

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická

Bakalářská práce

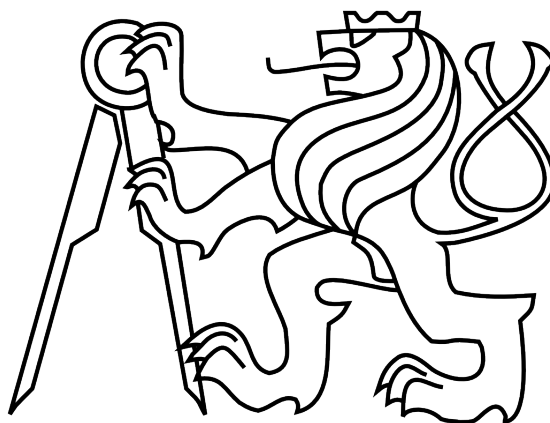
Květen 2012

David Uher

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra kybernetiky a robotiky



Bakalářská práce

Optimalizace režimu elektrické brzdy

Květen 2012

Vypracoval: David Uher

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Kocourek, CSc.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra kybernetiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: David Uher
Studijní program: Kybernetika a robotika (bakalářský)
Obor: Robotika
Název tématu: Optimalizace režimu elektrické brzdy

Pokyny pro vypracování:

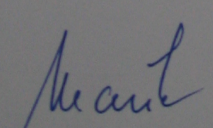
1. Provedte analýzu činnosti vozidlové brzdy řízené krokovým motorem.
2. Navrhněte a realizujte řízení krokového motoru v závislosti na proměnné přitlačné síle. Obecnou polohu přitlačného pístu vztahujte k jeho poloze při maximální přitlačné síle.
3. Výsledné řešení ověřte na testovací brzdové stolici.

Seznam odborné literatury:

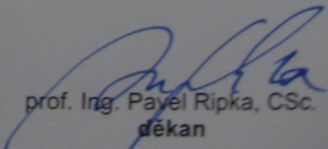
- [1] Horáček, P. - Fuka, J.: Systémy a modely. 1. vyd., Praha: ČVUT, 1996. 70 s.
ISBN 80-01-01431-2
[2] Vlček, F.: Asistenční a informační systémy motorových vozidel. ISBN 80-239-6462-3
[3] Vlček, F.: Podvozky motorových vozidel. ISBN 80-239-6464-X

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Petr Kocourek, CSc.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2012/2013


prof. Ing. Vladimír Mařík, DrSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Kocourkovi, CSc. a konzultantovi Ing. Petru Záleskému za cenné rady, připomínky a vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině a všem, kteří mě po dobu mé práce podporovali a fakultě elektrotechnické za umožnění práce v laboratoři na systému brzdné soustavy automobilu.

Prohlášení autora práce

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 14.5.2012

.....
Podpis autora práce

Anotace

V mojí práci jsem se zaměřil na analýzu činnosti dostupných elektronických brzdých systémů a na analýzu vozidlové brzdy řízené krokovým motorem. Analýza byla využita pro návrh a realizaci řízení krokového motoru v závislosti na proměnné přítlačné síle. Výsledné řešení bylo ověřováno na testovací brzdové stolici.

Summary

In my work I focused on analyzing the activities of available electronic braking systems and on analyzing of vehicle brakes controlled by stepper motor. The analysis was used to design and implement of stepper motors depending on the variable contact force. The resulting solution was verified on the brake test bench.

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Elektricky řízené brzdy	2
1.1.1	Elektromagnetický retardér	2
1.2	Elektromechanicky řízené brzdy	3
1.2.1	Elektronická klínová brzda	3
1.2.2	Elektronická parkovací brzda	4
1.3	Elektrohydraulicky řízené brzdy	5
1.3.1	Magnetoreologické brzdy	5
1.3.2	Elektrohydraulická brzdová soustava	5
1.4	Výpočet přítláčné síly v hydraulické kotoučové brzdě	6
2	Rozbor problematiky	7
3	Systém pro měření přítláčné síly	8
3.1	Tenzometrický snímač síly	8
3.2	Průmyslový zesilovač	9
3.3	Měření přítláčné síly	10
3.4	Ověření přítláčné síly motoru	16
4	Ovladač pro řízení motoru	18
4.1	Návrh	18
5	Výroba ovladače pro řízení motoru	25
5.1	Schéma	25
5.2	Pájení	26

6	Programování ovladače řízení motoru	27
6.1	Software	27
7	Testovací brzdová stolice	28
8	Závěr	31
	Seznam obrázků	32
	Literatura	33
	Přílohy	35

1 Úvod

Bakalářskou práci na téma optimalizace režimu elektrické brzdy jsem si vybral díky svému kladnému vztahu k automobilům, inovacím a touze o důkladnější poznání brzdných systémů automobilů.

V elektrickém řízení brzdných systémů vidím jistou budoucnost a většina již používaných elektrických systémů našlo velké uplatnění. Například nové Francouzské automobily využívají těchto systémů a jsou známy svou spolehlivostí. Z mé vlastní zkušenosti vím, že tyto prvky přispívají ke komfortu a pohodlí řidiče a svou funkcí pomáhají k celkové bezpečnosti vozu. Na začátku mé práce bylo pro mě připraveno několik důležitých součástí brzdného systému automobilu pro seznámení a rozmyšlení nejlepšího postupu řešení problému použití vozidlové brzdy řízené krokovým motorem.

Stávající provizorní ovládání krokového motoru se ukázalo jako nevyhovující, a proto bylo navrženo a v této práci vyrobeno ovládání nové, doplněné o nezbytné součásti, které napomohli k optimalizaci režimu elektrické brzdy řízené krokovým motorem. Několik prvků oproti stávajícímu ovládání je navrženo tak, aby umožňovali další rozšíření a možnosti ovládání pro pokračování v práci na celém systému brzdné soustavy. Důležitou součástí práce bylo také naprogramování a odladění nového ovládání pro přesné použití v brzdné soustavě.

K ověření výsledného řešení se na závěr brzdná soustava spolu s novým ovládáním upevnila na testovací brzdovou stolicí.

V této práci jsou občas používány anglické výrazy, a to nejenom termíny, které v českém jazyce nemají nebo pro ně neexistuje ekvivalent, ale i pro termíny, jejichž odborný překlad je málo rozšířen. Cílem je eliminovat případné nesrovnalosti umělým překladem termínů.

1.1 Elektricky řízené brzdy

Dále bych na úvod rád nastínil současný stav problematiky elektricky řízených brzdných systémů. Uvádím zde několik dostupných a používaných systémů, viz literatura [1] spolu s výpočtem přítláčné síly v hydraulickém systému kotoučové brzdy, viz literatura [2] které je v závěru kapitoly.

1.1.1 Elektromagnetický retardér

Elektromagnetický retardér pracuje na principu obdobném jako jiné brzdné systémy. Převádí pohybovou energii na tepelnou s tím rozdílem, že při jeho funkci nedochází k vzájemnému tření dvou materiálů, a proto nedochází k jejich opotřebovávání jako u klasických brzdných systémů.

Základem retardéru je časově proměnný magnetický tok procházející skrz otáčející se elektricky vodivý disk. Díky tomu se v disku indukují vířivé proudy, které vlivem vzájemného působení s magnetickou indukcí zpomalují otáčky disku.

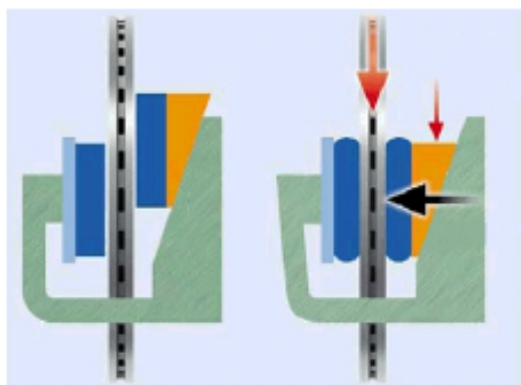


Obrázek 1.1: Elektromagnetický retardér, Lit. [1]

1.2 Elektromechanicky řízené brzdy

1.2.1 Elektronická klínová brzda

Elektronická klínová brzda využívá ke své funkci kovové klíny. Tyto klíny jsou pomocí elektromotoru vtlačovány mezi třmen a brzdové destičky. Při sešlápnutí brzdového pedálu dojde k aktivaci elektromotoru, který tlačí destičku s brzdovým obložním mezi třmen a kotouč.



