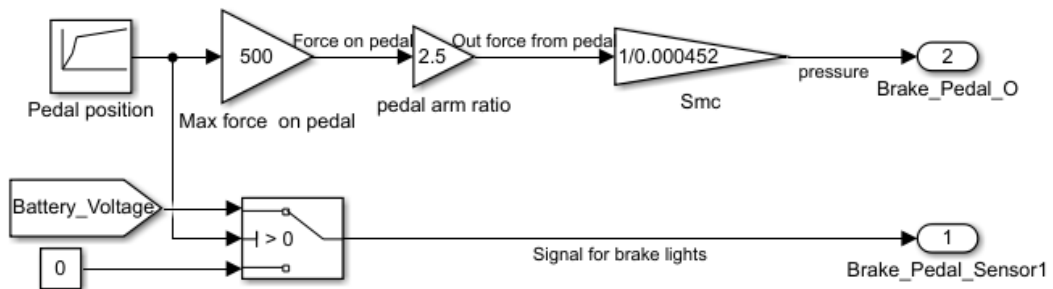
Hodnota kroutícího momentu se vybírá z *2-D Lookup table*. Její nastavení je znázorněno na obrázku 21.



Obrázek 21 - Mapa hodnot ŘJ pro určení požadovaného kroutícího momentu motoru

3.2 Simulační model ABS

Brzdový pedál ovládá tlak v brzdové soustavě. Přitlačením brzdových destiček ke kotouči brzdy vzniká brzdný moment působící proti podélnému pohybovému momentu.

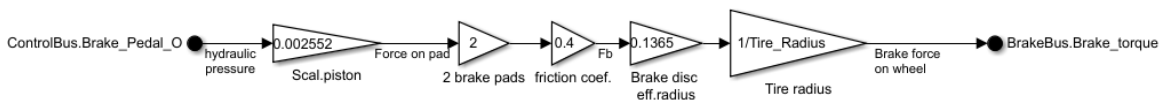


Obrázek 22 - Model pedálu brzdy

Model pedálu brzdy je vytvořen následujícím způsobem. Vyvíjená síla řidiče se získá vynásobením polohy zadané v procentech s maximální přípustnou silou vyvíjenou nohou. Při uvažování pákového poměru pedálu 2,5 je výstupem výsledná síla pedálu, která působí na píst v hlavním brzdovém válci. S_{mc} plocha tohoto pístu, získaná ze vzorce:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (3.4)$$

kde $d=24$ mm, je průměr pístku hlavního brzdového válce. Podíl síly pedálu s plochou pístku brzdového válce vyjadřuje vytvořený tlak v hydraulické soustavě.



Obrázek 23 - simulační model hydraulického brzdového systému

Tlak vytvořený v hlavním brzdovém válci podle Pascalova zákona působí silou na pístek *Scal_piston* v brzdovém třmenu svírají kotouč. Pístek o průměru $d_{cal}=57$ mm tlačí na brzdovou destičku. Destičky jsou dvě a svírají kotouč ve vzdálenosti *Brake disc eff.radius*. Podle:

$$M_B = F_B \cdot r_d \quad (3.5)$$

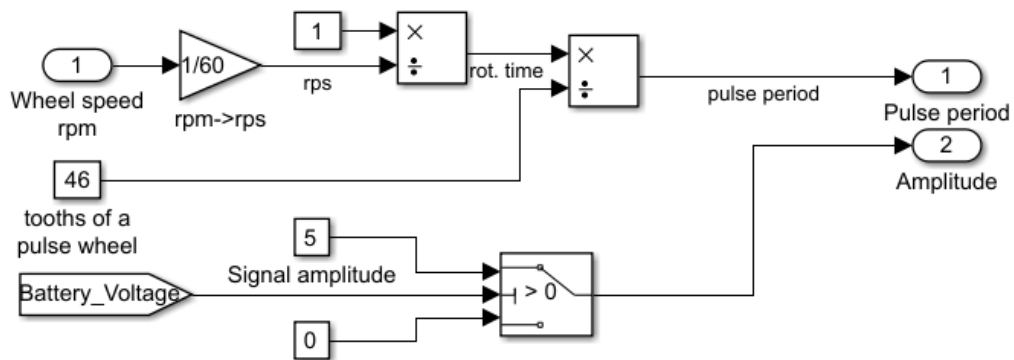
se získá brzdný moment na třmenu soustavy. Efektivní poloměr kotouče byl zvolen 0,1365m. Podle rovnosti momentů, vydělení poloměrem kola umožní získat brzdný moment kola působící proti pohybu vozidla.

$$M_K = F_K = \frac{F_B \cdot r_d}{r_K} \quad (3.5)$$

kde F_B je brzdná síla, r_d efektivní poloměr brzd. kotouče a r_K poloměr kola automobilu. Dalším výstupem z modelu je signál ze senzoru sešlápnutí pedálu. Tento signál slouží k rozsvícení brzdových světel.

3.2.1 Hallův snímač otáček

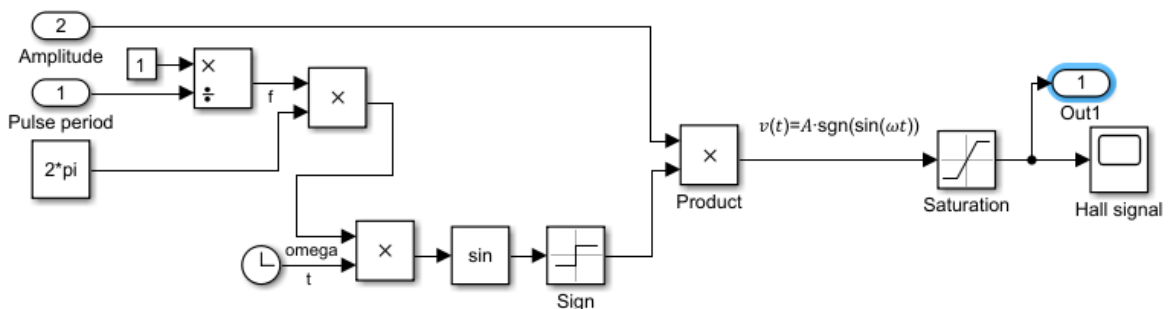
Aktuální otáčky jsou snímány ze subsystému Vehicle_Dynamics. První částí subsystému je pulsní kolo ve formě multipólového kroužku. Pulsní kolo je tvořeno 46 zuby. Výstupní signál ze snímače má amplitudu pět voltů. Přivedené otáčky za minutu jsou převedeny na otáčky za sekundu. Vydělením počtem zubů pulsního kola získáme jednu periodu signálu. Napájení je opět řešeno přepínačem.



