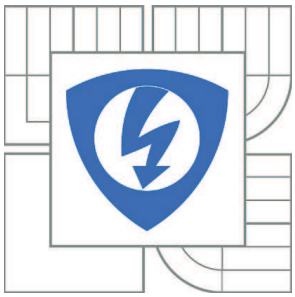
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

ŘÍDICÍ JEDNOTKA DVEŘNÍCH SYSTÉMŮ DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ

THE CONTROL UNIT OF THE DOOR SYSTEMS FOR PUBLIC TRANSPORT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

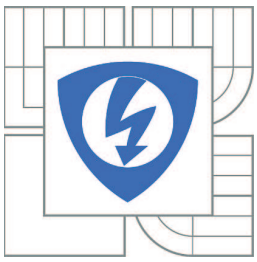
AUTOR PRÁCE — LUKÁŠ JABLONČÍK

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. MARTIN FRIEDL, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student:	Lukáš Jablončík	***ID:***	155167
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Řídicí jednotka dveřních systémů dopravních prostředků

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principem návrhu a konstrukce řídicích jednotek pro dopravní prostředky. Proveďte rešerši dostupných průmyslových řídicích systémů a požadavků na bezpečnost. Dále vyberte vhodné řešení pro konkrétní aplikaci a navrhněte schéma včetně výběru vhodných součástek. V závěru práce navrhněte a realizujte prototyp řídicí jednotky, kterou bude možno řídit model dveří se „standardním“ nebo „posuvným“ pohonem.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání:	10.2.2015	***Termín odevzdání:***	4.6.2015

Vedoucí práce: Ing. Martin Friedl, Ph.D.
Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tématem mé bakalářské práce je návrh řídicí jednotky pro dveřní systémy dopravních prostředků. Řídicí jednotka je navržena z moderních součástek s dostupností více jak deset let. Řízení je realizováno pomocí mikrokontroléru ATMEGA a motor je spínán pomocí h-můstku. Jednotka má deset programovatelných vstupů a dva silové výstupy. Návrh plošného spoje je optimalizován pro sériovou výrobu. Výsledkem práce je funkční prototyp řídicí jednotky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Řídicí jednotka, ATmega164, DRV8432, stejnosměrný motor, ACS711, LM2576, silový výstup, dynamický a statický vstup.

ABSTRACT

The topic of my bachelor´s thesis is to design a control unit of the door systems for public transport. The control unit is designed by using modern components. Their availability should be not less then ten years. The unit is controlled by a microcontroller ATMEGA and the motor is switched using the h-bridge. The control unit has ten programmable inputs and two switching outputs. PCB design is optimized for mass production. The result is a functional prototype of control unit.

KEYWORDS

Control unit, ATmega168, DRV8432, direct electric motor, ACS711, LM2576, power output, dynamic and static input.

JABLONČÍK, L. *Řídicí jednotka dveřních systémů dopravních prostředků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav elektrotechnologie, 2015. 31 s., 8 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Martin Friedl, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma **„Řídicí jednotka dveřních systémů dopravních prostředků“** jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 4. června 2015 .....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Friedlovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 4. června 2015 .....

podpis autora

OBSAH

Seznam obrázků ix

Seznam tabulek x

Úvod 1

1 Požadavky a dostupná řešení 2

1.1 Požadované funkce jednotky ... 2

1.1.1 Požadavky na hardware ... 2

1.1.2 Požadavky na software ... 2

1.2 Řídicí jednotka RC2-24VDC ... 3

1.3 Řídicí jednotka DriveX32 ... 4

2 Návrh řídicí jednotky 7

2.1 Popis částí jednotky ... 7

2.2 Napájecí část ... 7

2.3 Řídicí část ... 9

2.4 Silová část ... 10

3 Výběr součástek 11

3.1 Odrušovací a ochranné prvky ... 11

3.2 Stabilizátory napětí ... 11

3.2.1 Stabilizátor napětí LM2576 ... 12

3.2.2 Stabilizátor napětí L7805 ... 13

3.3 H-můstek DRV8432 ... 14

3.3.1 Úvod ... 14

3.3.2 Vlastnosti ... 14

3.3.3 Vstupy/výstupy ... 14

3.4 Mikrokontrolér ATMEGA164V ... 15

3.5 Snímač proudu ACS711 ... 16

3.6 Driver VND600SP-E ... 16

4 Programování 18

4.1 Atmel Studio 6.2 ... 18

4.2 Jazyk C ... 18
4.3 Popis programu jednotky ... 19
4.4 AVR Dragon ... 20

5 Konstrukce jednotky 21
5.1 Arduino + Evaluační modul ... 21
5.2 První prototyp ... 22
5.3 Druhý prototyp ... 23
5.3.1 Změny oproti prvnímu prototypu ... 23
5.3.2 Přizpůsobení pohonu ... 24
5.4 Finální verze ... 25
5.5 Proudové charakteristiky pohonu ... 26
5.6 Měření napájecího proudu ... 27
5.7 Měření vstupního proudu optočlenů ... 27
5.8 Ekonomické zhodnocení ... 28

6 Závěr 30

Literatura 32

Seznam symbolů, veličin a zkratek 33

Seznam příloh 34

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Pohon IGE standard [10]. 2
Obr. 1.2: Řídicí jednotka RC2. 4
Obr. 1.3: Výklopné dveře s pohonem IGE standard [10]. 5
Obr. 2.1: Blokové schéma jednotky 7
Obr. 2.2: Zapojení vstupní části s odrušovacím filtrem a přepěťovou ochranou. 8
Obr. 2.3: Využití pinů ATMEGA164. 9
Obr. 3.1: Schéma zapojení odrušovacího filtru. 10
Obr. 3.2: Zapojení stabilizátoru LM2576. 11
Obr. 3.3: Blokové schéma stabilizátoru LM2576 [7]. 12
Obr. 3.4: Zapojení stabilizátoru L7805 13
Obr. 3.5: Výrobcem doporučený layout DRV8432 [9] 14
Obr. 3.6: Vnitřní uspořádání driveru VND600 [12] 16
Obr. 4.1: Prostředí Atmel Studia 6.2 17
Obr. 4.2: Vývojový kit AVR Dragon [14] 19
Obr. 5.1: Evaluační modul DRV8432EVM [9] 21
Obr. 5.2: Osazená DPS prvního prototypu 22
Obr. 5.3: Krabička prvního prototypu 23
Obr. 5.4: Osazená DPS druhého prototypu umístěná v krabičce 24
Obr. 5.5: Druhý prototyp v kovové krabičce 25
Obr. 5.6: Ladění jednotky přímo na pohonu 26
Obr. 5.7: Proudová charakteristika při PWM 75 % 26
Obr. 5.8: Stojan s novým autobusovým pohonem. 29
Obr. 5.9: První verze autobusového pohonu. 29

SEZNAM TABULEK

Tab. 5.1: Naměřené hodnoty proudů při různých napájecích napětích 27
Tab. 5.2: Naměřené hodnoty vstupních proudů do optočlenů. 28

ÚVOD

Cílem mé bakalářské práce je seznámit se se stávajícími řešeními řídicích jednotek dveřních systémů a navrhnout řešení vlastní řídicí jednotky, která bude prakticky realizována jako bakalářská práce.

Jednotka bude sloužit pro pohony typu „Standard“, „Posuv“ a nový autobusový pohon. Jednotka musí umět ovládat motory s výkonem do 100 W, pracovat při napájecím napětí 12–24 V. Řízení jednotky je realizováno pomocí mikrokontroléru ATMEGA164 a spínání motoru je realizováno pomocí h-můstku.

V kolejové i autobusové dopravě, pro kterou je tato jednotka určena, je kladen velký důraz na bezpečnost cestujících i obsluhy. Proto musí jednotka obsahovat přesný snímač proudu a vstupy ošetřené proti špičkám v napájecím napětí. Dále její program musí využívat watchdog časovače, tak aby nemohlo dojít k zacyklení programu.

Práce je dělena do šesti kapitol. V první kapitole jsou popsána dostupná řešení řídicích jednotek, druhá kapitola se věnuje návrhu řešení nové řídicí jednotky a ve třetí kapitole jsou popsány použité součástky. Čtvrtá kapitola popisuje vývojové prostředí pro programování jednotky včetně samotného programu. Pátá kapitola ukazuje postup vývoje od prvotního testování až po výrobu několika verzí prototypů. V poslední kapitole jsou uvedeny výsledky měření jednotlivých parametrů jednotky.

V průběhu vývoje jednotky bylo potřeba spolupracovat s konstruktérem nového autobusového pohonu, pro který je tato jednotka primárně určena.

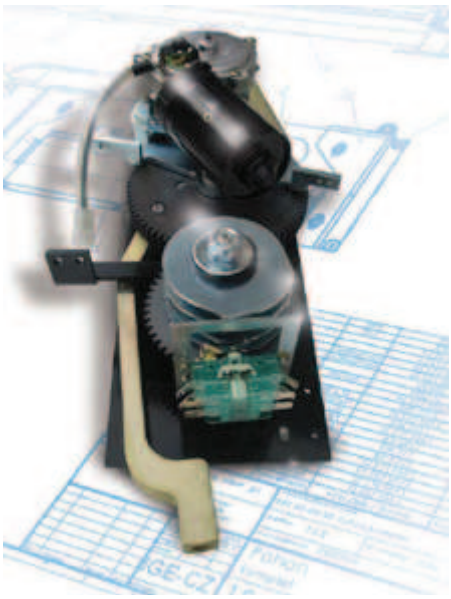
Dosažené výsledky této práce jsou popsány v závěru. Výstupem této práce je funkční prototyp řídicí jednotky, který byl testován na jak na „Standardním“ pohonu, tak i na prototypu nového autobusového pohonu.

1 POŽADAVKY A DOSTUPNÁ ŘEŠENÍ

1.1 Požadované funkce jednotky

1.1.1 Požadavky na hardware

- Provozní napětí 12–24 V DC (± 30%)
- Buzení motorů s maximálním výkonem 100 W
- Nízká spotřeba, moderní součástky (dostupnost min. 10 let)
- Teplotní odolnost -30 °C až 50 °C
- Maximální rozměry DPS 110×80 mm
- Snímání hodnoty proudu motoru
- Minimálně 10 opticky oddělených vstupů s indikací stavu
- 2 silové výstupy s maximálním proudem 3 A



Obr. 1.1: Pohon IGE standard [10].

1.1.2 Požadavky na software

Jestliže jsou dveře po zapnutí jednotky v nedefinované poloze, tedy neotevřeny ani neuzavřeny, jsou aktivovány ve směru uzavírání do doby, než je dosaženo koncového spínače *uzavřeno*. Pokud jsou dveře při zapnutí otevřeny, zůstávají otevřeny. Pokud jsou uzavřeny, tedy zůstávají uzavřeny.

Aktivováním vstupu *otevřít* se začne motor otáčet ve směru otevírání dveří, dokud dveře nedosáhnou koncového spínače *dveře otevřeny*. Dveře se otevírají za předpokladu, že je vstup *nulová rychlost* aktivní. Otevírání dveří je tedy umožněno pouze v případě, že vozidlo stojí. Pokud dveře do deseti sekund od začátku otevírání neaktivují koncový spínač *dveře otevřeny*, je motor vypnut. Jedná se o ochranu motoru v případě poruchy koncového spínače.