Obrázek 1.2: Princip klínové brzdy, Lit. [1]

Otáčením kola je brzdová destička díky třecí síle ještě více tlačena na kotouč, takže čím větší otáčky má kolo vozu, tím více se zvyšuje brzdná síla vyvíjená na kotouč. Tímto způsobem se dá velmi snadno docílit relativně malým pohybem velké brzdné síly. Nesporná výhoda tohoto systému spočívá v absenci celých hydraulických rozvodů, čímž odpadá část váhy brzdného systému a samozřejmě klesají nároky na údržbu celého systému. Výhodou je i možnost elektronické realizace všech aktivních bezpečnostních systémů jako ABS, ESP, ESR apod.

Tento typ brzdného systému dokáže vyvinout mnohem větší brzdný účinek při menším množství dodané energie než je tomu u hydraulických systémů. Jelikož výrobci při výrobě uvádějí, že k provozu klínové brzdy bude stačit 12-ti V palubní síť vozidla, vidím v tomto systému budoucnost a troufám si říct, že se v blízké době bude běžně ve vozidlech využívat.

1.2.2 Elektronická parkovací brzda

Tento typ parkovací brzdy se již používá u většiny nově vyráběných vozů. Odstraněním klasické ruční páky vznikl větší prostor mezi sedadly pro jiné využití, například pro odkládací prostory. Elektronická parkovací brzda ovládaná pomocí jednoho tlačítka také jistě přispěla k pohodlí a komfortu řidiče. Příjemné jsou možnosti tohoto systému, kdy vozidlo po vypnutí motoru samo zajistí vůz parkovací brzdou nebo naopak se parkovací brzda při rozjezdu vozidla sama uvolní.

Z funkčního hlediska lze elektronické parkovací brzdy rozdělit na dva typy. První využívá centrální aktuátor, z něhož vyvedená lanka ovládají jednotlivé brzdové třmeny. Druhý se skládá z elektrického motoru a převodovky. Tento brzdový systém je umístěn přímo v brzdovém třmenu.



Obrázek 1.3: Elektronická parkovací brzda, Lit. [1]

Parkovací elektrická brzda je určena pro statické brzdy. Nelze ji použít pro dynamické aplikace, jelikož jako systém funguje pomalu. To je jeden z hlavních důvodů proč bylo rozhodnuto, že v této práci bude využit krokový motor.

1.3 Elektrohydraulicky řízené brzdy

1.3.1 Magnetoreologické brzdy

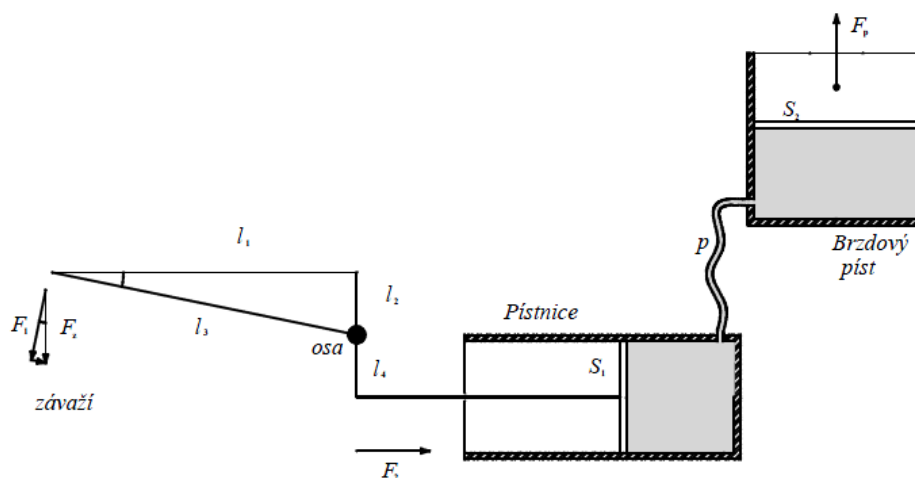
Jedná se o brzdu využívající magnetoreologický materiál. Je to suspenze složená z kapaliny, do které jsou přidána železná zrna. Využívá závislosti na složení suspenze a intenzitě magnetického pole. To znamená, že její viskozita se může měnit od viskozity vody po viskozitu téměř tuhého tělesa. Pokud není přítomno magnetické pole v oblasti suspenze, zrna jen náhodně plavou a suspenze má jen malou viskozitu. Je-li přiloženo magnetické pole, začnou se zrna formovat do řetězců a suspenze zvyšuje svoji viskozitu. Změna mikrostruktury suspenze trvá okolo 0,02 vteřin a spolu s viskozitou zvyšuje i pevnost ve smyku.

1.3.2 Elektrohydraulická brzdová soustava

V tomto velmi rozvinutém systému je používáno klasické hydraulické ovládání brzd automobilu, ale síla, kterou řidič vozu vyvíjí na brzdový pedál je převáděna na elektrický signál, který zpracovává řídicí jednotka vozu. Tlak v soustavě vzniká pomocí tlakového zásobníku a elektromotoru, který pohání hydraulické čerpadlo. Pomocí řídicí jednotky a tlakových modulátorů jsou nezávisle na sobě převáděny tlaky do jednotlivých brzd. Řídicí jednotka rozhoduje o velikosti tlaku nejen podle sešlápnutého pedálu, ale samozřejmě také bere v úvahu požadavky pomocných systémů ABS, ESP, ESR apod. Při případné špatné funkčnosti elektrohydraulické brzdy zajišťuje zastavení vozu ponechaný píst u brzdového pedálu, který je schopen vytvořit tlak pro přední nápravu vozu.

1.4 Výpočet přítláčné síly v hydraulické kotoučové brzdě

Při výpočtu vyjdeme ze vztahu rovnováhy sil na páce. Síly F_1 a F_z jsou ve stejném poměru jako l_1 a l_3 . Tento výpočet vychází z konkrétních hodnot hydraulického systému vozu Škoda Fabia. Při změně velikosti pístů a délky ramena páky podle konkrétního hydraulického pákového převodu se dá obecně výpočet využít pro zjištění přítláčné síly v hydraulické kotoučové brzdě.



Obrázek 1.4: Hydraulický pákový převod, Lit. [2]

$$l_3 = \sqrt{l_1^2 + l_2^2}$$

$$\frac{F_1}{F_z} = \frac{l_1}{l_3} \rightarrow F_1 = \frac{l_1}{l_3} \cdot F_z$$

$$F_1 \cdot l_3 = F_2 \cdot l_4 \rightarrow F_2 = \frac{F_1 \cdot l_3}{l_4}$$

$$S_1 = \pi \cdot r^2 = 2.84 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$S_2 = 8.04 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$\text{Tlak : } p = \frac{F_2}{S_1} = \frac{F_p}{S_2} \rightarrow F_p = \frac{S_2}{S_1} \cdot F_2$$

$$F_p = \frac{S_2}{S_1} \cdot \frac{l_1}{l_4} \cdot F_z = 21.7 \cdot F_z \text{ [N]}$$

2 Rozbor problematiky

Po rozboru stávajícího ovládání krokového motoru s jeho komponenty bylo rozhodnuto, že za toto provizorní ovládání bude vyrobeno ovládání nové. Provizorní ovládání ovládalo pulsy motoru pomocí otočného inkrementálního tlačítka, které nesplňovalo požadavky na ovládání motoru. Neobsahovalo žádnou možnost zobrazení údajů ani manipulaci s nimi. Celá koncepce provizorního ovládání byla navržena pro odzkoušení funkčnosti systému, ale novým podmínkám pro pokračování v práci na tomto elektrickém ovládání brzdového systému nepostačovala.

Řízení krokovým motorem do jisté míry fungovalo, ale postrádalo jakýkoli údaj o vyvíjené přítlačné síle na píst destiček. Bez údaje o vyvíjené přítlačné síle nebylo možné ani ověřit správné nastavení měniče motoru a hlavní otázkou se stala použitelnost takového typu krokového motoru pro řízení brzdového systému automobilu.

Jako nejlepší se ukázalo použít rozumnou metodu měření, která ověří schopnosti motoru vyvinout předpokládanou přítlačnou sílu.