Obrázek 24 – Pulsní kolo, přepočítání ot/min na 1 periodu pulzu pro generátor průběhu

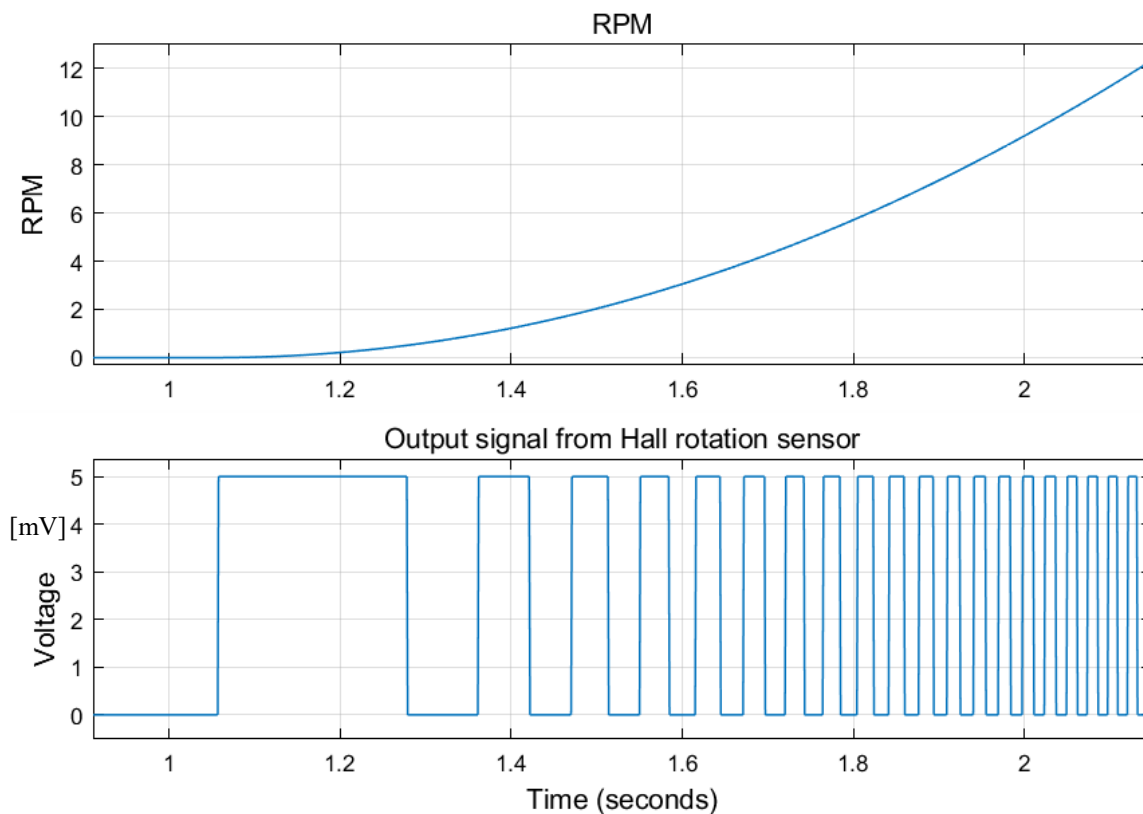
Amplituda a délka periody z modelu pulsního kola je předána generátoru obdélníkového signálu. Signál je získán konstrukcí modelu dle rovnice pro obdélníkový signál:

$$U_2 = A \cdot \text{sgn}(\sin(\omega t)) \quad (3.7)$$



Obrázek 25 - Část modelu Hallova snímače otáček, generátor obdélníkového signálu

Výstupem modelu, tedy i snímače, je obdélníkový signál s frekvencí závislou na rychlosti otáčení kola a konstantní amplitudou.



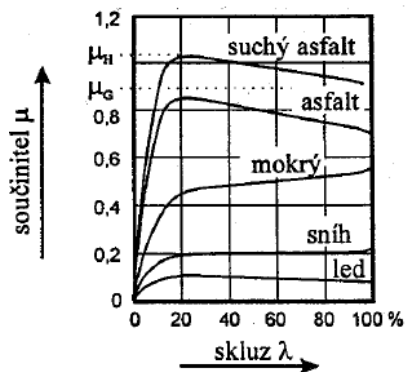
Obrázek 26 - Výstupní signál z Hallova snímače otáček

3.2.2 ABS

Nejkratší brzdné dráhy může být dosaženo tehdy, kdy se kola pohybují na skluzu maximální přilnavosti μ -součinitel tření mezi kolem a vozovkou. Skluz je definován vztahem:

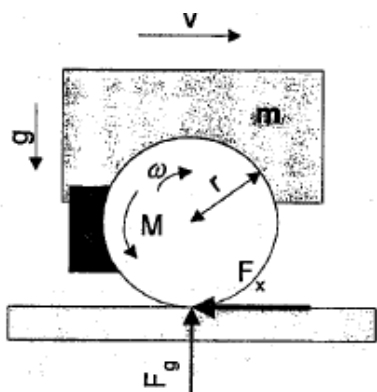
$$s = \frac{v - u}{v} = 1 - \frac{u}{v} \quad (3.8)$$

Pokud se kola otáčejí stejnou rychlostí, jako je rychlost vozidla, potom $s=0$. Dalším krokem je vytvoření modelu otáčení kola.



Obrázek 27 - Graf závislosti adheze na skluzu [10]

Obrázek 27 interpretuje nastavení bloku obsahující závislost součinitele tření μ na skluzu.



m	poměrná hmotnost vozu
g	tíhové zrychlení
v	rychlost vozu (v podélném směru)
J	moment setrvačnosti kola
ω	úhlová rychlost kola
M	brzdící moment vyvozený brzdou na kole
F_x	brzdící síla působící na ploše styku
F_g	tíhová síla kola
r	poloměr kola

Obrázek 28 - Otáčející se kolo po vozovce [10]

Pro obvodovou rychlost kola u platí.

$$u = \omega \cdot r \quad (3.9)$$

Využitím zákonů mechaniky získáme pohybovou rovnici pro podélný směr.

$$ma = -F_x \quad (3.10)$$

A pohybovou rovnici rotačního pohybu kola.