Aktivováním vstupu *zavřít* se začne motor otáčet ve směru uzavírání za předpokladu, že dveře již nejsou uzavřeny. Motor se otáčí do doby, než dveře sepnou koncový spínač *dveře uzavřeny*. Motor se vypne i tehdy, pokud není během deseti sekund dosaženo koncového spínače *dveře uzavřeny*. Jestliže nejsou dveře uzavřeny a dojde ke ztrátě signálu (log. 0), dveře se začnou automaticky uzavírat maximální rychlostí.

V případě aktivování vstupu *uvolnění* se dveře otevřou. Po ztrátě log. 1 na vstupu *uvolnění* se začne odpočítávat čas určený parametrem *automatické uzavírání* a po uplynutí této doby se dveře začnou automaticky uzavírat. Pokud byl v průběhu této doby aktivován vstup *otevřít*, zůstanou dveře otevřeny do doby, než dojde k aktivaci vstupu *zavřít*. K otevření dveří vstupem *uvolnění* dochází pouze tehdy, pokud cestující zmáčkl tlačítko *požadavek otevřít*. Souběžně se stiskem tlačítka musí dojít k aktivaci silového výstupu, který rozsvítí toto tlačítko do doby, než přijde povel *otevřít* nebo *uvolněno.*

Pokud se při pohybu dveří překročí hodnota *nadproud,* dojde při otevírání k zastavení motoru na dobu určenou parametrem *prodleva_nadproud.* Po uplynutí této doby se dveře začnou opět otevírat. Pokud se dveře nepodaří otevřít počtem pokusů určeným parametrem *počet_reverzací,* potom se dveře zastaví v poloze, ve které skončily. Pokus o otevření je možné opakovat aktivací vstupu *otevřít*. V případě, že byla hodnota *nadproud* překročena při zavírání dveří, tak se dveře zastaví a následně se otevřou. V této poloze čekají, než uplyne doba daná parametrem *prodleva_nadproud* a opět se pokusí zavřít. Pokud byl překročen parametr *počet_reverzací*, tak dveře zůstávají otevřeny do doby, než se znovu aktivuje vstup *zavřít.*

Rychlost dveří se nastavuje parametry *rychlost_1* a *rychlost_2.* Tyto parametry určují střídu napájecího napětí motoru. Pokud je aktivován koncový spínač *PWM,* tak se motor otáčí rychlostí definovanou parametrem *rychlost_2.* V opačném případě se motor otáčí rychlostí danou parametrem *rychlost_1*.

Při aktivaci koncového spínače *nouzové odblokování* musí jednotka odpojit motor tak, aby jej nebylo možné aktivovat žádným vstupem a bylo možné dveře nouzově otevřít.

1.2 Řídicí jednotka RC2-24VDC

RC2 je řídicí jednotka určená pro řízení elektrických pohonů v kolejových vozidlech nebo autobusech. Právě tuto jednotku by měla z velké části nahradit nově vyvíjená jednotka, která je předmětem této bakalářské práce. Aby bylo možné jednotku RC2 nahrazovat jednotkou novou, je potřeba zajistit určitou kompatibilitu. RC2 byla vyvinuta firmou Beta Control, která ji dodnes vyrábí a dodává.

Jednotka je řízena mikropočítačem a je určena pro pohon stejnosměrných motorů. Napájecí napětí je 24 V ± 30% (= 16,8 V až 31,2 V), její odběr je maximálně 200 mA a pracuje v rozsahu teplot -40 °C až +70 °C. Maximální jmenovitý proud motoru je stanoven na 8 A a maximální rozběhový proud motoru je 40 A. K regulaci otáček motoru využívá pulzně-šířkové modulace.

RC2 má 2 typy vstupů – statické a dynamické. Statické vstupy se aktivují připojením napětí +24 V a minimálním proudem 12 mA. Dynamické vstupy reagují na změnu napětí trvající alespoň 20 ms. Silové výstupy jsou omezeny maximálním výstupním proudem 1,6 A. Při překročení této hranice se aktivuje ochrana proti zkratu.

Stav každého vstupu i výstupu je indikován LED diodou. Dále je na jednotce umístěna dioda indikující poruchu systému, kdy je každá porucha určena počtem bliknutí diody. Tato jednotka je dodávána s nastavovacím modulem BCS/RC, kterým je možné měnit až 17 parametrů. Mezi tyto parametry patří např. základní rychlost motoru, redukovaná rychlost motoru, hodnota proudové ochrany motoru, doba setrvání dveří v otevřené poloze při uvolnění, počet pokusů o uzavření nebo doba trvání výstražného tónu před uzavřením dveří.

Do RC2 je možné pomocí programovacího konektoru nahrávat různé varianty softwaru podle požadavků zákazníka. [1]

Obr. 1.2: Řídicí jednotka RC2

1.3 Řídicí jednotka DriveX32

Další řídicí jednotkou z portfolia firmy IGE je DriveX32. Vyvinula ji firma Protronix. Dodává se s pohony, u kterých zákazník požaduje pokročilé funkce jako je například ethernet, CAN, RTC, vzdálená správa atd. Jednotka je určená pro řízení elektromechanických pohonů. Pracovní napětí jednotky je stanoveno na 12–24 V

stejnosměrného napětí při toleranci ±30% (10,5–31,2 V).

Jednotku lze univerzálně použít pro tři typy pohonů – *Standardní pohon*, *Posuvný pohon*, u kterých se poloha dveří určuje koncovými spínači a *pohon Předsuvný*. U *Předsuvného pohonu* se poloha zavřeno určuje také koncovým spínačem, ale poloha dveří se vypočítává pomocí magnetického snímače otáček motoru. Náklon snímá 3D čidlo a teplotu snímá teplotní čidlo. Maximální proud motoru je až 40 A. Provozní teplota je udávána na -40 až 50 °C.

Na jednotce lze nalézt interní bezpečnostní relé, které znemožňuje otevírání dveří, pokud není přiveden signál nulové rychlosti. Možnost zavření je z bezpečnostních důvodů zachována.

Dalším bezpečnostním prvkem této jednotky je relé, které je zapojeno do zelené linky, která představuje základní zabezpečení u kolejových vozidel. Na všech dveřích je koncový spínač spínající se v poloze dveře uzavřeny. Všechny tyto spínače jsou sériově propojeny jedním vodičem. Pokud jsou všechny dveře uzavřeny, jsou i všechny koncové spínače sepnuty. Vodič má téměř nulový odpor vozidlo se může rozjet. Pokud by nějaký spínač nesepnul, odpor by byl téměř nekonečný a vozidlo se nerozjede. Jednotka 0,3 s před začátkem otevírání tyto kontakty rozpojí a jednu sekundu po zavření je zase spojí.

Obr. 1.3: Výklopné dveře s pohonem IGE standard [10]

Ochrana proti sevření se u této jednotky realizuje pomocí snímání proudu motoru a detekcí kontaktní lišty. U jednotky lze nastavit velké množství parametrů jako je např. rychlost dveří, velikost nadproudu, počet reverzací, chování jednotlivých

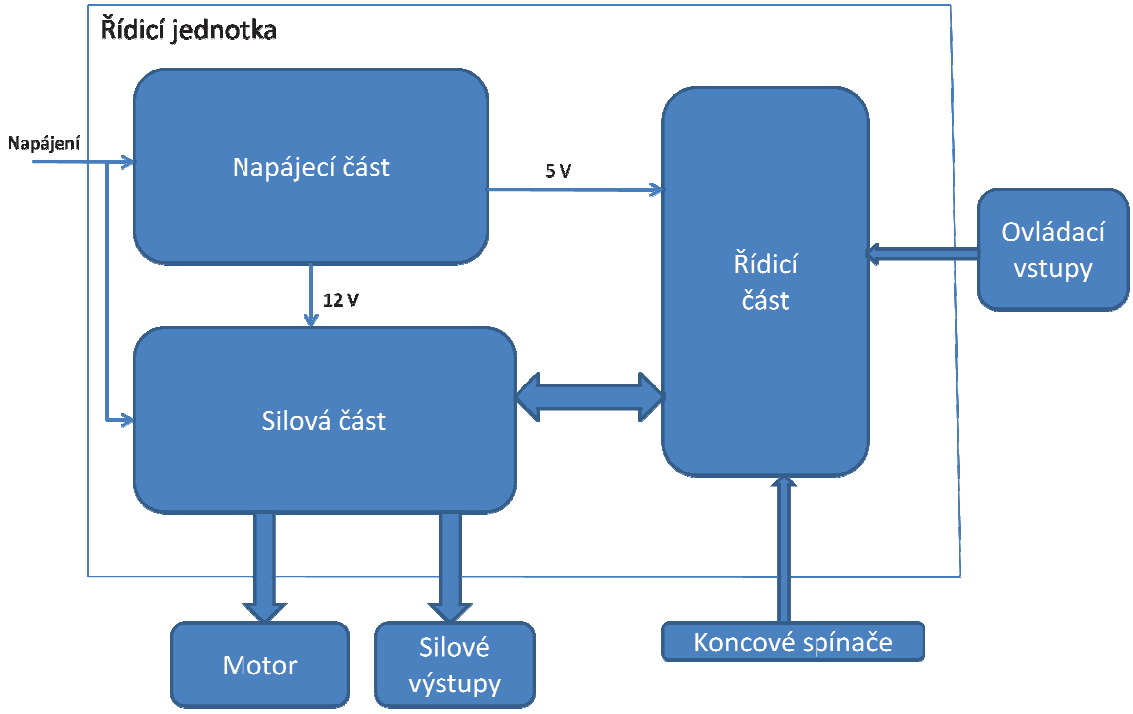
silových výstupů, kontrola proudu výstupů atd. Jednotka také umožňuje synchronizaci zavíraných dveří tak, aby byly všechny dovřeny ve stejný okamžik. Tato komunikace probíhá mezi jednotlivými jednotkami pomocí sběrnice CAN nebo ethernet.

Sběrnice CAN využívá protokolu CANopen. Fyzicky je CAN realizován pomocí dvou konektorů Cannon – zásuvky a vidlice. Druhý konektor vždy slouží pro připojení následující jednotky na sběrnici. Dalším podporovaným rozhraním této jednotky je Ethernet 10/100 a také sběrnice USB. Pro nastavení parametrů jednotky se využívá právě ethernetu, kdy se jednotka pomocí kroucené dvoulinky připojí k PC, ze kterého se jednotka nastavuje pomocí komunikačního programu. [2]

2 NÁVRH ŘÍDICÍ JEDNOTKY

2.1 Popis částí jednotky

Požadavky na novou jednotku vyvíjenou v této bakalářské práci vyplývají z vlastností jednotek uvedených v předchozích kapitolách. Jednotka je rozdělena do tří částí tak, jak naznačuje blokové schéma níže. V napájecí části jsou stabilizátory LM2576 pro napětí 12 V, které vyžaduje integrovaný obvod DRV8432 v silové části. Stabilizátor L7805 stabilizuje na napětí 5 V pro řídicí část, ve které je například mikrokontrolér. Řídicí část bude ovládána vstupy od řidiče, nebo cestujících. Silová část ovládá motor a silové výstupy, kterými jsou bzučák a podsvícení tlačítka.