3 Systém pro měření přítláčné síly

Na začátku mé práce, jak jsem již zmínil v předchozí kapitole, bylo potřeba vymyslet vhodnou úlohu měření pro ověření schopnosti motoru vyvinout odpovídající přítláčnou sílu na destičky kotoučového třmenu automobilu. Nejprve byl vybrán vhodný snímač pro měření přítláčné síly. V zásadě bylo požadováno, aby se snímač dal umístit mezi destičky brzdového třmenu automobilu a dokázal změřit předpokládanou hodnotu přítláčné síly. V podstatě tento snímač nahrazoval v brzdě soustavě kotouč tak, aby dokázal měřit přítláčnou sílu co nejpřesněji bez okolních vlivů.

3.1 Tenzometrický snímač síly

Pro měření přítláčné síly byl zvolen tenzometrický snímač síly U9B od firmy HBM - Hottinger Baldwin Messtechnik, viz literatura [3].

Miniaturní snímač U9B s měřícím rozsahem od 0 do 2kN, třídou přesnosti 0.5% a nelinearitou $< \pm 0.5\%$ byl, jak se ukázalo, dostačující a vhodnou volbou. Měření probíhalo v okolní teplotě, která je pro snímač referenční a chyba linearity vždy menší než $< \pm 0.5\%$ je u tohoto měření nepodstatná odchylka.

Snímač je konstruován pro měření statických a dynamických sil. Díky svým malým rozměrům je vhodný pro aplikace s nedostatkem prostoru. Snímač je určen do těžkých provozních podmínek a pro náročná měření. Je konstruován jako bezúdržbový, a proto může být montován i v těžko přístupných místech. Bývá nasazován např. v lisech jako strojní součást. Při dopravě a montáži je potřeba se snímačem zacházet šetrně, protože jde o velmi přesné a citlivé měřicí zařízení. Dle údajů výrobce snímač nesmí být ani krátkodobě přetížen.

Snímač U9B pracuje na principu tenzometrického můstku se čtyřvodičovým připojením. Tenzometr je součástí používaná k nepřímému měření mechanického napětí na povrchu součásti prostřednictvím měření její deformace.

Základ těla snímače jsou čtyři tenzometry, které jsou nalepené na membránu. Membrána

s tenzometry je pružně deformována silou působící ve směru měření. Tenzometr mění svůj odpor v závislosti na deformaci a dochází k nerovnováze můstku, který vytváří výstupní signál.



Obrázek 3.1: Můstek, Lit. [3]

3.2 Průmyslový zesilovač

Pro změření výstupního signálu snímače byl zvolen digitální multimetr HP 34401A s možností kompenzace offsetu. Nejprve bylo ovšem potřeba výstupní signál snímače zesílit. K tomuto účelu byl zvolen zesilovač CLIP AE 301 také od firmy HBM, viz literatura [4], který je výrobcem navržen a používán pro měření mechanických veličin jako je síla, hmotnost, moment a v našem případě nejdůležitější napětí.

Tento standardní jednokanálový zesilovač, jehož měřicí frekvence je 10 Hz, pracuje na tenzometrickém indukčnostním principu. Frekvence 10 Hz je maximální frekvence měřeného signálu kterou dokáže zesilovač přesně měřit. Signály s vyšší frekvencí bude měřit jako tlumené. Jednou z jeho největších výhod je, že může pracovat v potencionálně nebezpečných podmínkách, například v prostorech, kde hrozí potencionální výbuch.

Zesilovač je napájen 15-25 V DC - stejnosměrného napětí při 125 mA a jeho výstup byl připojen na již zmíněný zvolený multimetr HP.



Obrázek 3.2: Měřící zesilovač Clip AE301, Lit. [4]

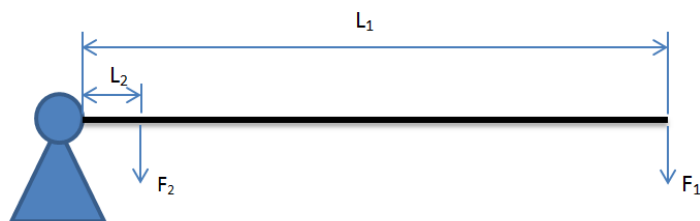
3.3 Měření přítlačné síly

Aby mohl být snímač síly spolu se zesilovačem použit pro ověření schopnosti motoru vyvinout předpokládanou přítlačnou sílu, bylo nejprve nutné provést kalibraci tohoto snímače, a to pomocí sestavení vhodného systému pro měření přítlačné síly. Kalibrace byla provedena změřením výstupních hodnot snímače pro různé uměle vyvinuté přítlačné síly.

Než se dostanu k samotnému měření a naměřeným hodnotám, rád bych zde nastínil několik příprav, které bylo nutné udělat k sestavení systému pro měření přítlačné síly. Celá následující část spolu se sestavením systému, který jsem pracovně nazval páka, se odehrávala v dílně fakulty elektrotechnické, kde nakonec došlo i k finální kalibraci snímače U9B měřením přítlačné síly.

Nejprve bylo nutné upravit snímač síly U9B. Pro něj byly vysoustruženy speciální podložky se závitem, které po našroubování na snímač z obou stran zaručily, že snímač stabilně stál ve svislé poloze a po dobu měření nebyl, pokud to bylo možné, namáhán jinou silou než přítlačnou.

Následně bylo provedeno sestavení celého systému. Předlohou pro tento systém bylo schéma jednoduché páky uvedené na obrázku 2.3.



Obrázek 3.3: Schéma páky

První částí sestavení byl speciální držák s možností upevnění k pevnému stolu. K držáku byl pohyblivě upevněn 2 m dlouhý profil, který v systému sloužil jako páka. Držák spolu s profilem byl navržen tak, že po připevnění ke stolu se mohl nastavit profil, aby byl mezi držákem ve svislé a profilem ve vodorovné poloze svírán pravý úhel. To vše díky pohyblivosti spojení držáku s profilem. Při tomto nastavení pravého úhlu byl systém od začátku navržen, aby prostor mezi profilem a stolem vycházel přesně podle velikosti snímače. Snímač byl umístěn v předem vypočtené vzdálenosti. Vzdálenost snímače od konce profilu byla vypočtena tak, aby při přidání zátěže na konec profilu sám profil vyvíjel přítláčnou sílu na snímač 10x větší než samotná zátěž. Díky tomuto rozvržení fungoval systém jako páka a dalo se na něm dosáhnout mnohem větších přítláčných sil, než je v lidských silách při použití samostatných závaží. Ukázka výsledného systému při měření je uvedena na obrázku 3.4



Obrázek 3.4: Páka

Samozřejmě samotný profil působil na snímač jako závaží a pro změření jeho hmotnosti v místě umístění snímače byla použita analogová svislá váha s háčkem. Tato váha byla taktéž využívána pro kontrolu hmotnosti používaných závaží a pro kontrolu hmotnosti celkové v místě měření přítláčné síly snímačem.

Takto sestavený systém pro měření přítláčné síly byl připraven pro kalibraci snímače.

Přítláčná síla při použití závaží byla vypočítána podle vzorce:

$$\vec{F} = m \cdot g [N]$$

m = hmotnost závaží [kg]

g = tíhové zrychlení [m/s^2]

$g = 9.81 [m/s^2]$

Seznam použitých přístrojů a pomůcek:

Laboratorní zdroj TYPE 229

Snímač HBM U9B

Zesilovač CLIP AE301

Digitální multimetr

Váha

Závaží 1,2,5,10 a 20 Kg

Páka

Naměřené hodnoty:

Přítlačná síla [N]	Naměřená hodnota napětí [V]																		
	0.0123	0.0127	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	0.0118	0.0119	0.0119	0.0119	0.0243	0.0243	0.0118	0.0118	0.0118	0.0118
4.91	0.0123	0.1127	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	0.0118	0.0119	0.0119	0.0119	0.0243	0.0243	0.0118	0.0118	0.0118	0.0118
9.81	0.0243	0.1127	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	0.0243	0.0242	0.0242	0.0242	0.0243	0.0243	0.0244	0.0244	0.0244	0.0243
19.62	0.0483	0.1127	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	0.0472	0.0476	0.0476	0.0476	0.0462	0.0485	0.0462	0.0485	0.0485	0.0479
49.05	0.1127	0.1127	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	0.1185	0.1103	0.1103	0.1103	0.1043	0.1105	0.1043	0.1105	0.1105	0.1026
98.10	0.2205	0.2224	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	0.2249	0.2254	0.2254	0.2254	0.2228	0.2244	0.2228	0.2244	0.2244	0.2239
147.15	0.3298	0.3279	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	0.3284	0.3291	0.3291	0.3291	0.3283	0.3281	0.3283	0.3281	0.3281	0.3271
264.87	0.6589	0.6587	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	0.6562	0.6538	0.6538	0.6538	0.6544	0.6537	0.6544	0.6537	0.6537	0.6565
362.97	0.9085	0.9113	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	0.9133	0.9116	0.9116	0.9116	0.9101	0.9151	0.9101	0.9151	0.9151	0.9148
461.07	1.1638	1.1656	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	1.1618	1.1631	1.1631	1.1631	1.1585	1.1645	1.1585	1.1645	1.1645	1.1538
559.17	1.3998	1.4080	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	1.4162	1.4104	1.4104	1.4104	1.3988	1.3945	1.3988	1.3945	1.3945	1.3972
755.37	1.8954	1.8902	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	1.8864	1.9057	1.9057	1.9057	1.8900	1.8994	1.8900	1.8994	1.8994	1.8982
951.57	2.3542	2.4069	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	2.3711	2.3524	2.3524	2.3524	2.3952	2.3841	2.3952	2.3841	2.3841	2.4033
1343.97	3.3156	3.3254	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	3.2658	3.2679	3.2679	3.2679	3.2856	3.3058	3.2856	3.3058	3.3058	3.3118
1736.37	4.2853	4.2915	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	4.3854	4.4005	4.4005	4.4005	4.4151	4.4325	4.4151	4.4325	4.4325	4.2998
2128.77	5.3950	5.4092	0.0483	0.0488	0.0468	0.0236	0.0120	0.0121	0.0123	5.4122	5.3600	5.3600	5.3600	5.4095	5.3995	5.4095	5.3995	5.3995	5.3482

Jak je vidět v tabulce, každá hodnota napětí při jednotlivých závažích byla měřena 10 krát, aby se zajistila co největší přesnost.

Pokud to bylo jen trochu možné bylo měření, přibližně do závaží 20 Kg, prováděno bez systému páky tak, že jednotlivá závaží byla přímo pokládána na snímač, aby docházelo k co nejmenší chybě měření.

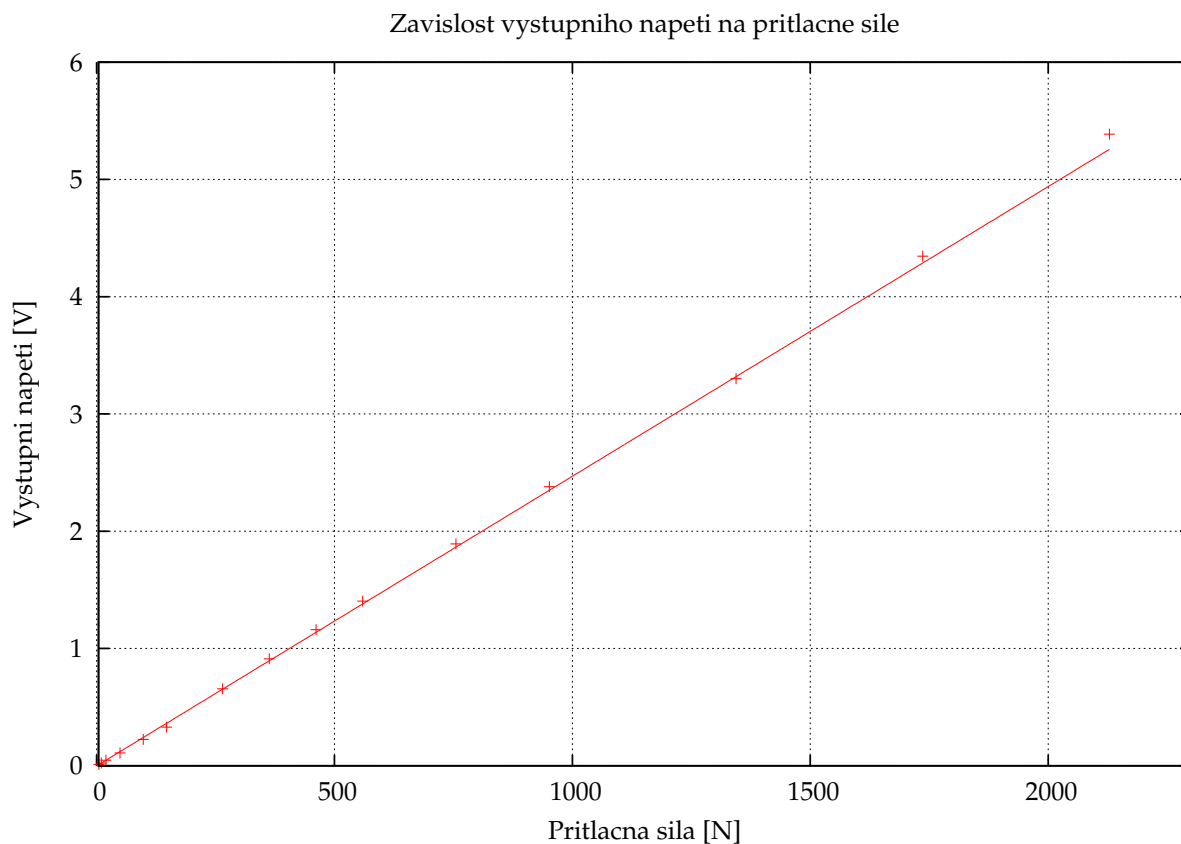
Vypočtené hodnoty a nejistoty měření:

Viz literatura [5]. Uvádím příklad výpočtu a vypočtené hodnoty v tabulce.

$$\begin{aligned}\bar{U} (9.81N) &= \frac{\sum_{i=1}^{10} U_i}{10} = \underline{\underline{0.02407V}} \\ u_A (U) &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}{n(n-1)}} = \underline{\underline{0.00008V}} \\ u_B (U) &= \frac{0.0001}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{0.000058V}} \\ u_c (U) &= \sqrt{u_A^2 (U) + u_B^2 (U)} = \underline{\underline{0.0001V}} \\ U (9.81N) &= (0.02407 \pm 0.0001) V\end{aligned}$$

Přítláčná síla [N]	Vypočítaná hodnota napětí [V]
4.91	0.01200 ± 0.00008
9.81	0.02407 ± 0.00010
19.62	0.04773 ± 0.00029
49.05	0.10876 ± 0.00192
98.10	0.22421 ± 0.00047
147.15	0.32892 ± 0.00047
264.87	0.65629 ± 0.00059
362.97	0.91132 ± 0.00099
461.07	1.16003 ± 0.00150
559.17	1.40408 ± 0.00240
755.37	1.89256 ± 0.00233
951.57	2.37927 ± 0.00586
1343.97	3.30139 ± 0.01180
1736.37	4.34594 ± 0.01982
2128.77	5.38656 ± 0.00712

Graf:



Potvrzení linearity převodní charakteristiky senzoru:

Převodní charakteristika, viz graf byla aproximována polynomem 1. řádu - přímkou. Výsledná rovnice této přímky je

$$y(x) = 0.00247x - 0.00069$$

Výpočet chyby linearity byl proveden na posledních dvou bodech charakteristiky, které vykazovaly největší odchylku od aproximované přímky.

$$\delta_x = \left(\frac{X_N - X_L}{X_{MAX} - X_{MIN}} \right)_{MAX} \cdot 100[\%]$$

Dosažením posledního bodu vychází chyba linearity $5.84 \cdot 10^{-3}\%$. U posledního bodu je třeba vzít v úvahu skutečnost, že se tento bod nachází mimo pracovní rozsah snímače. Proto byla vypočtena chyba linearity i pro předposlední bod charakteristiky $2.63 \cdot 10^{-3}\%$. Tato chyba je zanedbatelná tudíž převodní charakteristiku považujeme za lineární.