$$J\dot{\omega} = rF_x - M \quad (3.11)$$

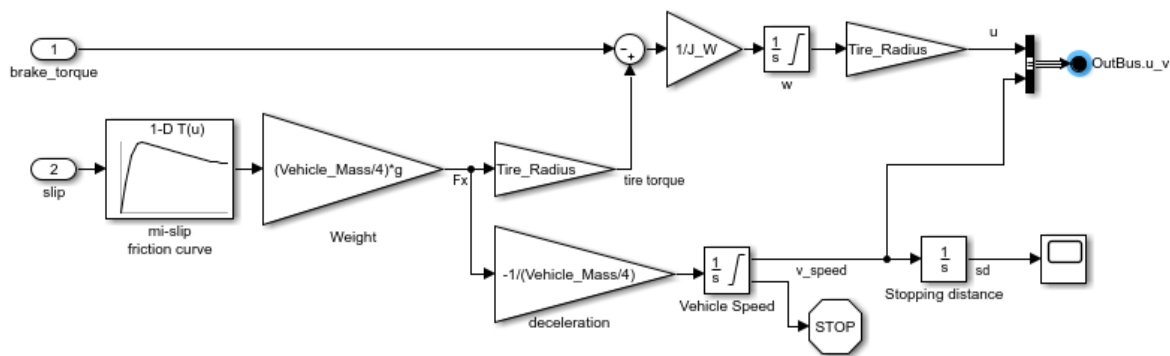
Pro brzdnu sílu platí.

$$F_x = \mu F_z \quad (3.12)$$

$$F_z = mg \quad (3.13)$$

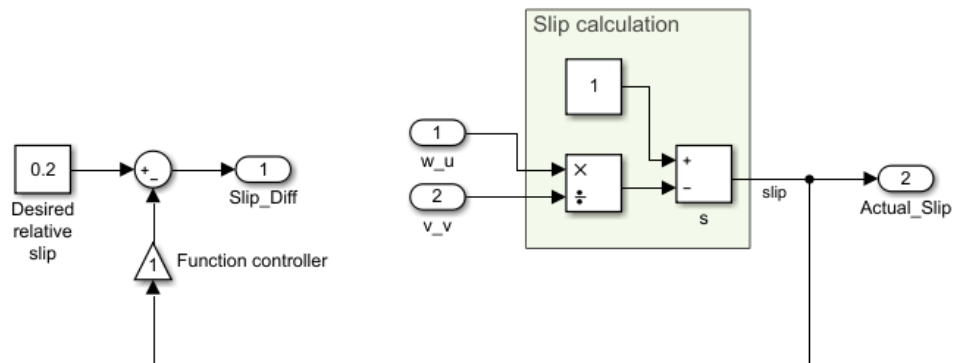
$$\mu = \frac{F_x}{F_z} \quad (3.14)$$

Model brzdění kola je vytvořen na základě předešlých matematických vztahů. Aby bylo zajištěno opatření proti blokování kol, model musí být doplněn o ABS jednotku. Ta bude zajišťuje na základě aktuálního skluzu regulaci brzdného tlaku. Tento model je zjednodušený na jedno kolo vozidla.



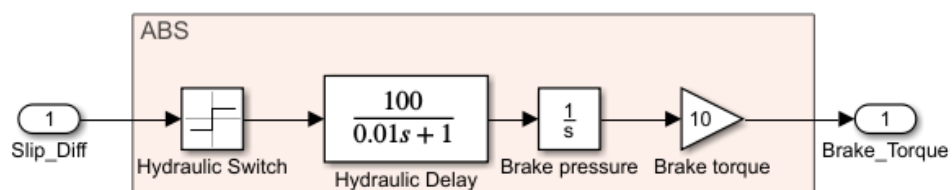
Obrázek 29 – Výpočet brzdění kola a jednotlivých rychlostí pro výpočet skluzu

Tento model je umístěn v subsystému *Vehicle_Dynamics*. Blok mu-slip friction curve představuje nelineární závislost součinitele tření μ na skluzu. Model ovládá pouze jedno kolo, proto je v bloku *Weight* celková váha automobilu vydělena čtyřmi. Na jedno kolo tedy připadá $\frac{1}{4}$ celkové váhy automobilu. Vynásobením brzdící síly F_x poloměrem kola lze získat moment na kole. Od tohoto momentu je odečítán brzdný moment, získaný z hydraulické jednotky ABS. Vstupy tohoto modelu jsou aktuální skluz a brzdný moment. Výstupem této části je brzdná dráha, úhlová rychlost kola a rychlost samotného vozidla.



Obrázek 30 - ECU ABS, výpočet skluzu a porovnání s požadovanou hodnotou

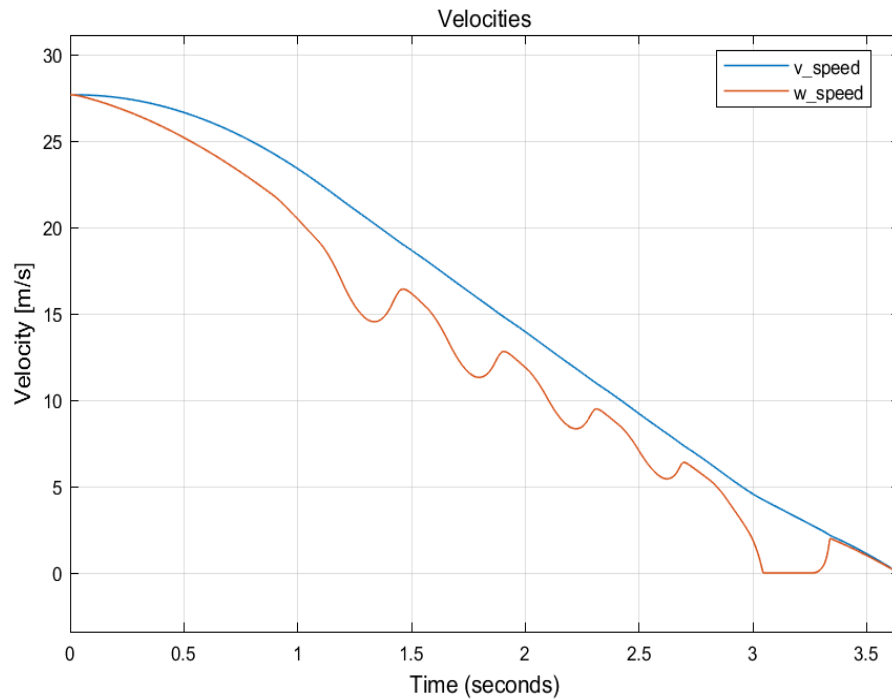
Další součástí modelu ABS je řídicí jednotka, která na základě rychlosti kola a vozidla vyhodnocuje skluz. Ze změřené hodnoty podélné rychlosti automobilu a úhlové rychlosti kola se vypočítá skluz. Skluz se porovnává s žádanou hodnotou, která se pohybuje v oblasti maximální adheze na suchém asfaltu. Je-li skluz větší, vzniká záporná regulační odchylka. Hydraulická jednotka snižuje tlak v brzdové soustavě. Pokud je skluz nižší, nastává kladná regulační odchylka a jednotka tlak zvyšuje. [10] Tento rozdíl je předáván hydraulické části, která obsahuje elektromagnetický ventil ve formě dvoustavového přepínače.