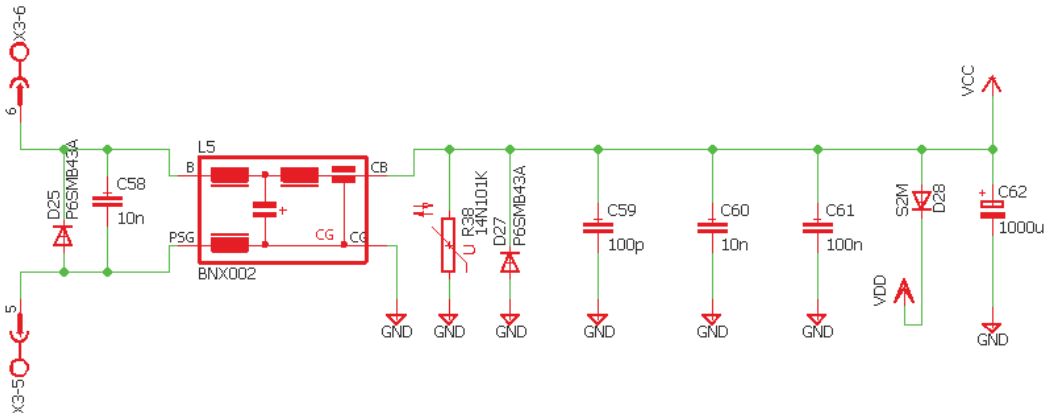


Obr. 2.1: Blokové schéma jednotky

2.2 Napájecí část

Napětí je do řídicí jednotky přivedeno pomocí konektoru PA257 VE 7C 5.08. Jedná se o konektor pro průmyslové použití od firmy ITW-Gibi. Vybrán byl z důvodu zpětné kompatibility konektorů se starší jednotkou RC2. Kladný pól napájecího napětí je na svorce 6 a záporný na svorce 5. Výstupy pro napájení motoru jsou na

svorkách 4 a 7. Toto uspořádání je zvoleno na základě doporučení rozložení plošného spoje výrobcem h-můstku. Další výhodou je malé křížení silových vodičů na plošném spoji. V těsné blízkosti napájecích svorek je transil P6SMB43A a kondenzátor C36 o kapacitě 10 nF. Tyto součástky slouží jako prvotní přepěťová ochrana a filtr. Dalším prvkem je širokopásmový odrušovací filtr BNX002-01 od firmy Murata. Výstupem tohoto filtru je společná zem a kladné napájecí napětí. Toto napájecí napětí je po dalším odrušení pomocí varistoru S14K11, transilu P6SMB43A a třech kondenzátorů C37–C39, pokrývajících různá spektra signálů, rozděleno do dvou větví.



Obr. 2.2: Zapojení vstupní části s odrušovacím filtrem a přepěťovou ochranou

První větev napájí h-můstek DRV8432. Na napájecím napětí je kondenzátor C14 o kapacitě 1000 µF. Tento kondenzátor je zde proto, aby dodal napětí pro motor při špičkových odběrech. Druhá větev přivádí přes usměrňovací diodu S2M napětí na vstup stabilizátoru LM2576. Dioda je zde použita z důvodu možného přepólování.

Stabilizátor LM2576T-12 je zapojen podle katalogového zapojení. Na vstupu stabilizátoru je umístěn low ESR kondenzátor C3 = 100 µF, aby nedocházelo k rozkmitání obvodu. Přítomnost napájecího napětí signalizuje zelená dioda LED7. Aby bylo zamezeno parazitním vlivům, jsou po plošném spoji umístěny low ESR kondenzátory o kapacitě 100 µF a keramické kondenzátory o kapacitě 100 nF. Možnost vypínání stabilizátoru LM2576 není využita. Stabilizátor L7805 je zapojen na výstupu ze stabilizátoru L2576 a opět je využito doporučeného zapojení výrobce. Pro případ špičkových odběrů v obvodu je na vstupu tohoto stabilizátoru umístěn kondenzátor C4 o kapacitě 1000 µF a na výstupu kondenzátor C21 s kapacitou 470 µF.

2.3 Řídicí část

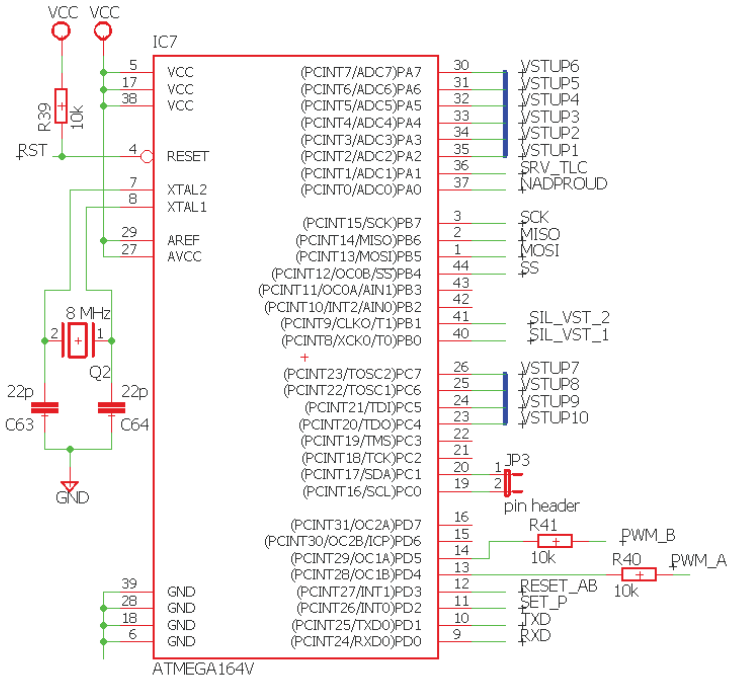
O řízení celé jednotky se stará mikrokontrolér ATMEGA164. Ten je taktován krystalem o frekvenci 8 MHz. Na porty PA2 – PA7 a PC4 – PC7 jsou připojeny výstupy z optočlenů. Tyto optočleny jsou zařazeny z důvodu možného špičkového přepětí z řídicích signálů. Řídicí signály a koncové spínače se připojují na konektor PA257 VE 10C 5.08 od firmy ITW-Gibi. Z těchto vstupů jde signál přes LED diodu, která signalizuje stav na vstupu. Pro koncové spínače na vstupech 1–3 mají diody zelenou barvu a pro vstupy 4–10 barvu červenou. Za touto diodou je umístěna Zenerova dioda, díky které vstupy reagují až od požadovaného napětí. Za diodou je rezistor, který snižuje napětí na hodnotu potřebnou pro optočlen. Výpočet tohoto rezistoru je definován následujícím vztahem

$$R = \frac{U_{NAP} - U_{LED} - U_{ZD} - U_{OPT}}{I_{vst}} \tag{2.1}$$

kde R [Ω] představuje odpor rezistoru, U_{NAP} [V] je napájecí napětí jednotky, U_{LED} [V] je napětí na LED diodě, U_{ZD} [V] reprezentuje napětí zenerovy diody a U_{OPT} [V] je napětí diody optočlenu.

Protože napájecí napětí může nabývat hodnot od 10,5 V do 31,2 V, je potřeba najít takovou hodnotu rezistoru, která toto pásmo spolehlivě pokryje. Vstupní proud musí odpovídat všem diodám a byl tedy stanoven na 20 mA při 24 V.

Napětí ze snímače proudu je vyhodnocováno pomocí AD převodníku na vstupu PA0. Programování mikrokontroléru je realizováno pomocí ISP. Jsou tedy vyvedeny vstupy/výstupy SCK, MOSI, MISO, RST a napětí 5 V s GND. Pro programování je použit konektor MLW10.



Obr. 2.3: Využití pinů ATMEGA164V

Řídicí signály do DRV8432 jsou na výstupech PD4 a PD3. Protože tento integrovaný obvod vyžaduje úroveň napětí 3,3 V, jsou tyto výstupy zapojeny přes jednoduchý odporový dělič. Pro povolení funkce h-můstku je přes pull-up rezistor R2 s odporem 10 kΩ připojen výstup PD5. Pro spínání silových výstupů jsou určeny piny PB0 a PB1. Servisní tlačítko je připojeno na pin PA1. Protože se do budoucna počítá s vytvořením nastavovacího modulu, jsou na programovací konektor vyvedeny signály pro sériovou linku RxD a TxD. Dále je zde vyveden pin PD2, který bude sloužit jako externí přerušení od nastavovacího modulu.

2.4 Silová část

Silová část je tvořena h-můstkem DRV8432, snímačem proudu ACS711 a dvoukanálovým high-side driverem VND600SP-E. V datasheetu výrobce h-můstku je uvedeno několik druhů zapojení. Pro tuto aplikaci bylo zvoleno zapojení Dual Full bridge mode. Výstupy pro motor jsou odděleny přes cívky o indukčnosti 4,7 uH. Výrobce doporučuje z důvodu zákmitů připojit na všechny výstupy a napájecí větve kondenzátory o velikosti 100 nF. Na obou výstupech pro motor je mezi cívkami a h-můstkem zapojen transil z důvodu přepěťové ochrany. V zapojení můstku i rozložení na plošném spoji dbáno doporučení výrobce, protože jen tak je možné garantovat správnou funkčnost zapojení.

V jedné větvi výstupu pro motor je zapojený snímač proudu ACS711. Výstup VIOUT je připojen přímo na vstup mikrokontroléru. Úroveň napětí na tomto výstupu se mění v závislosti na protékajícím proudu.

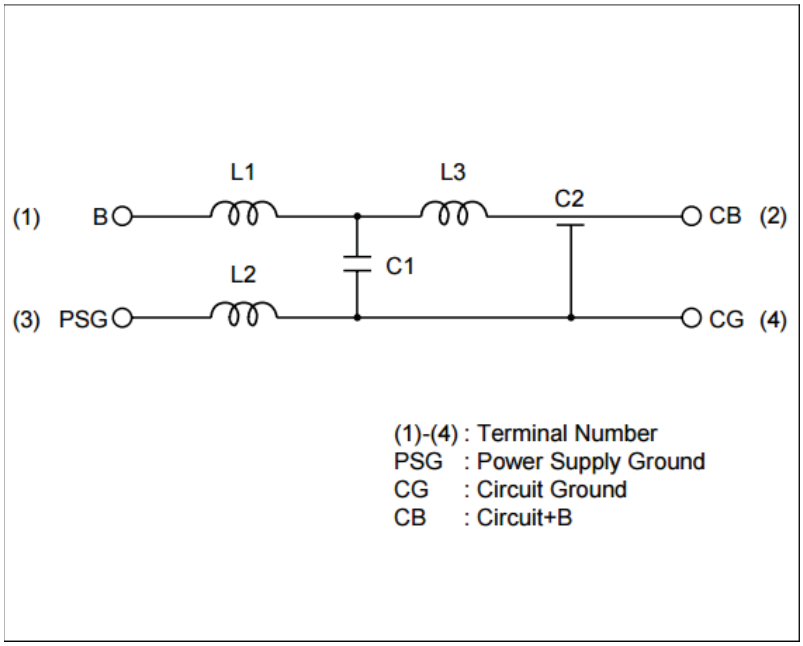
Spínání silové zátěže je realizováno pomocí integrovaného obvodu VDN600SP. Tento obvod je zapojen podle katalogového zapojení. Mezi mikrokontrolérem a obvodem je zapojený 10 kΩ rezistor. Výstup je zapojen přes diodu STPS340U, která zabraňuje zpětným rázům. Dále je zde zapojen transil P6SMB43A jako přepěťová ochrana.

3 VÝBĚR SOUČÁSTEK

3.1 Odrušovací a ochranné prvky

Základním odrušovacím prvkem je jednosměrný transil P6SMB43A s maximálním výkonem 600 W. Jeho průrazné napětí je 43 V a maximální impulsní proud je 10,3 A. Tyto parametry plně dostačují pro potřeby ochrany jednotky.