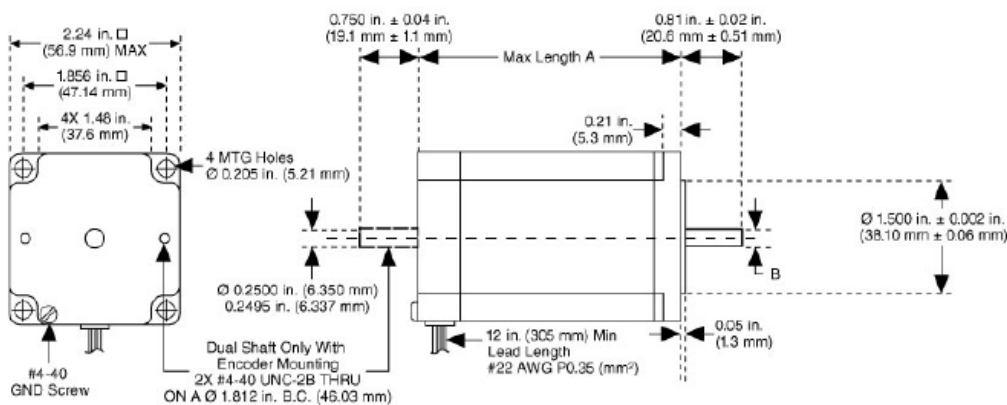
Závěr měření:

V tomto měření byl splněn hlavní úkol kalibrace snímače U9B, který bude v další práci používán pro ověření schopnosti motoru vyvinout předpokládanou přítláčnou sílu. V podstatě šlo o měření výstupní veličiny nebo-li výstupního napětí zesilovače, z něhož jsem určil kalibrační přepočít, jaké napětí na výstupu zesilovače odpovídá určité síle vyvinuté na snímač.

Výsledkem měření je připravená informace pro další práci. Například při působení přítláčné síly 10 N na snímač je výstupní napětí snímače $0.02407 \pm 0.0001V$. Výsledkem je také konstanta 0.02407, která je konstantou pro převod výstupní hodnoty snímače.

3.4 Ověření přítláčné síly motoru

Díky dostupnosti byl i přes jeho nevhodnost pro tuto aplikaci vybrán krokový motor řady 87000 - krokový aktuátor - NEMA 34 od firmy Haydon switch & instruments, viz literatura [6].



Obrázek 3.5: Motor, Lit. [6]

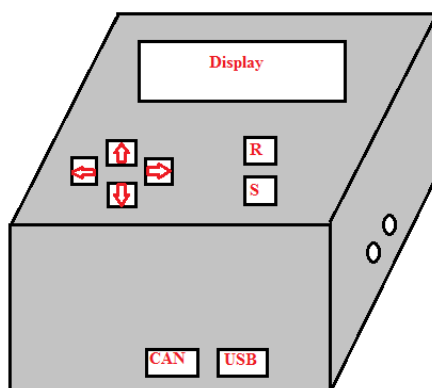
Tento krokový motor poskytuje velmi přesnou a efektivní kontrolu pohybu. Motor je jednoduchý na ovládání a nevyžaduje složité zpětné vazby řízení. Poskytuje optimální výkon a snadnou konektivitu s ostatními zařízeními. Vyznačuje se čtyřvodičovým zapojením, tedy bipolárním. Krok úhlu je 1.8 stupňů a kroků na otáčku je 200. Motor pracuje s úhlovou přesností $< \pm 3\%$.

Pro ověření schopnosti motoru vyvinout předpokládanou přítláčnou sílu byl snímač U9B umístěn mezi destičky brzdového třmenu automobilu, viz obrázek 2.4 a za pomoci původního ovládání krokového motoru bylo zjištěno, že přítláčná síla kterou motor na destičky dokáže vyvinout je přibližně 1800 N. To je pro tuto aplikaci více než dostačující.



Obrázek 3.6: Třmen se snímačem

4 Ovladač pro řízení motoru



Obrázek 4.1: Ovladač

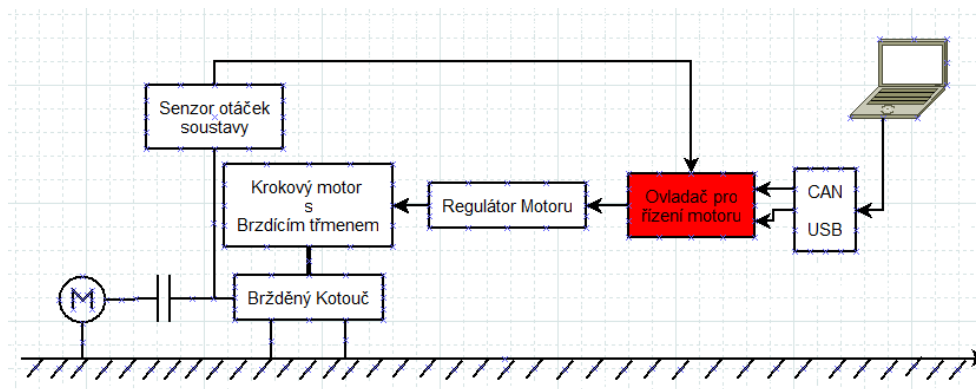
4.1 Návrh

1. K čemu bude zařízení sloužit

Zařízení bude sloužit k ovládání krokového motoru, který je připevněn na třmenu kotoučové brzdy. Krokový motor se šroubovicí zakončen pístkem vyvíjí přítlakovou sílu na píst destiček, které svým přítlakem brzdí kotouč. Zařízením bude možné dosáhnout zvoleného brzdného účinku, spolu s aktuálním zobrazením otáček brzdné soustavy. Bude zajišťovat optimalizaci brzdného algoritmu, díky možnosti nastavení režimů kroků motoru, dosáhnutí zvoleného brzdného účinku a ovládání zvenčí.

2. Vlastnosti zařízení

Brzdná soustava



Obrázek 4.2: Brzdná soustava

Ovladač pro řízení motoru

Napájení

- pomocí externího síťového adaptéru 12 V + lineární stabilizace na 5 V a 3.3 V

Ovládání

Ovládání zařízení pomocí šesti tlačítek. Pomocí dvou červených tlačítek bude možné přepínat mezi ručním a automatickým režimem ovládání motoru. Další čtyři tlačítka v klasickém kříži, kde tzv. tlačítka nahoru a dolů budou nastavovat požadovaný brzdny účinek nebo-li rychlost otáčení motoru. Tlačítka vpravo a vlevo budou v ručním režimu ovládání motoru posílat pomocí stisku tlačítka pulsy do motoru pro jeho otáčení. V automatickém režimu ovládání motoru bude možné pomocí tlačítek nahoru a dolů nastavit požadovanou hodnotu otáček brzděného kola, zobrazenou na displeji, kterou má motor pomocí automatického brzdění kola nastavit. Opakovaným stiskem tlačítka pro manuální ovládání bude možné postupně po každém stisku nastavit systému manuální režim(1 stisk), požadovanou rychlost motoru(2 stisk), kroky pouštěné do motoru na jeden stisk tlačítka(3 stisk) a předpřipravení požadované rychlosti pro automatický režim(4 stisk).

Dále ovládání pomocí počítače přes přídatné rozhraní typu CAN a USB.

Regulátor motoru

Koncový stupeň - modul 6410 od firmy Microcon, viz literatura [7], který přeměňuje vstupní pulsy a směr na proudy ve vinutí motoru za účelem ovládní dvojfázového krokového motoru.

Jeho hlavními vlastnostmi jsou mikrokrokování a kompenzace nestability ve středním pásmu pro vysoké rozlišení a hladký provoz v nízkých rychlostech i v oblasti rezonance.

Výstupní proud modulu 6410 lze volit pomocí jumperů přepínače. Od efektivní hodnoty 5 A, která má maximální hodnotu 7,1 A v režimu mikrokrokování do efektivní hodnoty 0.625 A, která má maximální hodnotu 0.88 A v režimu mikrokrokování.

Napájení modulu se může pohybovat v mezích od 24 do 75 V. Je určen pro použití s krokovými motory, takže je pro naše ovládní motoru nejvhodnější.

Modul 6410 je modul s pulsní regulací proudu s bipolárním napájením motoru. Patentovaná čtyřfázová PWM (modulace šířky impulsů) střídání elektroniky ovládá proudy vinutí motoru při frekvenci 20 kHz.

Modul obsahuje i pomocné obvody pro ochranu před zkratem. Tyto obvody fungují standardně tak, že vyřadí modul z provozu, pokud dojde na výstupu motoru ke zkratu. Modul se musí resetovat pro opětovnou funkčnost.