Obrázek 31 - Hydraulická jednotka ABS

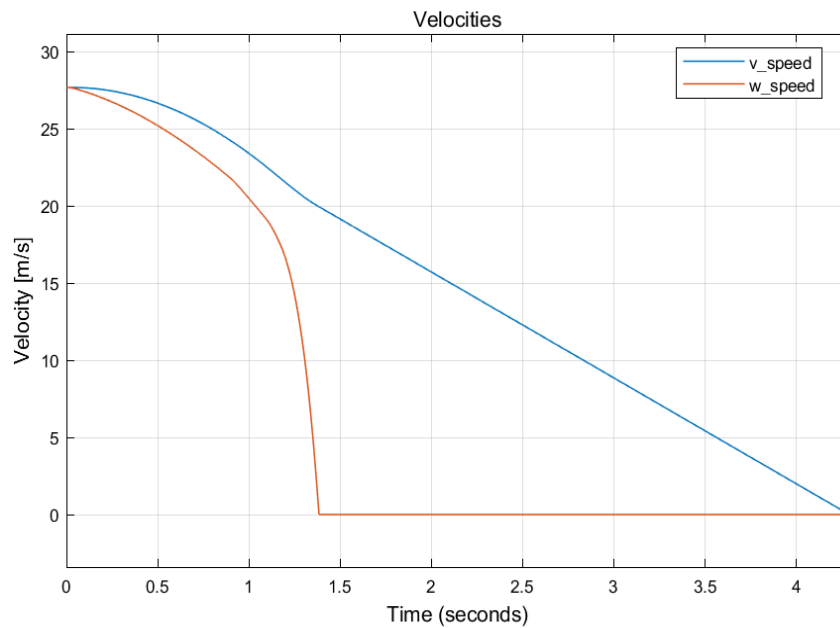
Subsystem hydraulické jednotky obsahuje vyhodnocovací člen tvořený blokem *Signum*. Signál dále pokračuje do setrvačného členu modelující zpoždění v hydraulickém systému. Integrací lze získat brzdný tlak a jeho následné vynásobení plochou pístků v třmenu a poloměrem kola vytvoří brzdný moment. Ten je výstupem, který posílán zpět do subsystému *Vehicle_Dynamics*. Simulace začíná v počáteční rychlosti $v_0 = 100\text{km/h} = 27,7\text{ms}^{-1}$. Po dosažení nulové rychlosti je simulace ukončena blokem *Stop Simulation*.

Na výsledném grafu je znázorněna modře rychlost vozidla a úhlová rychlost kola červeně. Od času cca 1,2s dochází k regulaci brzdného tlaku, to je znázorněno zvlněním průběhu rychlosti kola. Zpomalení vozidla se mírně urychlí díky udržování skluzu v oblasti maximální adheze.



Obrázek 32 - Průběh výsledných rychlostí s ABS

Následující simulace provedla výpočet znovu, tentokrát však s vypnutým protiblokovacím systémem. Jak lze vidět na obrázku 33, průběh rychlosti kola od času 1,5s klesá až do jeho zablokování. Kolo je zablokováno až do celkového zastavení automobilu.

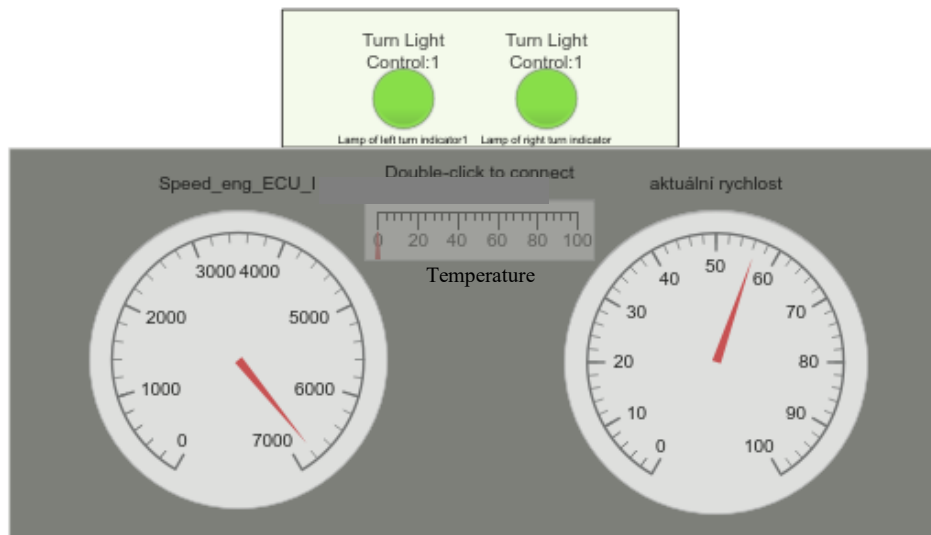


Obrázek 33 - Průběh brzdění bez ABS

K úplnému zastavení vozidla došlo o skoro celou sekundu později než v případě použití ABS.