Dalším prvkem je širokopásmový odrušovací filtr BNX002-01. Ten je složen ze tří cívek a dvou kondenzátorů. Maximální pracovní napětí je 50 V DC a maximální pracovní proud je 10 A. Jeho útlum je mezi 1MHz až 1 GHz 40 dB.



Obr. 3.1: Schéma zapojení odrušovacího filtru

3.2 Stabilizátory napětí

Stabilizátor napětí je integrovaný obvod, nebo zapojení diskrétních součástek, který umožňuje stabilizovat vstupní napětí. Stabilizátory použité v této práci se dělí na lineární a spínané.

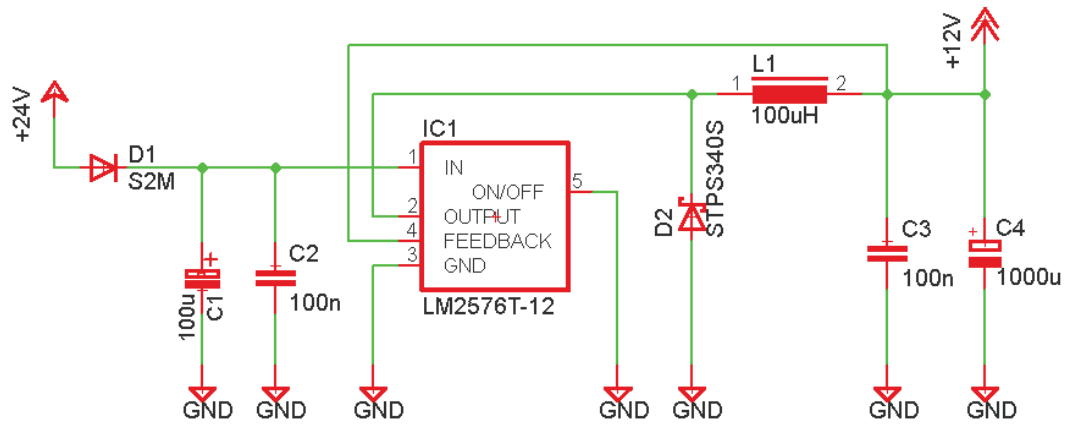
Lineární stabilizátory mívají velmi jednoduché zapojení, rychlou odezvu na změnu zátěže, na výstupu nízký šum a jsou malým zdrojem EM rušení. Jejich nevýhodou je to, že na vstupu musí být o 2 až 2,5 V vyšší napětí. Při vyšším rozdílu vstupního a výstupního napětí vzniká velká (většinou tepelná) ztráta energie a tudíž klesá jejich účinnost.

Spínané stabilizátory napětí mají velmi vysokou účinnost, jsou málo závislé na napájecím napětí. Pomocí spínaných stabilizátorů je mnohem jednodušší realizovat zdroje schopné dodat i desítky ampér. Vstupní napětí může být větší i menší než požadované výstupní napětí. Nevýhodou je složitější zapojení vyžadující více součástek, které jsou zpravidla dražší. Bývají zdrojem rušení EM rušení a jejich výstupní napětí je zvlněné a nevhodné pro citlivé analogové obvody. [6]

3.2.1 Stabilizátor napětí LM2576

Stabilizátory LM2576 jsou spínané stabilizátory od firmy Texas Instruments. Jejich maximální proudové zatížení je 3 A. Maximální vstupní napětí je 40 V pro základní verzi a 60 V pro tzv. HV verzi. Stabilizátory mohou být ve verzi s pevným výstupním napětím nebo regulovatelným napětím. S pevně nastaveným napětím se vyrábí pro 3,3 V, 5 V, 12 V a 15 V. U regulovatelné verze je možné nastavovat napětí od 1.23 V do 37 V, případně až do 57 V u HV verze. Když se stabilizátor přehřeje, zapůsobí tepelná ochrana, která jej vypne.

Pro základní zapojení stačí pouze pět součástek. Vstupní kondenzátor C1, který má za úkol pokrýt případné špičkové odběry. Dále je zde samostatný LM2576 plnící stabilizační funkci, dioda D2 a cívka L1 jsou zde kvůli zamezení rušení, které může stabilizátor způsobit. Kondenzátor C4 slouží pro akumulaci napětí a pokrytí špičkových odběrů.



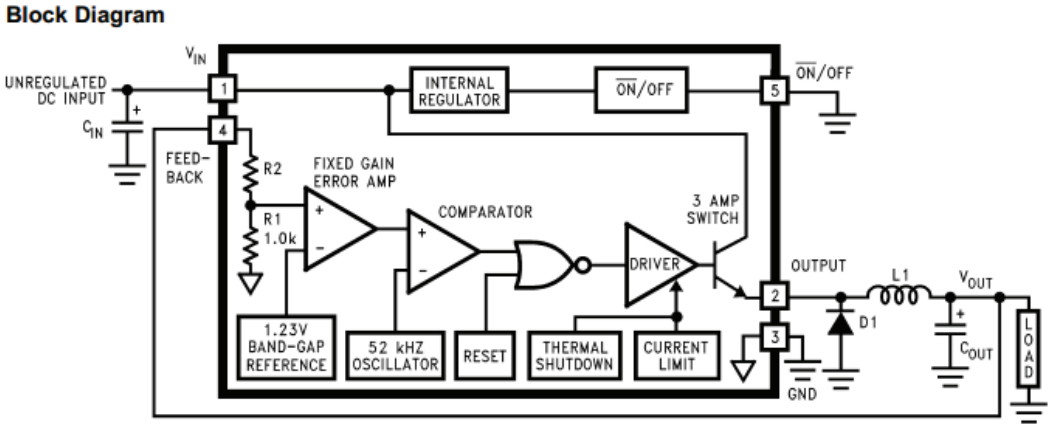
Obr. 3.2: Zapojení stabilizátoru LM2576

Spínané stabilizátory pracují na principu kontroly stavu napětí výstupního kondenzátoru. U stabilizátorů, které mají pevně nastavené napětí, je R_1 pevně nastaven na 1 kΩ a R_2 určuje hodnotu výstupního napětí. V případě stabilizátoru s napětí 12 V je hodnota R_2 = 8,84 kΩ. Tato hodnota se vypočítá ze vztahu:

$$R_2 = \frac{U_{out}}{U_{ref}} - R_1 \qquad (3.1)$$

Pokud napětí klesne pod 1,23 V, hradlo NAND se překlopí do log. 1 a přes tranzistor se kondenzátor začne nabíjet. Kontrola napětí probíhá na frekvenci 52 kHz, kterou určuje vnitřní oscilátor. Protože by frekvence 52 kHz mohla způsobovat EM

rušení, je na výstupu cívka a Schottkyho dioda. Celý stabilizátor lze zapnout, nebo vypnout pomocí vstupu ON/OFF. [7]



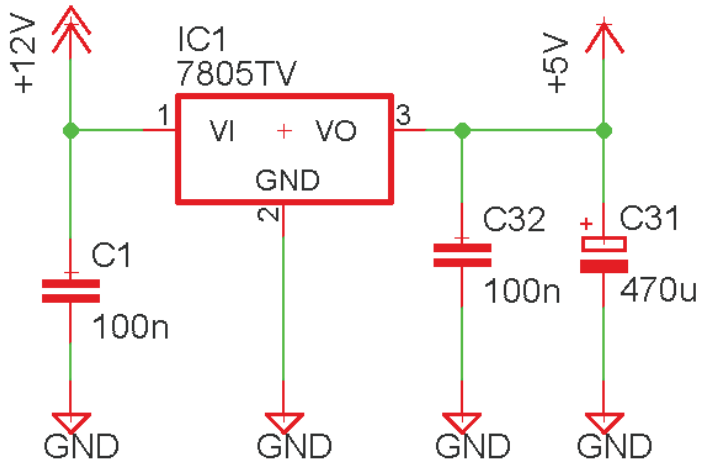
Obr. 3.3: Blokové schéma stabilizátoru LM2576 [7]

3.2.2 Stabilizátor napětí L7805

Stabilizátor napětí L7805 je lineární stabilizátor od firmy ST Microelectronics. Maximální vstupní napětí stabilizátoru je výrobcem dáno na 35 V. Při výstupním napětí 5 V je schopen dodávat proud až 1,5 A. Vinou nízké účinnosti, u tohoto typu stabilizátoru, dochází k velkým ztrátám. Tento ztrátový výkon je většinou vyzářen v podobě tepla a proto je potřeba stabilizátory dostatečně chladit. Příklad výpočtu ztrátového výkonu je popsán následující rovnicí.

$$P_z = U_{drop}.I_{out_{max}} = (12V - 5V).0{,}2A = 1{,}4W \quad (3.2)$$

Stabilizátor má jednoduché zapojení. Je třeba připojit 2 kondenzátory. 100 nF kondenzátor na vstup a 100 nF na výstup. Tyto kondenzátory jsou zde z důvodu možného rozkmitání vstupního a výstupního napětí. Dále se doporučuje na vstup a výstup připojit kondenzátory v řádech uF. Ty jsou zde z důvodu pokrytí vstupních a výstupních špičkových odběrů. Tento stabilizátor je možné využívat v několika druzích zapojení. Příkladem zapojení může být například zdroj konstantního proudu. Příklady těchto zapojení jsou popsány v datasheetu. [8]



Obr. 3.4: Zapojení stabilizátoru L7805

3.3 H-můstek DRV8432

3.3.1 Úvod

DRV8432 je moderní integrovaný obvod od firmy Texas Instruments, který v sobě integruje dva h-můstky. Ty je možné paralelně spojit a vytvořit tzv. *Dual Full Bridge Mode*. Tento typ zapojení je použit i v této práci. Mezi hlavní výhody tohoto integrovaného obvodu patří vysoká účinnost – až 97%, maximální konstantní proud 12 A, špičkový proud až 24 A. [9]