Uživatel má možnost pomocí zasunovacích jumperů měnit proud v motoru. Tyto jumperky nastavují fázový proud motoru na efektivní hodnotu 5.0; 4.375; 3.75; 3.125; 2.5; 1.875; 1.25 nebo 0.625 A.

Krokový motor

- Již zmíněný krokový aktuátor NEMA 34, viz literatura [6].

Senzor otáček brzděné soustavy

- snímač otáček ABS OCT
- z vozu Škoda Fabia
- napájení ze zdroje +12 V
- výstupní meze 7 - 14 mA

Interface

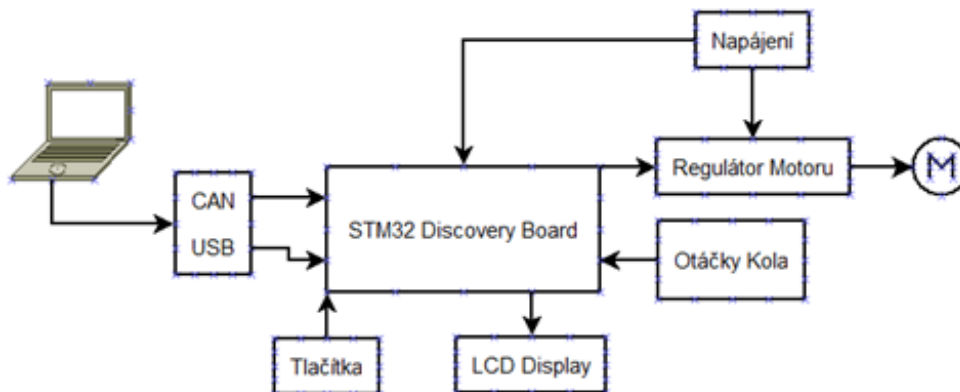
- sběrnice CAN a USB

CAN : umožňuje obsluhovat krokový motor

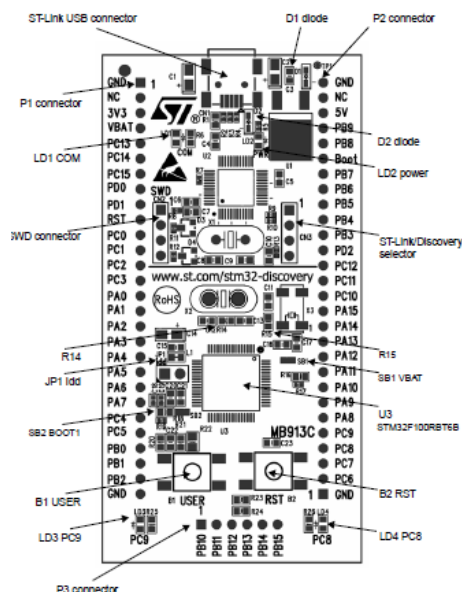
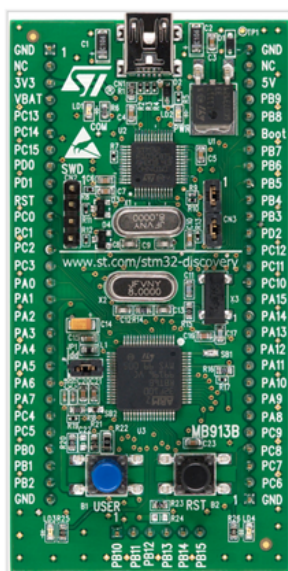
USB : umožňuje ladění a ovládání zařízení z externího systému

Skříňka

- vše umístěno ve skříňce 190x140x70 mm a všechny součástky včetně vývojové desky zapájeny na univerzální vrtaný plošný spoj o velikosti 100x160 mm

3. Blokové schéma zařízení

Obrázek 4.3: Blokové schéma

4. STM32 vývojová deska

Obrázek 4.4: STM32 Vývojová deska, Lit. [8]

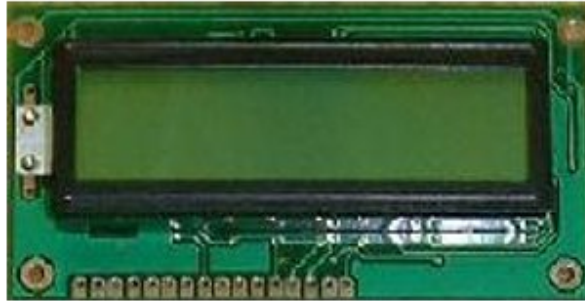
- STM32F100RBT6B mikrokontrolér, 128 Kb Flash, 8 Kb RAM v 64 - pinovém LQFP
- SWD konektor pro programování a ladění
- 2 červené LED diody, 1 žlutá a modrá
- podporované periferie : časovače, ADC, SPIs, I2Cs, USART a DACs
- 7 - kanálový DMA řadič
- určeno pro napájení přes USB konektor nebo externí napájení 5 V a 3.3 V
- 2 tlačítka (uživatelské a reset)

Vývojový kit STM32 od firmy ST Microelectronic, viz literatura [8], je řada kitů po STM8 osazená 32bitovým ARM mikrokontrolérem z řady Value Line. Value Line je sada procesorů pro aplikace s požadavkem na nízkou cenu procesorů. Mikrokontrolér je založen na jádře ARM Cortex - M3, taktovaném na 24 MHz.

Tento vývojový kit je levný, dobře zpracovaný, zastupuje programátor i debugger, ale má i své drobné nedostatky.

Kit se skládá ze dvou částí. Horní část kitu nazvána ST-Link obsahuje ARM čip STM32F103C8T6 a dolní část kitu je vlastní Value Line mikrořadič typu STM32F100RBT6. Na rozdíl od STM8S se části nedají od sebe oddělit. Po obou delších stranách má kit 2x 28 pinů a na spodní kratší straně ještě dalších 6 pinů. Na mém vývojovém kitu byl mikrořadič typu STM32F100RBT6 odpájen a zaměněn za mikrořadič typu STM32F103RB. Mikrořadič F103 má podobné parametry jako F100, ale navíc obsahuje podporu periférií CAN a USB. Důvod záměny byl právě pro tyto periferie, které ve svém zařízení potřebuji využívat. Kit obsahuje 4 LED diody z nichž 2 slouží pro ST-Link část, kde 1 signalizuje napájení z USB konektoru a druhá ke komunikaci prostřednictvím SWD. Další 2 diody žlutá a modrá jsou uživatelské.

Rád bych zde uvedl tři z dostupných programovacích prostředí mezi nimiž jsem sám vybíral. První z nich je AttoIc TrueStudio. Druhý například Keil MDK-ARM a poslední, který jsem nakonec zvolil pro programování je IAR Embedded Workbench for ARM.

Displej

Obrázek 4.5: Displej, Lit. [9]

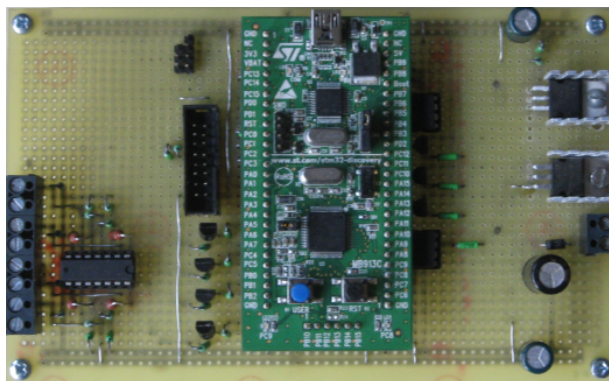
- znakový LCD displej, viz literatura [9]
- velikost 84x44x12 mm
- zobrazení aktuálních otáček kola
- zobrazení žádaného režimu
- zobrazení požadovaných otáček kola
- zobrazení automatického nebo manuálního ovládání
- typ podsvícení: LED podsvětlovací pole
- barva podsvícení: žluto-zelená
- LCD panel: typ STN (modrá na bílé, kontrast 2 až 4)
- pracovní teplota: -20 / + 70 st.C.
- znaková sada: základní (anglická abeceda)