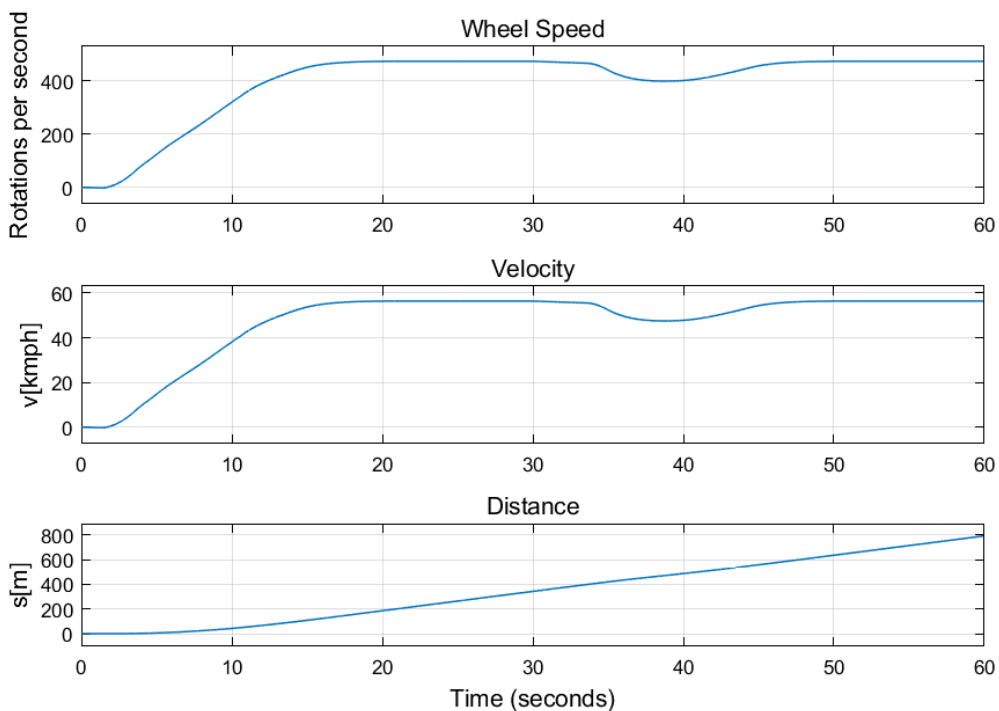
3.3 Zobrazení výsledků

Obsahem simulačního modelu také bývá grafická vizualizace naměřených dat. Podle potřeby navrhovatele jsou v knihovně Simulinku dostupné různé typy grafů nebo displejů. Pomocí základních prvků z knihovny *Dashboard* a vhodného nasměrování signálů je možné vytvořit přístrojovou desku automobilu.



Obrázek 34 - Přístrojová deska modulárního simulačního modelu

Doplněním přístrojové desky o výstupní signály modelu je možné získat rychlý přehled o stavu simulace. Takovéto vizuální prvky mohou sloužit pro snadnou kontrolu průběhu simulace např. v již zmiňovaném HIL testovacím zařízení

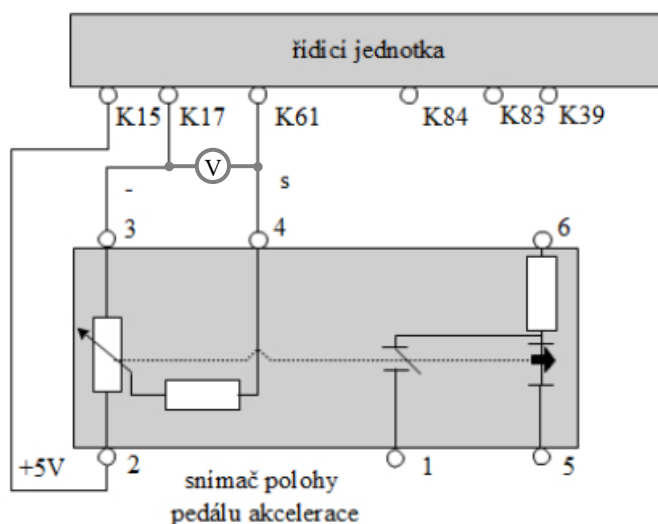


Obrázek 35 - výsledek simulace modulárního simulačního modelu

4. Praktická měření

4.1 Měření snímače pedálu akcelerace

Měření probíhalo na laboratorním modelu s elektronickým pedálem akcelerace. K měření bylo potřeba sériové diagnostiky a pro kontrolu multimetr. Elektronický plynový pedál je použit z automobilu Škoda Superb. Přiložením voltmetru mezi svorky snímače 3 a 4 bylo snímáno napětí na snímači.



Obrázek 36 - Zapojení pedálu v laboratorním modelu

Pomocí diagnostického programu VCDS byly odčítány aktuální hodnoty pozice pedálu a napětí snímače v řídicí jednotce motoru. Měření probíhalo od nulové polohy až do maximálního možného stlačení pedálu.

Tabulka 1 - Naměřené hodnoty na snímači polohy pedálu akcelerace

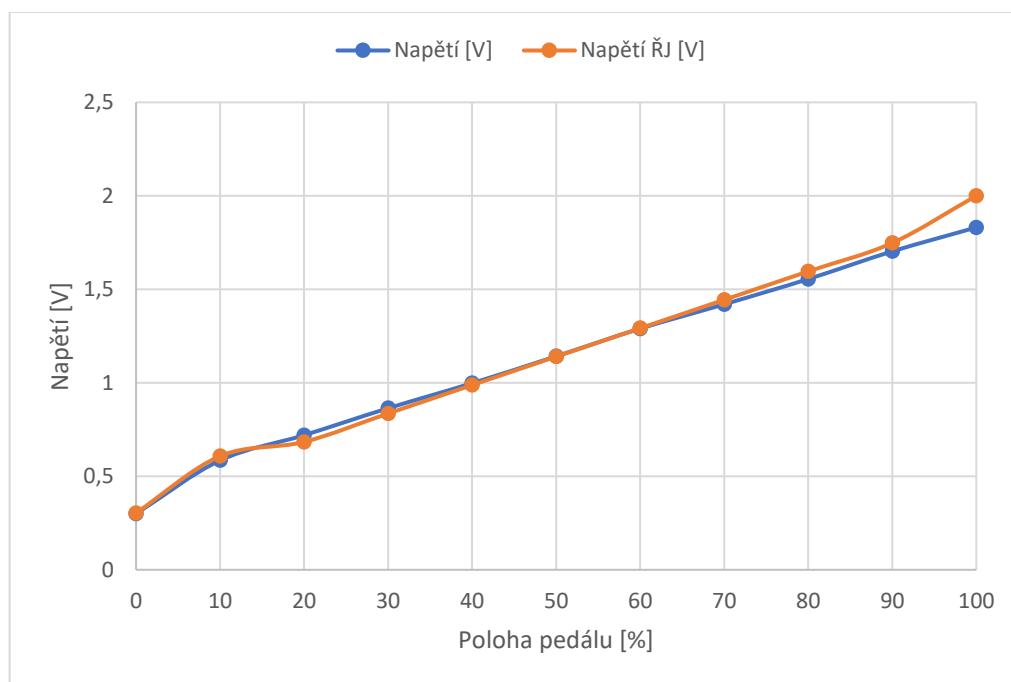
Poloha [%]	Napětí [V]	Napětí ŘJ [V]
0	0,3	0,304
10	0,585	0,608
20	0,72	0,684
30	0,864	0,836
40	0,998	0,988
50	1,142	1,14
60	1,29	1,292
70	1,42	1,444
80	1,555	1,596
90	1,703	1,748
100	1,831-2,487	2-2,5

Napětí nad 2,5 V řídicí jednotka vyhodnocovala jako chybu a nastavovala náhradní hodnotu polohy 0 %.