3.3.2 Vlastnosti

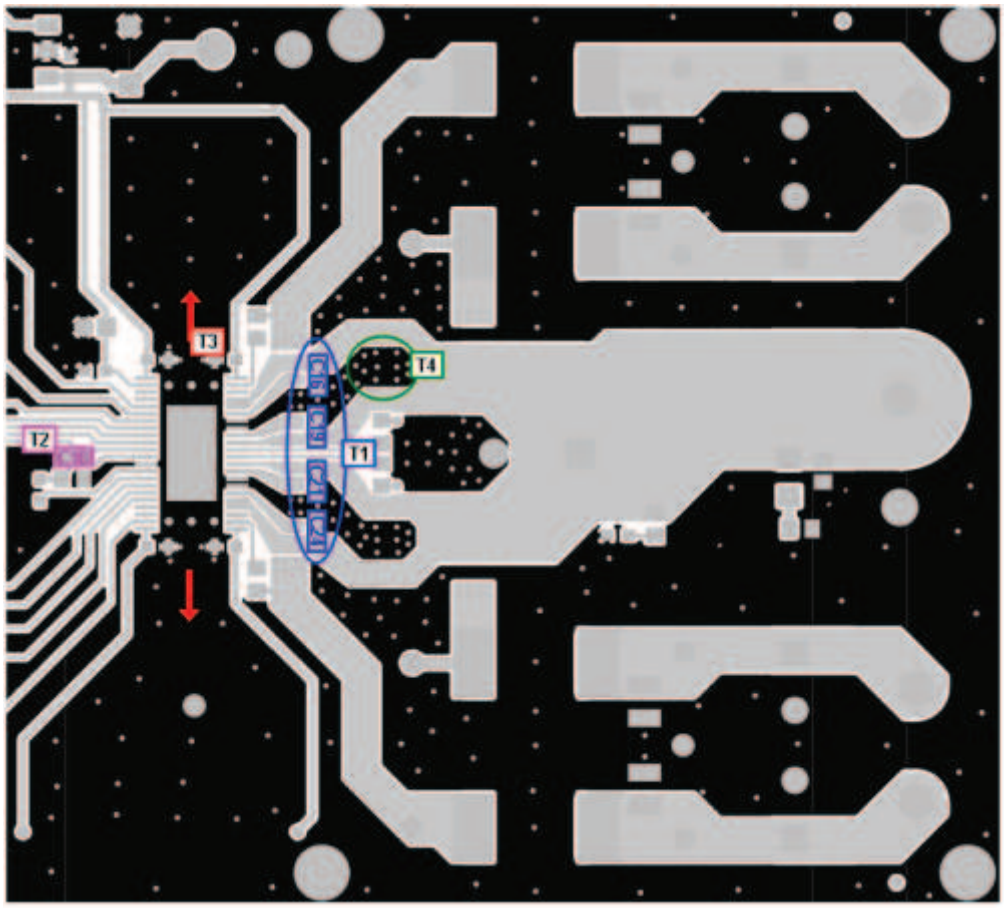
Tento integrovaný obvod lze využívat v rozsahu stejnosměrného napětí motoru od 0 V do 52 V. H-můstek je tvořen z MOSFET tranzistorů s R_{ds} = 110 mΩ, při teplotě 25 °C. Pro spínání je potřeba využít pulzně-šířkové modulace (dále jen PWM). Obvod dokáže pracovat se střídou 0 až 99 %. Při přivedení signálu 100 % se obvod dostává do zakázaného stavu, a proto tato střída nesmí být nikdy připojena. Maximální frekvence PWM je výrobcem stanovena na 500 kHz.

Mezi další vlastnosti patří nastavení maximálního proudu, který může přes můstek protékat. Pokud je tento proud vyšší, obvod se vypne. Z této vlastnosti dále vyplývá ochrana proti zkratu. Napájecí napětí je 12 V. Tímto napětím je napájena logika obvodu a pomocí nábojové pumpy jsou z něj buzeny MOSFETY.

3.3.3 Vstupy/výstupy

Vstupy M1, M2 a M3 slouží pro nastavení režimu. Tyto režimy jsou např: HalfBridge, Full Bridge, Double Full Bridge. Na PWM_A, PWM_B, PWM_C a PWM_D se přivádí jednotlivé signály PWM, kde každý z těchto vstupů ovládá jeden půl-most. Tyto vstupy akceptují pouze 3,3 V logiku. Reset_AB a Reset_CD povolují/zakazují půl-mosty a akceptují 5 V logiku. Jsou to negované vstupy, takže

přivedeme-li na vstup Reset_AB log. 0, povolí se půl-mosty A a B. Výstup Fault indikuje, že byl překročen maximální proud. Výstup OTW indikuje, že byla překročena maximální teplota pouzdra integrovaného obvodu. AGND je interní logická zem integrovaného obvodu, která se vytvoří z GND oddělením přes 1 Ω rezistor. Tyto převážně logické vstupy a výstupy jsou na levé straně obvodu.



Obr. 3.5: Výrobcem doporučený layout DRV8432 [9]

Na pravé straně se nachází silové vstupy a výstupy. PVDD_A až PVDD_D slouží pro přivedení napájení motoru, které budou jednotlivé půl-mosty spouštět. GND_A až GND_D se naopak využívají pro uzemnění motoru. BST_A až BST_D slouží jako zpětná vazba z výstupů obvodu. OUT_A až OUT_D jsou silové výstupy pro buzení motoru. Každý výstup výrobce doporučuje zapojit přes induktor, kvůli tzv. zpětným rázům.

3.4 Mikrokontrolér ATMEGA164V

Mikrokontroléry AVR od firmy Atmel jsou na trhu dostupné přibližně od roku 1997. Dělí se do několika kategorií: AT90, ATtiny, 32-bit AVR UC3, XMEGA, ATMEGA, mikrokontroléry s jádrem AVR upravené pro BatteryManagment a Automotive pro automobilový průmysl.

Kategorie AT90 se již dnes nevyrábí a je nahrazována mikrokontroléry

z kategorie ATtiny nebo ATMEGA. 32-bit AVR UC3 jsou mikropočítače s nízkou spotřebou, vysokým výkonem a vysokou účinností. Využívají spolehlivého jádra AVR. ATtiny jsou většinou levné mikrokontroléry pro jednoduché aplikace. Zpravidla mají pouzdra s menším počtem vývodů, nemusí mít AD převodníky, I2C, USART a PWM výstupy. Většinou mívají pouze jeden časovač.

ATMEGA164 je 8-bitový mikrokontrolér, který využívá pokročilé RISC architektury a může být taktován krystalem až do 8 MHz. V jeho základní instrukční sadě je 131 instrukcí, má 16 kB flash paměti, 2 kB RAM paměti a 1kB EEPROM paměti. Počet přepsání u flash paměti je 10 000 cyklů a u EEPROM až 100 000 cyklů. Programování mikrokontroléru je možné realizovat pomocí In-System Programming.

Obvod obsahuje dva 8-bitové časovače a jeden 16-bitový časovač, které je možné využít pro 6 PWM kanálů. Analogová data lze převést na digitální pomocí osmi desetibitových AD převodníků. Komunikovat může mikrokontrolér pomocí SPI, I2C nebo USART. O bezpečnost aplikací se může starat Watchdogtimer, který je taktován vlastním oscilátorem. Využít lze až 32 vstupů/výstupů. (5)

V této práci je použita takzvaná "V" řada. Ta je určena pro automobilový průmysl a má zvýšenou ochranu proti rušení. S tím ale souvisí některá omezení, jako například maximální taktovací frekvence 8 MHz. [5]

3.5 Snímač proudu ACS711

ACS711 je integrovaný obvod od firmy Allegro a využívá se k měření proudu. Vyrábí se ve čtyřech variantách podle typu pouzdra a maximální hodnotě snímaného proudu. Navíc se každá varianta ještě dělí na 2 typy podle provozní teploty: -40 °C až 85 °C, nebo -40 °C až 125 °C. Měření proudu je realizováno tak, že protékající proud indukuje magnetické pole, které je snímáno integrovanou Hallovou sondou a je převáděno na napětí. Vysoká přesnost měření je zaručena tím, že je sonda umístěna v těsné blízkosti vedení. Odpor vedení je u SOIC pouzdra 1,2 mΩ.

Obvod má 8 vstupů/výstupů. Měřený proud protéká přes zdvojené vstupy IP+ a IP−. Hodnota proudu převedená na napětí je na výstupu VIOUT. Obvod dokáže určit směr, v jakém proud protéká. Pokud je proud 0 A, na výstupu VIOUT se objeví polovina napájecího napětí. Pokud proud protéká od IP+ k IP-, napětí lineárně stoupá až k napájecímu napětí obvodu. V případě, že proud protéká od IP- k IP+, napětí lineárně klesá až k 0 V. V případě překročení maximální hodnoty proudu se indikuje chyba změnou logické úrovně na výstupu FAULT. [11]

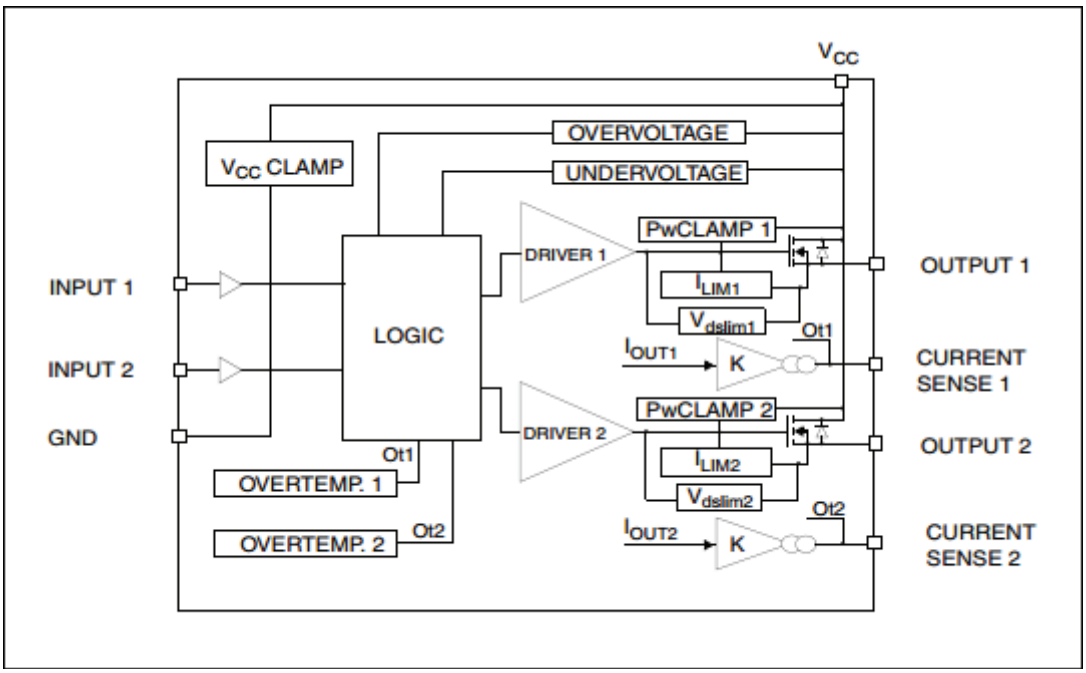
3.6 Driver VND600SP-E

VND600SP-E je integrovaný obvod od firmy ST Microelectronics. Tento dvoukanálový High Side budič pracuje s minimálním napětím 5,5 V a maximálním 36 V. Tento rozsah pokryje celé spektrum napájecího napětí, které jsou po této jednotky požadovány.

Proudové zatížení každého silového výstupu jednotky by mělo být minimálně

3 A. Tento obvod by měl podle datasheetu[x] zvládnout trvalý proud 25 A a špičkově až 40 A. Díky dvěma výstupům pro snímání proudů je možné detekovat pomocí A/D převodníku aktuální výstupní proud. Odpor R_{DS} je 30 mΩ. Obvod obsahuje vnitřní proudovou a teplotní ochranu.