5 Výroba ovladače pro řízení motoru

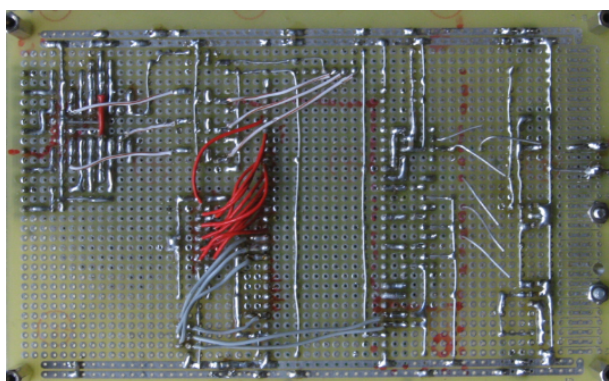
5.1 Schéma

K vytvoření kompletního schéma zařízení byl použit editor plošných spojů EAGLE 6.1.0. Eagle je přehledný a spolehlivý nástroj pro návrh desek plošných spojů. Je dostupný ve volně šiřitelné verzi pod označením Eagle Light. Tuto verzi jsem ke své práci použil já. Tato verze je omezena použitelnou plochou desky na 100 x 80 mm, mohou být použity jen dvě signálové vrstvy spojů a editor schématu může vytvořit schéma pouze na jednom listu. Tyto omezení nijak nebránily mé práci, jelikož jsem použil univerzální plošný spoj. Pokud by bylo potřeba navrhnout pro zařízení tištěný spoj, pravděpodobně bych využil licencovanou verzi Professional, která neobsahuje omezení použitelné plochy desky, ani jiné. Všechny použité součástky byly zakoupeny u firmy GM electronic. Byly vybrány z katalogu, který je dostupný na stránkách <http://www.gme.cz>. Kompletní seznam součástek spolu se schématem je umístěn v příloze. Celý projekt vytvořený v programu Eagle je součástí přiloženého CD.

5.2 Pájení



Obrázek 5.1: Vrchní strana plošného spoje



Obrázek 5.2: Spodní strana plošného spoje

Univerzální plošný spoj, jak je vidět na obrázku, je deska s již předvrtanými otvory a cínovými ostrůvky různých tvarů. Součástky se na univerzální spoj pájí stejně jako na běžný plošný spoj. Vodivé cesty se vytvářejí spojením ostrůvků pájkou nebo drátovou propojkou, je-li to nutné. Univerzální plošný spoj byl vybrán jako vhodný pro první realizaci ovladače motoru. Vhodný hlavně z důvodů jednoduchého doplnění nebo odebrání součástek či jejich spojů v průběhu vytváření plošného spoje nebo při jeho samotné funkci. Univerzální ostrůvky vydrží i několik přepájení součástek či spojů. Samozřejmě spoj je možné při neopatrném opakování tohoto procesu poškodit a o ostrůvky přijít.

6 Programování ovladače řízení motoru

6.1 Software

Jako software jsem zvolil pro programování IAR Embeddedd Workbench for ARM. IAR Embeddedd Workbench je přední světový C/C++ kompilátor a debugger. Je to nástroj pro aplikace založené na 8-, 16-, a 32-bitových mikrokontrolérech. Samotný software je podporován několika licencemi a verzemi které je možné stáhnout a zakoupit na stránkách <http://www.iar.com>. Já jsem využíval poslední dostupnou verzi IAR Embedded Workbench for ARM 6.30.7.3447 s licencí Kickstart. Tato licence je volně ke stažení a je omezena velikostí psaného kódu na 16 KB. To je pro studentské a domácí využití dle mne dostačující.

Při programování jsem využíval příklady, které program IAR nabízí a ze kterých jsem vycházel a také s některých dostupných knihoven pro ovládání periferií.

Spolu se samotným ovládáním motoru se podařilo naprogramovat i aktuální zobrazení otáček z již zmíněného senzoru ABS. Aktuální hodnota otáček je využívána pomocí kroků motoru pro nastavení požadovaného brzdného účinku.

Při spuštění automatického režimu pro nastavení požadovaného brzdného účinku nebo-li požadovaných otáček kola systém vyhodnocuje regulační odchylku. Od aktuální hodnoty odečte požadovanou hodnotu otáček. Výslednou regulační odchylku vyhodnocuje do tří stavů. Podle velikosti regulační odchylky systém vybere jeden ze stavů, kde vybraný stav ovlivňuje počet kroků, které motor vykoná. To znamená, že motor se pomocí tohoto tří stavového regulátoru snaží docílit požadovaných otáček kola. Celý kód pro mikroprocesor je možné najít na CD přiloženém k práci.

7 Testovací brzdová stoliice

Nové ovládání, které je na obrázku 7.1 s celým řešením bylo odzkoušeno na testovací brzdové stoliici obrázek 7.2 a 7.3.

Ovládání funguje spolehlivě a vykonává požadované funkce dle požadavků. Zobrazení údajů na displeji je dostatečně rychlé a pro orientaci v ovládání je dostačující. Nicméně pokud budu v práci na zařízení pokračovat pravděpodobně displej nahradím za větší. Prostoru na skříňce je dostatek a umožním tím nejen úhlednější výpis informací, ale i případné rozšíření zobrazených údajů, pokud to bude nutné. Možnost přednastavení požadovaných otáček kola před samotným spuštěním automatického režimu se ukázalo jako dobrá volba. Systém tak hezky demonstruje funkci tří stavů regulátoru. Nastavování požadovaných otáček kola při spuštěném automatickém režimu je samozřejmě možné, ale tlačítkem krátkodobě nedocílíme velké regulační odchylky a proto systém v podstatě vyhodnocuje pouze jeden stav a demonstrace regulování na požadovanou hodnotu otáček není tak zjevná.



Obrázek 7.1: Nové ovládání

Testovací brzdová stolice umožnila odzkoušení řešení ovládání brzdné soustavy pomocí krokového motoru. Původní hydraulické brzdící prvky spolu s původním brzdovým třmenem byli odstraněny. Na brzdový kotouč byl připevněn náš speciálně upravený brzdový třmen. Upravený pro snadné připevnění krokového motoru se šroubovicí a pístem jak je vidět na obrázku 7.2. Poloosa s brzdovým kotoučem je roztáčena 4 KW motorem siemens.

Testováním bylo ověřeno, že krokový motor je při správném nastavení a napájení měniče skutečně schopen v podstatě při jakýchkoli otáčkách brzdového kotouče schopen téměř okamžitě vyvíjenou přítláčnou silou na destičky brzdového třmenu brzdový kotouč zablokovat. Přítláčnou sílu by bylo možné zvětšit navržením vhodné převodovky pro krokový motor. Ovšem, jak již bylo v této práci dokázáno, pomocí měření přítláčné síly, tento typ krokového motoru i v praxi při testování na stoličce dokázal, že vyvíjená síla je pro naši aplikaci dostačující.

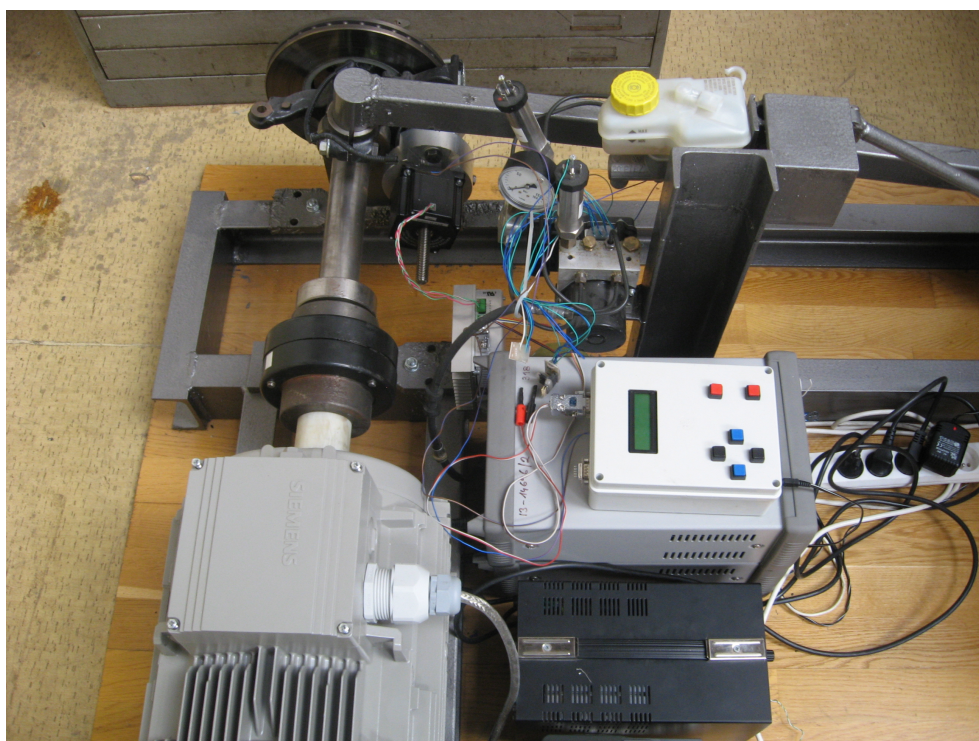
Testované brždění se po chvíli projevovalo zahřívajícím se brzdovým kotoučem a zápachem vznikajícím při tření stejně jako je tomu u hydraulického ovládání brzdového systému. Zvláště při dlouhodobějším brždění kotouče na místě v laboratoři by bylo vhodné použít chlazení. Při tomto namáhání bych například jako chlazení použil větrák umístěný v blízkosti kotouče, který by proudem vzduchu alespoň částečně kotouč chladil.