Tabulka 2 - Naměřené odpory potenciometru

Poloha	Napětí [V]	Odpor snímače [k Ω]
Uvolněný	0,3	0,954
Sešláp. na doraz	2,757	1,575

Ze získaného napětí a odporu je možné pomocí Ohmova zákona určit proud snímače. Naměřený proud se pohyboval v řádech mA. Odpor dráhy byl 986 Ω . Výsledná naměřená závislost napětí na poloze pedálu je téměř lineární.

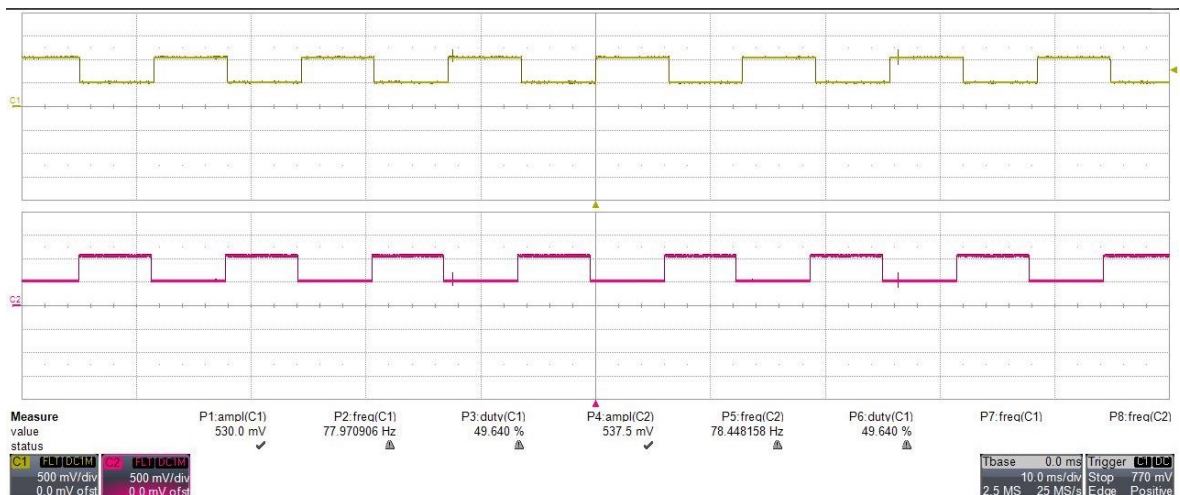


Obrázek 37 - Závislost napětí na poloze pedálu

4.2 Měření Hallova snímače otáček

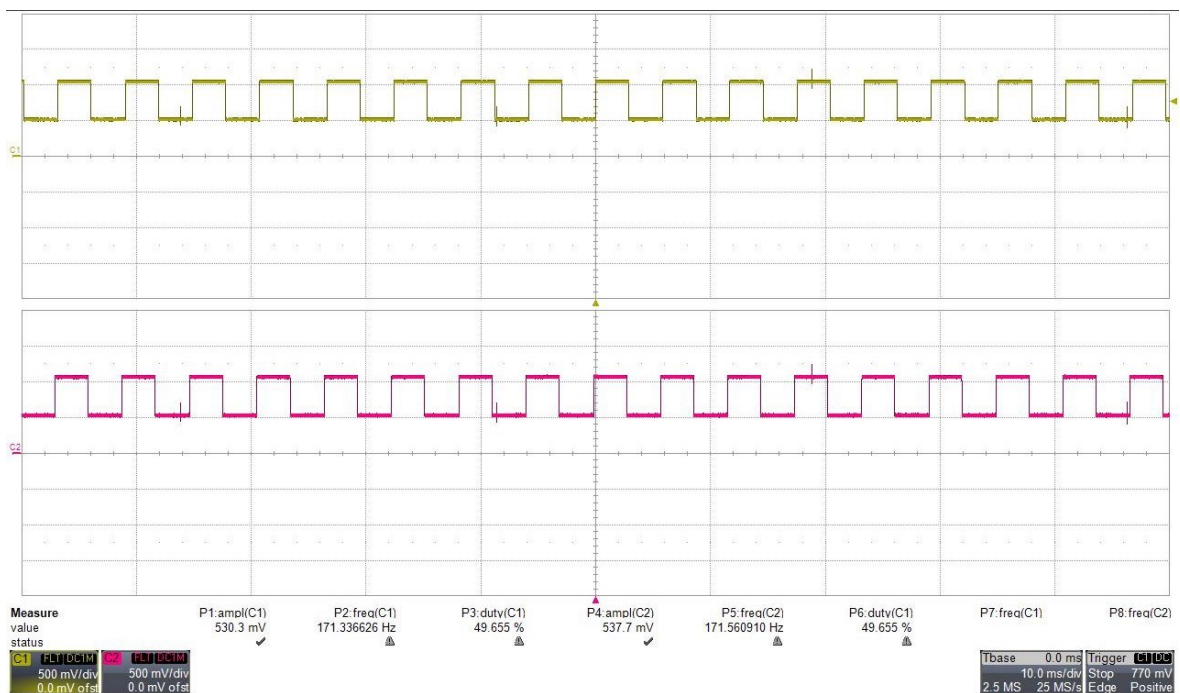
V této části se měřil signál Hallova snímače otáček v závislosti na rychlosti otáčení kol. Pro měření bylo využito osciloskopu a laboratorního automobil. Vozidlo se umístilo na zvedák tak, aby se kola nedotýkala země. Snímač je dvou vodičový. Jeden vodič je pro napájení, protože se jedná o aktivní snímač. Druhý vodič slouží pro vedení výstupního signálu do ŘJ motoru. Osciloskop je má připojený kanál mezi svorkou signálu snímače a kostrou.

Měření probíhalo na snímačích předních kol, při zařazeném prvním rychlostním stupni na volnoběh cca 10 km/h a následně při rychlosti 25 km/h. Jak můžeme vidět z obrázku 38, amplituda signálu dosahuje hodnoty 530 mV.