Pro tuto jednotku bylo zvoleno pouzdro PowerSO-10. [12]



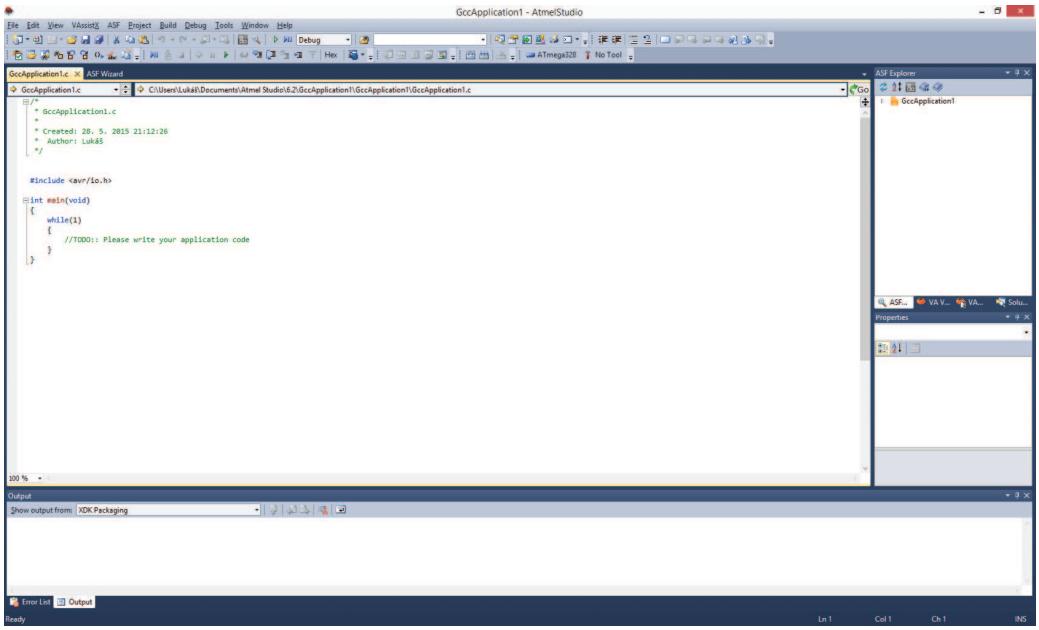
Obr. 3.6: Vnitřní uspořádání driveru VND600 [12]

4 PROGRAMOVÁNÍ

4.1 Atmel Studio 6.2

Atmel Studio 6 je integrované vývojové prostředí od firmy Atmel založené na Visual Studiu 2010 od společnosti Microsoft. Lze v něm programovat mikrokontroléry ARM Cortex a AVR. Programovat lze v několika programovacích jazycích: C / C++ nebo assembleru. Vývojové prostředí je možné zdarma stáhnout z oficiálních stránek společnosti Atmel. [4]

Prostředí spolupracuje s některými programátory mikrokontrolérů jako například AVR Dragon, JTAGICE3!, STK-500 a dalšími. Díky tomu lze program ladit online, což hodně zkracuje dobu vývoje programu a usnadňuje hledání nebo opravování chyb.



Obr. 4.1: Prostředí Atmel Studia 6.2

4.2 Jazyk C

C je programovací jazyk vyvinutý v sedmdesátých letech dvacátého století. Prvním standardem jazyka byla verze jeho autorů – Brian W. Kernighan a Denis M. Ritchie, popsaná v knize The C Programming Language. Khiha vyšla v roce 1978. Popisovaný standard jazyka se označoval jako K&R. V roce 1988 vyšel dodnes známý standard ANSI-C. Jedná se o jeden z nejpopulárnějších a nejpoužívanějších jazyků. [13]

Jazyk C je vyšší programovací jazyk strukturovaný do bloků. Základní blok,

kterému se podřizují ostatní bloky, se nazývá funkce. Celý program se skládá z množiny funkcí, které zpracovávají data a proměnné, jejichž prostřednictvím komunikují. [15]

U mikrokontrolérů se před vyvoláním programu C spouští počáteční (startup) modul, programový modul napsaný většinou v assembleru. Jeho prostřednictvím se provádí základní inicializace různých registrů mikrokontroléru, oblastí paměti, ukazatelů zásobníku (stack pointer) a vektorů přerušení. Po tomto spouštěcím kódu začíná i pro mikrokontrolér běh programu C vždy funkcí s názvem main(), která je vyvolána startup modulem. Proto je zavedení této funkce povinné.

4.3 Popis programu jednotky

Kompletní program i s komentáři je přiložen na CD. Je napsán v jazyku C a bylo použito vývojové prostředí Atmel Studio 6.2.

Na začátku programu dochází k inicializaci. Vloží se knihovny, nastaví se porty, nastaví se časovače a AD převodník, povolí se přerušení a zablokuje se motor. Nadeklarují se proměnné.

Prvním krokem, který program udělá, je zjištění polohy dveří. Pokud není přítomna nulová rychlost a dveře nejsou uzavřeny, dochází k okamžitému pokusu o uzavření.

Program běží v nekonečné smyčce "for" a neustále kontroluje, jestli se nezměnil některý z parametrů. Pokud dojde ke změně, hlavní program zareaguje některým z podprogramů a vrátí se zpět do nekonečné smyčky. Princip celého programu je založen na tom, že se pohybuje v předem definovaných stavech. Není tedy možné, aby nastal pro něj neznámý stav.

Po celou dobu běhu programu je počítána kontrolní číselná hodnota. Na základě správnosti této číselné hodnoty je resetován watchdog časovač. Pokud by nastala nečekávaná situace a číselná hodnota by neodpovídala, celý systém se resetuje. Tím je zabezpečeno náhodné vyběhnutí do neznámého stavu z jakéhokoliv důvodu.

O generování pulzů ovládajících rychlost otáčení motorů se stará šestnáctibitový časovač TIMER1 pracující v takzvaném Fast PWM Mode. Parametry se podařilo nastavit tak, aby frekvence byla 16 kHz a střída regulovatelná po půl procentu. Hlavní výhodou tohoto časovače pracujícího mimo hlavní program je to, že je možné spustit/zastavit motor v jakémkoli okamžiku.

Vyhodnocování proudu se provádí pomocí A/D převodníku, Ten využívá referenčního napětí z pinu AREF. Pokud je proud do motoru 0 A, je na vstupu A/D převodníku 2,5 V. Při zvyšujícím se proudu kladným směrem stoupá hodnota napětí na maximálně 5 V, při stoupající hodnotě proudu záporným směrem hodnota napětí klesá k 0 V.

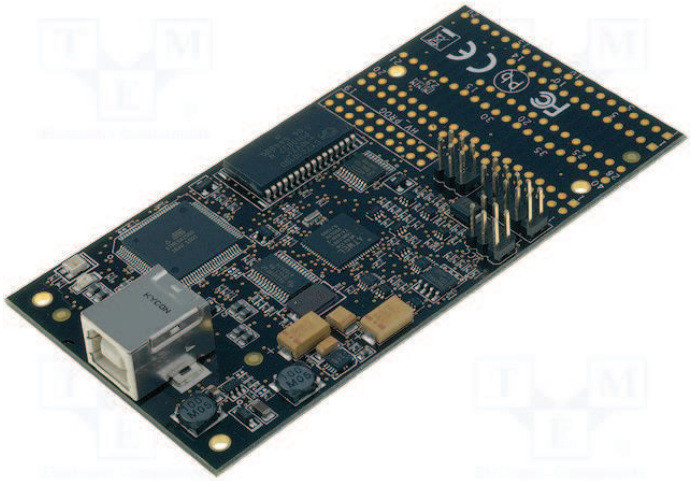
Program uvedený v této práci je optimalizován pro nový autobusový pohon. Jeho další evolucí bude vytvoření univerzálního programu pro standardní typy pohonů tak, jak je uvedeno v požadavcích v první kapitole této práce.

4.4 AVR Dragon

AVR Dragon je levný a dostupný ladící prostředek od firmy Atmel. Lze s ním programovat mikrokontroléry řady ATtiny a ATmega. Spolupracuje s Atmel Studiem. Podporuje všechny programovací módy rodiny AVR a je v něm zabudována kompletní podpora emulace programu s 32 kB flash paměti.

Základní vlastnosti AVR Dragon:

- Podporované programovací a ladící rozhranní.
- Programování přímo v aplikaci – ISP 3-vodičové, signálové rozhranní, bez napájecího napětí.
- JTAG programovací 4-vodičový, signálové IEEE® 1149.1 rozhranní.
- Sériové programování vyšším napětím.
- Paralelní programování
- JTAG ladění pro součástky s Flash pamětí do 32KB.
- DebugWIRE - jednovodičové AVR ladící rozhranní.
- Komunikace s PC a napájení prostřednictvím rozhraní USB – není třeba žádný zvláštní napájecí zdroj.
- Možnost externího napájení.



Obr. 4.2: Vývojový kit AVR Dragon [14]

Na desce jsou osazeny tři konektory. Prvním je konektor pro ISP, druhým je JTAG konektor a konektor pro externí napájení s proudovým odběrem maximálně 300 mA. Na desce jsou dále otvory pro konektor paralelního programování. [14]

5 KONSTRUKCE JEDNOTKY

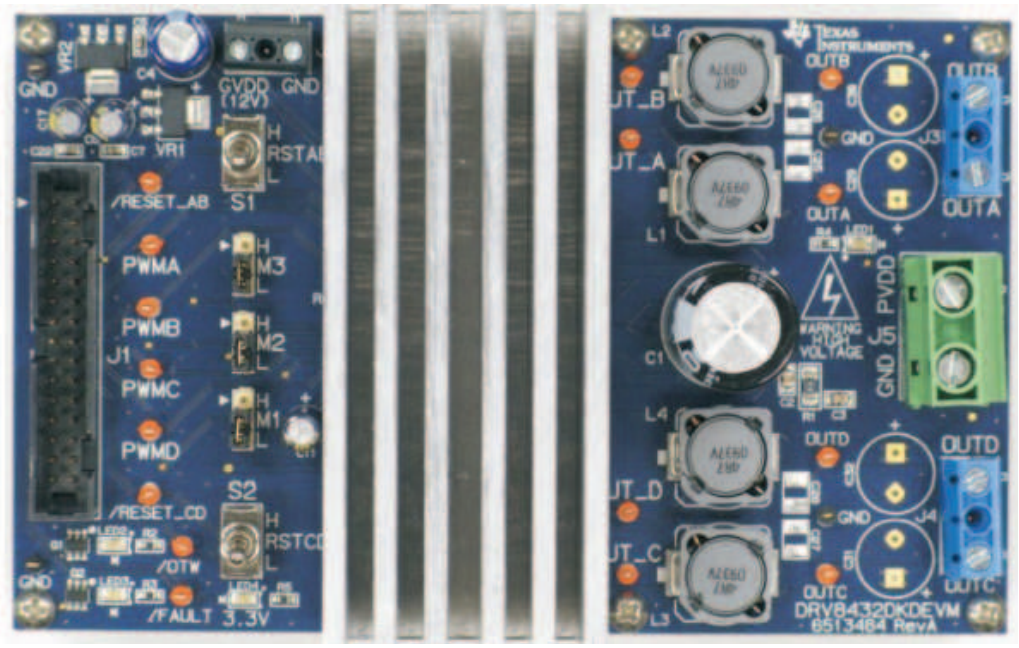
První a druhý prototyp má navrženy desky plošného spoje v programu Eagle. Tyto DPS jsou vyrobeny u společnosti ČeMeBo. Oba prototypy jsou ručně osazeny a umístěny do kovové krabičky, která zajišťuje správné chlazení některých součástek.

5.1 Arduino + Evaluační modul

Pro ověření možnosti použít u řídicí jednotky h-můstek DRV 8432 bylo rozhodnuto zakoupit evaluační modul DRV8432EVM od firmy Texas Instruments. Tento modul byl objednán přímo u výrobce za cenu 149 dolarů. Pro řízení tohoto modulu bylo použito Arduino UNO.

Arduino bylo zvoleno z několika důvodů. Prvním byla jeho samotná přítomnost ve firmě IGE, nebylo tedy potřeba nic kupovat nebo vyvíjet. Druhým důvodem byl předpoklad použití stejného mikrokontroléru u samotné jednotky a třetím důvodem byly bohaté zkušenosti s touto platformou.

První věcí, která se řešila při propojení arduina s evaluačním modulem byla rozdílná úroveň řídicích signálů. Arduino pracuje s 5 V logikou, evaluační modul s 3,3 V logikou. Tento rozdíl se vyřešil jednoduchým odporovým děličem. Toto řešení je natolik jednoduché, funkční a levné, že se použilo i u dalších verzí jednotek.