Testování na brzdové stoličce odhalilo několik nepřesností v softwaru, které byly postupně odstraněny. Výrazným způsobem testování na brzdové stoličce dopomohlo k vyladění chyb softwaru, které nebylo možné odhalit při odladování kódu za pomoci generátoru nebo při ovládání motoru bez brzdového třmenu.

Testování také ukázalo, že řešení regulace je v současném stavu funkční, ale regulace při velké regulační odchylce je provázena velkými překmity a doba ustálení systému na požadované hodnotě je vysoká. To vychází z principu navrženého tří stavového regulátoru, který je navržen v podstatě podle samotného chování systému a tyto věci nebyli v dosavadní práci uvažovány. Regulaci nepříznivě ovlivňuje mírné házení otáčejícího se kotouče. V určité chvíli toto házení může ovlivňovat docílení požadovaných otáček. Pokračování práce by mohlo zahrnovat výpis chování systému po sériové lince, například v podobě grafů ve kterých by bylo možné vidět chování systému při regulaci a systém identifikovat. Za pomoci identifikace systému následně navrhnout vhodné regulátory s požadovanou přesností a dobou ustálení. Ovládání je připraveno pro připojení všech čtyřech senzorů ABS a proto by nebyl problém simulovat řízení všech kol vozidla.



Obrázek 7.2: Testovací brzdová stolice



Obrázek 7.3: Testovací brzdová stolice

8 Závěr

Hlavní cíle práce byly ověřeny schopnosti krokového motoru vyvinout potřebnou přítlačnou sílu pro jeho použití k ovládání kotoučové brzdy automobilu. Dále kompletní navrhnutí spolu s realizací nového ovládání krokového motoru a za pomoci nového ovládání s vhodným naprogramováním softwaru docílit optimalizace režimu elektrické brzdy.

Stanovené cíle a požadavky byly v rámci práce všechny splněny. Podařilo se navrhnout a realizovat zařízení, které je schopné ovládat krokový motor tak, aby se dal použít pro ovládání kotoučové brzdy automobilu. Ovládání obsahuje a zobrazuje prvky, které se ukázali jako potřebné pro realizaci takto řízené elektrické brzdy.

Dalo by se říct, že výsledkem práce je funkční zařízení připravené pro další pokračování zkoumání, rozšiřování a navrhování elektrické brzdy. Výsledkem je také celkové ověření navrhovaného řešení tohoto typu elektrické brzdy. Jak se ukázalo není tento typ řešení špatný a mohl by v budoucnu najít své uplatnění.

Výroba ovládání krokového motoru nebyla finančně náročná. Náklady na mnou vyrobené nové ovládání bez periférií krokového motoru se pohybovali okolo 1500 Kč. Jeho možnosti zdaleka nejsou vyčerpány, jelikož již při návrhu bylo počítáno s jeho rozšiřováním do budoucna. Pokud by v budoucí práci bylo potřeba vyrobit další plošný spoj ovládání, nebyl by žádný problém schéma pro něj vytvořené upravit a dodělat tak, aby místo univerzálního plošného spoje byl vyroben tištěný plošný spoj.

Celá práce je další důkaz, že možnosti hydraulického brzdového systému i spolu s ABS se dají nahradit za pomoci elektrických brzd. Stávající elektricky řízené brzdy se stále zdokonalují a stávají se nedílnou součástí moderních vozů. Byl bych rád, aby i řešení nacházející se v této práci dopomohlo k jejich zdokonalování a využití pro stále stoupající bezpečnost všech druhů automobilů.

Seznam obrázků

1.1	Elektromagnetický retardér, Lit. [1]	2
1.2	Princip klínové brzdy, Lit. [1]	3
1.3	Elektronická parkovací brzda, Lit. [1]	4
1.4	Hydraulický pákový převod, Lit. [2]	6
3.1	Můstek, Lit. [3]	9
3.2	Měřicí zesilovač Clip AE301, Lit. [4]	10
3.3	Schéma páky	11
3.4	Páka	11
3.5	Motor, Lit. [6]	16
3.6	Třmen se snímačem	17
4.1	Ovladač	18
4.2	Brzdná soustava	19
4.3	Blokové schéma	21
4.4	STM32 Vývojová deska, Lit. [8]	22
4.5	Displej, Lit. [9]	24
5.1	Vrchní strana plošného spoje	26
5.2	Spodní strana plošného spoje	26
7.1	Nové ovládání	28
7.2	Testovací brzdová stolice	30
7.3	Testovací brzdová stolice	30

Literatura

- [1] ŠVÁB, Vojtěch. *Nové metody řízení vozidlových brzd*. Praha: ČVUT, 2009. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Kocourek, CSc.
- [2] BAXA, Jan. *Řízení pohonu brzdové jednotky*. Praha: ČVUT, 2010. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Kocourek, CSc.
- [3] HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GMBH. *DataSheet: U9B Force Transducers*. [online]. 2001 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.hbm.cz/mereni-sily.htm>
- [4] HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GMBH. *Operating manual: Clip Electronic: Amplifier of installation onto mounting rails*[online]. 2002 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.hbm.com.pl/pdf/a0114.pdf>
- [5] *Automa: časopis pro automatizační techniku: Nejistoty v měření I.: Vyjadřování nejistot*. Praha: FCC Public, 2001, č. 7-8.
- Automa: časopis pro automatizační techniku: Nejistoty v měření II.: Nejistoty přímých měření*. Praha: FCC Public, 2001, č. 10.
- Automa: časopis pro automatizační techniku: Nejistoty v měření III.: Nejistoty nepřímých měření*. Praha: FCC Public, 2001, č. 12.
- [6] 87000 series size 34 stepper motor linear actuators. *Haydon Kerk: Motion Solutions*[online]. 2009 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.haydonkerk.com/LinearActuatorProducts/StepperMotorLinearActuators/LinearActuatorsHybrid/Size34LinearActuator/tabid/84/Default.aspx>
- [7] MICROCON, s. r. o. *Koncový stupeň - modul 6410: Referenční příručka pro instalaci a hardware*. Praha, 2011.

-
- [8] STMICROELECTRONICS. *UM0919 User Manual: STM32 value line Discovery* [online]. 2001 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.st.com>
- [9] GM ELECTRONIC. *Datasheet: ATM 1602B* [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/dokumentace/513/513-109/dsh.513-109.1.pdf>

První příloha

Seznam součástek

Seznam součástek	Typ	Počet kusů
Vývojový kit	STM32	1
LCD display	MC1602E-SYL/H	1
Stabilizátor	LM317	1
Stabilizátor	7805-STM	1
Chladič	D01	2
Konektor	CAN9	2
Kryt	CAN9	2
Integrovaný obvod - CAN	PCA82C250	1
Krabička	U-AS35	1
Tlačítka	P-PB303	6
Tranzistory	BC337	7
Plošný spoj, univerzální	CU-TA036	1
Distancní sloupky	DI5M3X10	4
Paměť eeprom	24LC128-I/P	2
Operační zesilovače	TL084CN	1
Dioda	1N5817	1
Kondenzátor	100uF	4
Kondenzátor	330 μ F	1
Kondenzátor	1000 μ F	1
Kondenzátor	100nF	8
Rezistor	4K7	10
Rezistor	120R	8
Rezistor	15K	4
Rezistor	1K	4
Rezistor	200R	4
Rezistor	20K	4
Rezistor	5K	4
Trimr	PT6VK010	1

Druhá příloha: Schéma