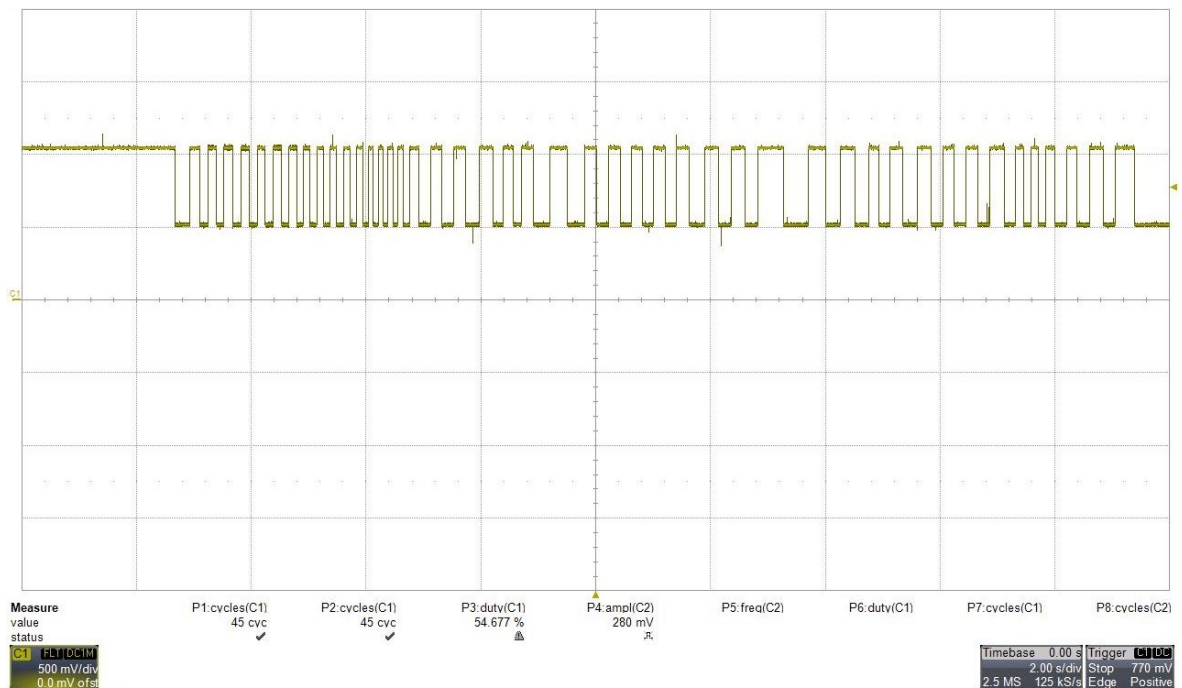
Obrázek 38 - Průběh signálu ze snímačů otáčení kol při rychlosti 10km/h

Při rychlosti 10 km/h má signál frekvenci 78 Hz. Rychlosti jednotlivých kol se od sebe trochu liší, nejspíše z důvodu nerovnoměrných ztrát v rotujících částech a diferenciálu. Při zvýšené rychlosti 25 km/h frekvence signálu vzrostla na 171 Hz a amplituda zůstala na 530 mV, jak ukazuje obrázek 39.



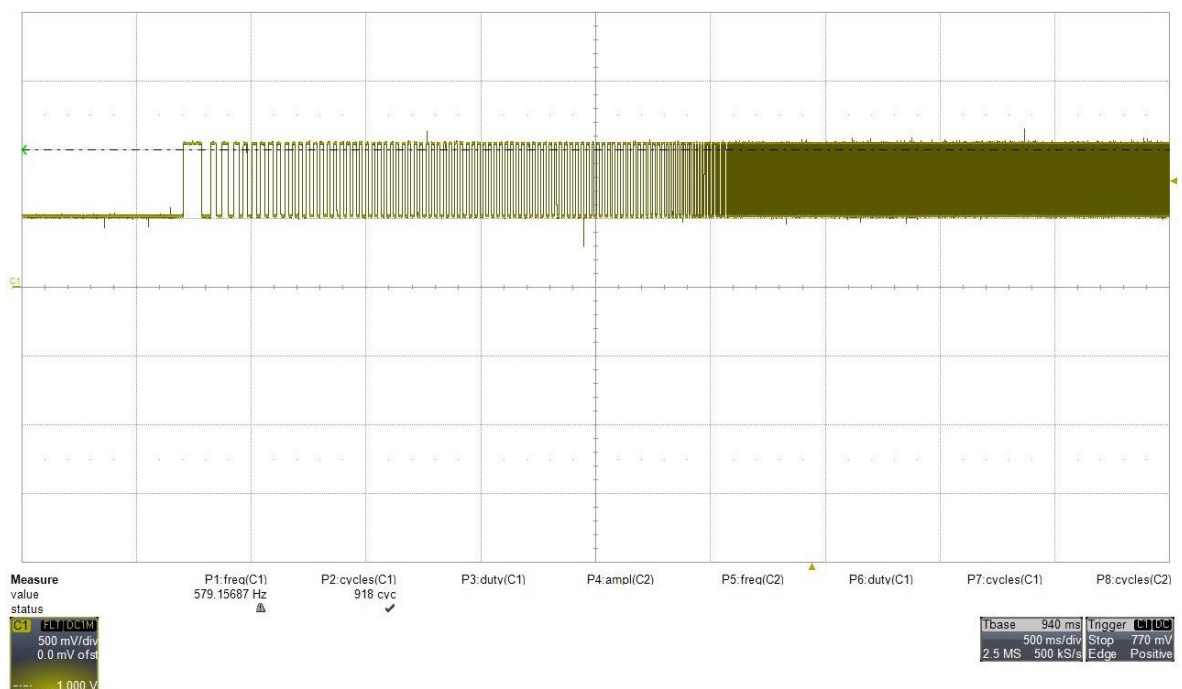
Obrázek 39 - Průběh signálu snímače otáček při 25km/h

V další části měření proběhlo ověření počtu „zubů“ impulsního kola (multipólového kroužku). Pro stanovení 1 otočení kola byla na pneumatiku umístěna značka. Ta slouží k rozeznání, v jaké poloze se kolo nachází od počátku měření. Další krok spočíval v nastavení triggerování osciloskopu na 20 vteřin. Za tuto dobu proběhlo jedno otočení kola. Tento test se opakoval 3x pro ověření a získání průměrného počtu pulzů.