Obr. 5.1: Evaluační modul DRV8432EVM [9]

Testování probíhalo následujícím způsobem: K modulu se připojil 100W motor s prokluzovou spojkou nastavenou na odběr motoru 5 A. Napájecí napětí motoru bylo 24 V, takže výsledná zátěž byla přibližně právě 100 W. Modul se připojil na napájecí napětí 12 V, piny a přepínače se nastavily na mód Dual full bridge. Signálními vodiči se připojilo arduino s jednoduchým obslužným programem.

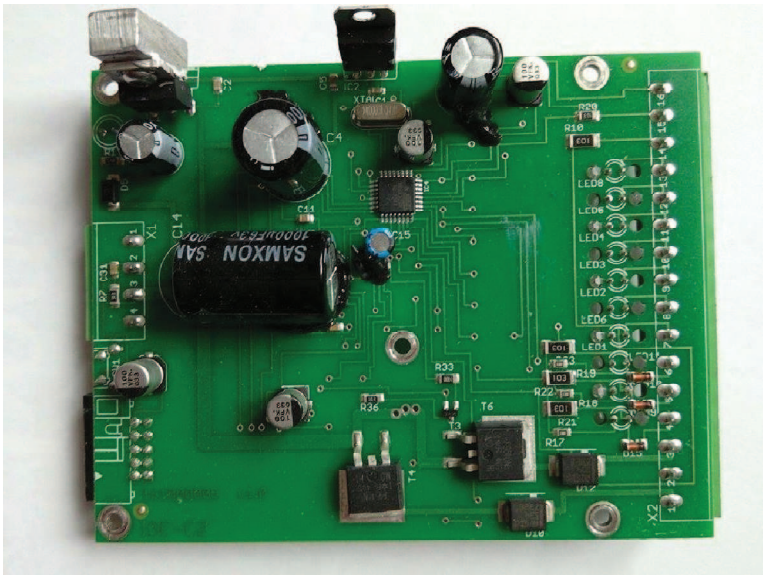
Maximální doba otevíracího/zavíracího cyklu jednotek je 10 sekund. Proto se jako simulace reálného prostředí použila tato hodnota. Motor cykloval v intervalech 10 sekund sepnuto, 10 sekund vypnuto. Směr otáčení se při každém sepnutí měnil. Hodnota PWM signálu byla nastavena na maximum, kterou integrovaný obvod povoluje, tedy 99 %.

Modul se takto nechal cyklovat jeden den. Během celého cyklování se neprojevil žádný problém, a proto bylo rozhodnuto o použití tohoto driveru pro řídicí jednotku. Zatížení integrovaného obvodu nebude při cyklování na stojanu dveří, ani při reálnem provozu tak náročné, jako byl tento test.

5.2 První prototyp

Výroba prvního prototypu řídicí jednotky firmou IGE-CZ měla sloužit k ověření navrhovaného konceptu. Protože by nebylo možné jednotku testovat bez chlazení h-můstku a stabilizátoru, tak na ni byla navržena kovová krabička. Ta samozřejmě slouží i k uchycení a ochraně plošného spoje.

Jako testovací stojan byly zvoleny dvoukřídlé vněkyvné dveře. Na tomto stojanu probíhalo vytváření a ladění programu pro řídicí jednotku. Současně vždy mimo programování jednotka cyklovala. Celkový počet cyklů před ukončením tohoto prototypu byl necelých 200 000 cyklů. Tím se ověřila životnost jednotky.



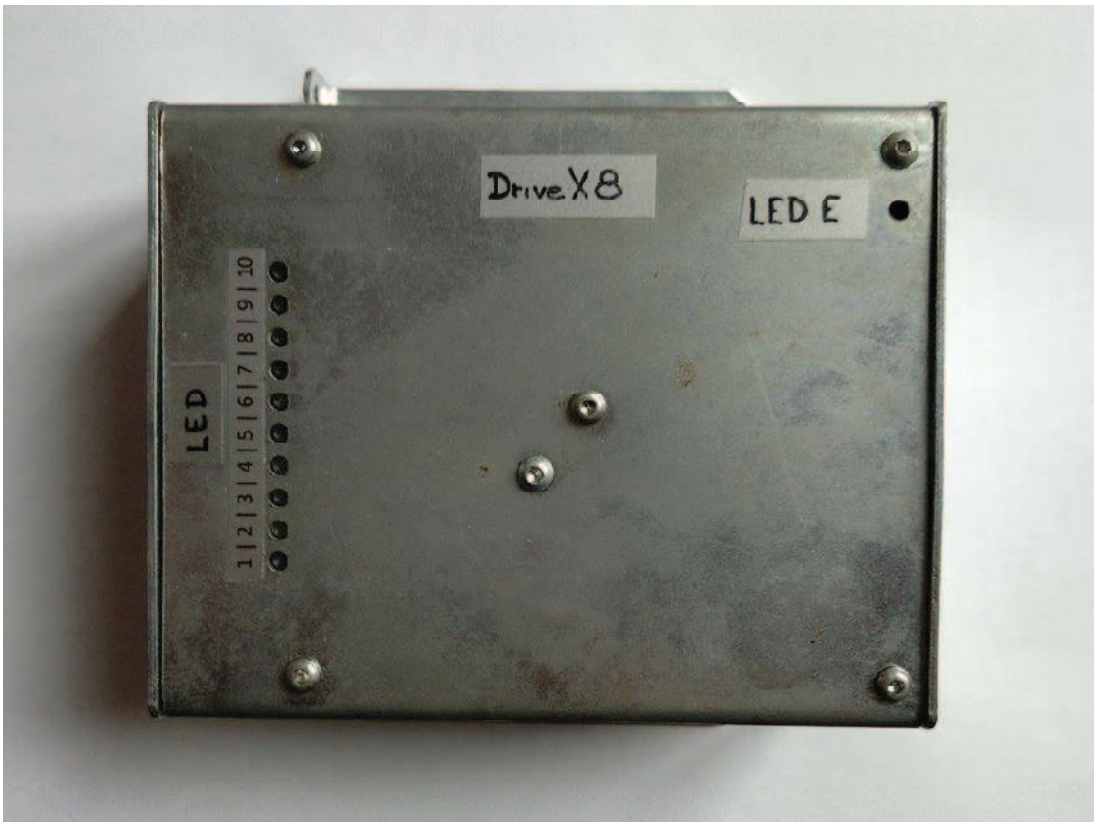
Obr. 5.2: Osazená DPS prvního prototypu

Koncepce programu, který tuto jednotku ovládal, se nakonec ukázala jako chybná. Docházelo v něm k občasnému zacyklení, ale hlavní nevýhodou bylo špatné využití časovačů. Protože generování signálu PWM pro motor probíhalo s využitím dvou časovačů, nezbývalo pak moc prostoru jak zabezpečit bezpečný chod dalších funkcí. Jednotka musí vyhodnocovat vstupy a vnitřní informace prakticky okamžitě, což

byl u této verze programu problém. Proto se od ní upustilo.

Dalšími nevýhodami této jednotky bylo horší využití pinů a špatné rozložení součástek pro osazování.

Celkově ale tento prototyp splnil svůj účel. Byl na něm otestován celkový koncept, součástky, program i životnost. Chyby návrhu a získané poznatky se uplatní v další verzi prototypu.



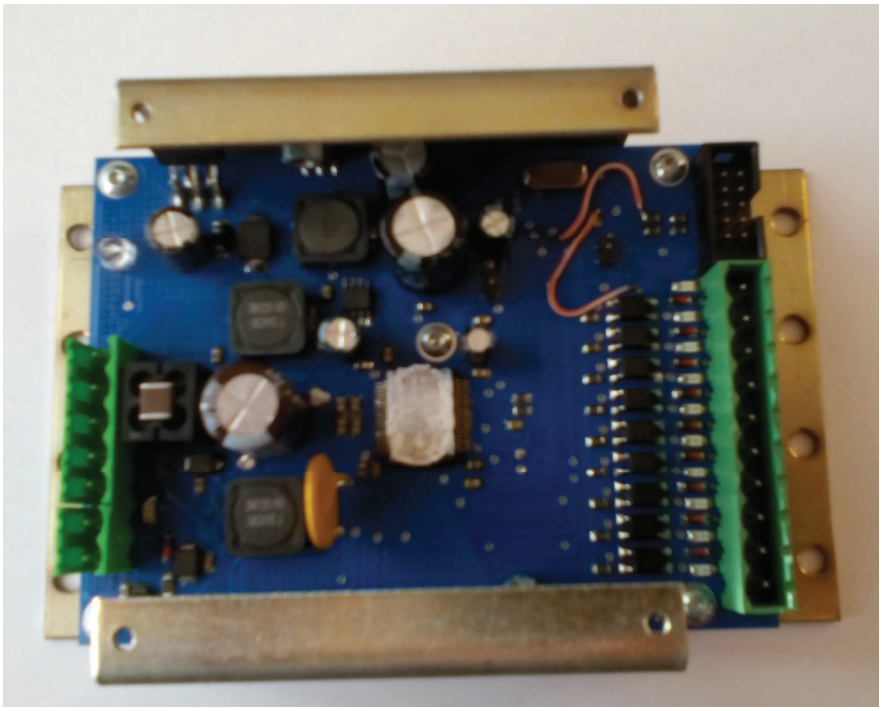
Obr. 5.3: Krabička prvního prototypu

5.3 Druhý prototyp

5.3.1 Změny oproti prvnímu prototypu

Tento prototyp je v mnoha ohledech odlišný od prvního. Asi největším rozdílem je změna mikrokotroléru z ATMEGA328P na ATMEGA164V. Důvod je jednoduchý – vetší počet vstupů/výstupů. První prototyp měl využity úplně všechny piny a nebylo možné realizovat některá potřebná rozšíření. S touto výměnou souvisí i změna frekvence krystalu z 16 MHz na 8 MHz, tedy maximální frekvence, kterou tento typ MCU povoluje.

Dalším rozdílem je přidání odrušovacích filtrů a přepěťových ochran pro budoucí testování na EMC. Změny proběhly také v oblasti silových výstupů. MOSFET tranzistory typu P byly nahrazeny modernějším integrovaným obvodem VND600. Důvodem byla proudová ochrana silového výstupu a předpokládaná větší ochrana při EMC.