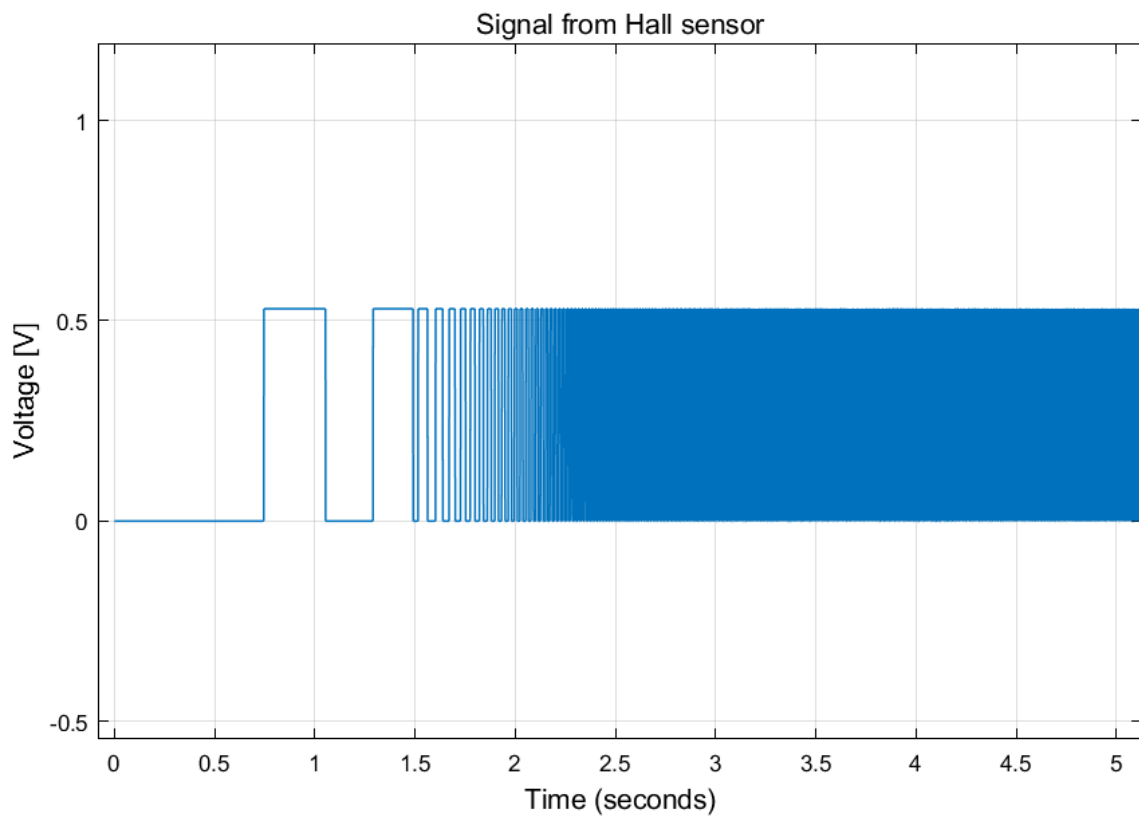


Obrázek 40 - Počet impulsů při otočení kola o jednu otáčku

Pomocí funkce zobrazení počtu cyklů osciloskop naměřil 45 pulzů + 1 počáteční. Při návrhu modelu snímače bylo zvoleno správné impulsní kolo. Průběh na obrázku 41 odpovídá rozjíždění vozidla z nulové rychlosti.



Obrázek 41 - Průběh signálu rozjíždějícího se kola



Obrázek 42 - Průběh signálu simulovaného snímače otáček při rozjezdu vozidla

Poslední dva obrázky jasně porovnávají signál naměřený na fyzickém vozidle a nasimulovaný signál z modelu. Tvar i amplituda odpovídá realitě, frekvence signálu záleží na nastavení simulace.

5. Závěr

Záměrem této bakalářské práce bylo seznámení se s používanými systémy řízení vozidla, pochopení jejich principů a vytvoření simulačních modelů. Práce spojuje různé oblasti elektroniky a mechaniky vozidla. Pro zpracování tohoto tématu bylo nutné mít přehled o principech systémů pro řízení vozidla, tak i o možnostech programu Matlab – Simulink.

V úvodu práce jsou rozebrány principy elektronického pedálu, brzdového systému, jejich snímačů a ABS. Teoretická rešerše slouží k obecnému přehledu těchto systémů. Jednoduše popisuje jejich funkci a možnosti použití.

Praktická část se zabývá vytvořením simulačních modelů. Ke správné konstrukci modelů je nutné třeba získat informace o vytvářených systémech, mít základní znalosti z oblasti fyziky a potřebné matematické rovnice. Jednotlivé modely jsou součástí modulárního simulačního systému, který bude v následujícím období rozšiřován za účelem využití v budoucím školním Hardware In the Loop simulačním zařízení.

Následné měření proběhlo na zkušebním vozidle k ověření funkčnosti modelů a porovnání naměřených dat. Naměřené hodnoty na snímači polohy pedálu a Halloových snímačích otáčení v celku odpovídají nasimulovaným datům. Modely se tedy jeví jako funkční.

Bibliografie

- [1] RIBBENS, William, Norman MANSOUR, Charles BATTLE, Edward JONES, Leslie MANSIR a Gerald LUECKE. *Understanding automotive electronics*. 5th ed. Boston: Newnes, 1998. ISBN 0750670088.
- [2] KIENCKE, Uwe a Lars NIELSEN. *Automotive control systems for engine, driveline, and vehicle*. 2nd ed. Berlin: Springer, 2005. ISBN 3-540-23139-0.
- [3] *Soudní inženýrství: Elektronické systémy vozidel* [online]. 2005, **2005**(4) [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-04-193-212.pdf>
- [4] Automobile-Electrical-System-Market.jpg. In: *Rednewswire* [online]. b.r. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.rednewswire.com/automobile-electrical-system-market-to-record-sturdy-growth-by-2025/>
- [5] ZEHNULA, Karel. *Snímače neelektrických veličin*. 2., upr. a dopl. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983. ISBN Nemá.
- [6] KRECL, Ing. Jaromír. *HIL simulace jako prostředek pro testování řídicích jednotek v automobilu* [online]. Mladá Boleslav, b.r. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/matlab03/krecl.pdf. VSCHT.
- [7] ZABLER, Erich. *Snímače v motorových vozidlech*. 1. české vyd. Přeložil Tomáš KAMPÁN. Praha: Robert Bosch odbytová, 2003. ISBN 80-903132-5-6.
- [8] MATTES, B. *Bezpečnostní a komfortní systémy*. 1. české vyd. Přeložil Ján PETERAJ. Praha: Robert Bosch odbytová, 2000. ISBN 80-902585-9-X.
- [9] *17604_Jednotka_ABS_1.jpg* [online]. In: . b.r. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://dieselpower.cz/forum/userpix/17604_Jednotka_ABS_1.jpg
- [10] NOSKIEVIČ, Petr. *Modelování a identifikace systémů*. 1999. Ostrava: Montanex, 1999. ISBN 80-7225-030-2.