Obr. 5.4: Osazená DPS druhého prototypu umístěná v krabičce

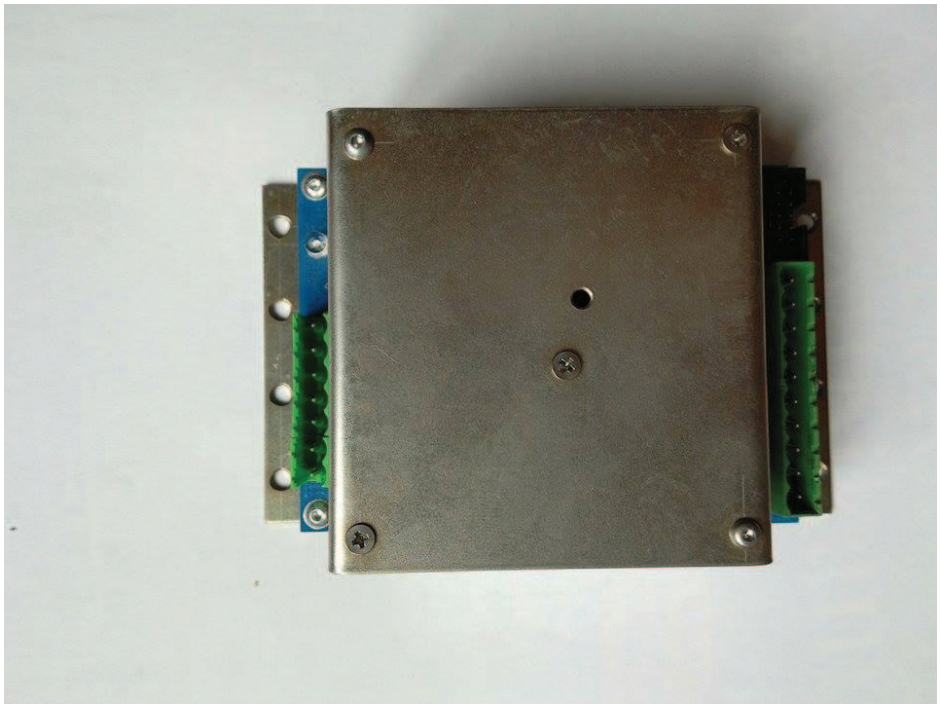
Změny se dotkly také konektorů. V předchozí verzi byly použity konektory MSTBA od firmy Phoenix contact. Jeden konektor měl 4 vývody a druhý 16 vývodů. V této verzi jsou použity konektory se sedmi a deseti vývody.

Asi největším problémem první verze bylo vyhodnocování koncových spínačů. Ty se aktivovaly připojením GND. Pokud obsluha nedopatřením připojila kladný pól napájení tak, jak byla zvyklá u jiných jednotek, došlo k okamžitému zničení mikrokontroléru.

Změnil se také layout plošného spoje. Ten byl optimalizován tak, aby jeho výroba a osazení bylo co nejlevnější. Předpokládaný postup osazení je následující: SMD součástky na bottom straně se osadí do lepidla a nechají vytvrdit. Poté se osadí SMD součástky na top straně do pájecí pasty a zapájí se přetavením. Posledním krokem by mělo být osazení vývodových součástek a jejich zapájení společně s SMD na bottom straně vlnou.

5.3.2 Přizpůsobení pohonu

Protože je tato jednotka primárně určena do nového autobusového pohonu, je potřeba při vývoji spolupracovat s konstruktérem tohoto pohonu. Tuto verzi bylo potřeba navrhnout s maximálními rozměry plošného spoje 110×80 mm. Maximální rozměry krabičky jednotky mohly být 140×90 mm. Krabička ovšem musí obsahovat uchycení k pohonu. Dále bylo potřeba upravit konektory z úhlového vyvedení vodičů do přímého vyvedení. Důvod je opět prostý – nedostatek místa v pohonu.



Obr. 5.5: Druhý prototyp v kovové krabičce

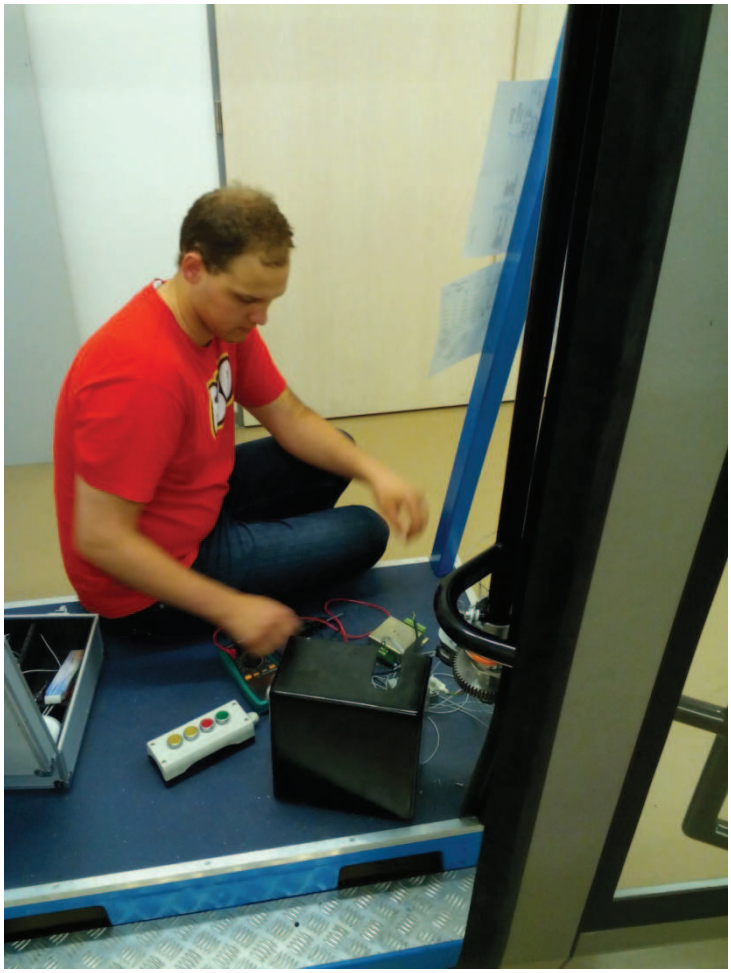
Protože pohon vyjíždí na tzv. korunku, která zajišťuje zajetí dveří do zámků, bylo potřeba upravit vačky určující polohu pohonu tak, aby právě pro tento dojezd byl zvýšen výkon motoru. V praxi celý cyklus zavírání dveří probíhá následovně: Dveře se začínají otevírat z polohy otevřeno zpomalenou rychlostí. Po čase dojedou na vačku pro zrychlení. Těsně před zavřením opět zpomalí, tak aby při dovření dveře nebouchly do portálu. Jakmile se dveře zavřou, musí vyjet směrem vzhůru do zámků. V tuto chvíli je potřeba, aby motor opět zrychlil a měl sílu dveře do zámků vytlačit.

5.4 Finální verze

Druhý prototyp odhalil některé nedostatky, které bude potřeba pro finální verzi upravit. Servisní tlačítko, které bylo plánováno variabilně přidělávat do krabičky podle druhu pohonu, bude umístěno trvale na plošný spoj mezi diodu signalizující přítomnost napájení a napájecí konektor.

Další úpravou bude přidání CY kondenzátoru o kapacitě 22 nF na vstup odrušovacího filtru. U druhého prototypu muselo být přímo na plošném spoji propojkami upraveno využití dvou pinů tak, aby bylo jednodušší použít časovač pro generování PWM motoru. Tato změna bude zmíněna v návrhu plošného spoje.

Pro finální verzi bude potřeba použít tloušťku mědi plošného spoje 70 μm. Je to z důvodu proudového zatížení silových spojů v těsné blízkosti h-můstku. Protože by mohlo dojít při takové tloušťce mědi a malých mezerách mezi ploškami h-můstku k podleptání měděné vrstvy, je tato změna konzultována s dodavatelskou firmou ČeMeBo.



Obr. 5.6: Ladění jednotky přímo na pohonu

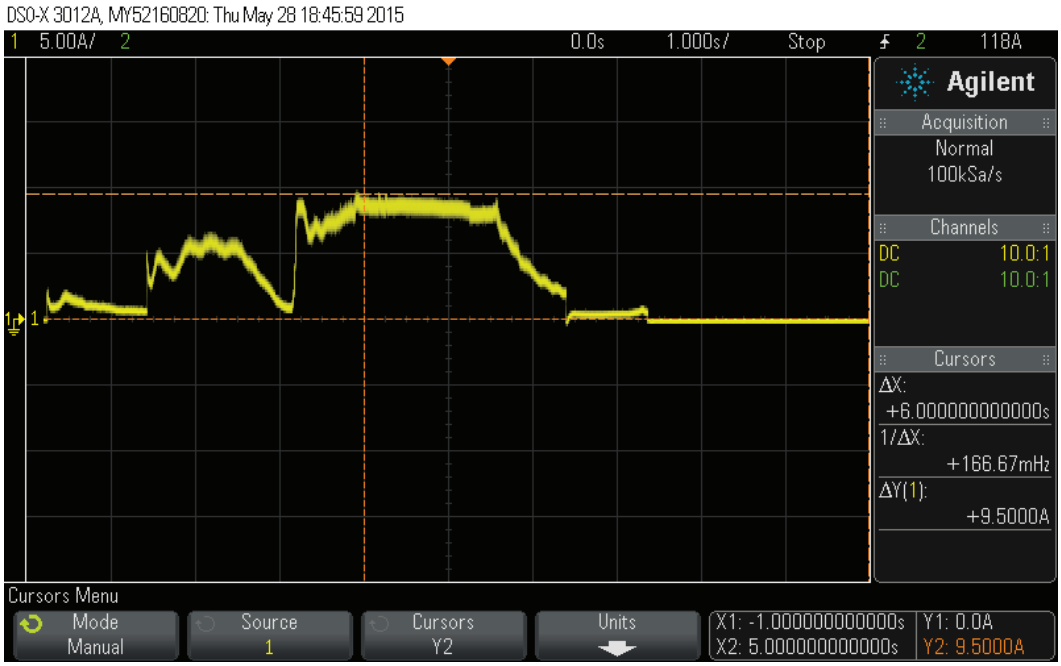
5.5 Proudové charakteristiky pohonu

U každého pohonu, který je určen k expedici, je nutné změřit proudovou charakteristiku. Může také sloužit k ověření správné funkce řídicí jednotky, případně k otestování limitů. Testování probíhá tak, že se do jednotky nahraje odpovídající program a dveře se otevírají a zavírají. Testování probíhalo pomocí proudové sondy a osciloskopu. Proudová sonda byla připojena vždy na vodič motoru.

Správný průběh u námi testovaného pohonu by měl být při zavírání tento: Motor se rozjede normální rychlostí. Při rozjezdu motoru dochází k první proudové špičce v čase t = 0 s. V čase t = 1,4 s dojede na koncový spínač zvýšená rychlost. Motor zrychlí a dochází k další proudové špičce a následnému ustálení. V čase t = 2,6 s dochází k přepnutí zpět na normální rychlost, aby dveře zpomalily před dovřením. Proud v tomto úseku klesá. Poté se dveře dovřou a v čase t = 3,15 s dochází opět ke zvýšení rychlosti tak, aby zajely do zámků. Zde dochází k nejvyššímu proudovému zatížení, které dosahuje až 9,5 A. V čase t = 6,4 s jsou dveře uzavřeny.

V průběhu testování bylo zjištěno, že PWM 75% je u tohoto pohonu minimální hodnota, u které dojde ke spolehlivému uzavření. Byly otestovány průběhy pro různé

úrovně PWM u otevření i uzavření. Tyto průběhy jsou přiloženy na CD.



Obr. 5.7: Proudová charakteristika při PWM 75 %

5.6 Měření napájecího proudu

V tabulce 5.1 jsou uvedeny hodnoty vstupního proudu v klidovém režimu, tedy pokud je připojeno pouze napájecí napětí a jednotka nepracuje. Tyto hodnoty byly změřeny pro standardní autobusová napětí a pro 24 V ± 30 %.

Tab. 5.1: Naměřené hodnoty proudů při různých napájecích napětích

U_{NAP} [V]	I_{IN} [mA]
10,5	70,8
12	60,1
13,8	58,7
16,8	50,9
24	34,5
31,2	30,8

5.7 Měření vstupního proudu optočlenů

Dalším měřením, které bylo potřeba udělat bylo měření proudu do opticky odděleného proudu. Jednotka byla navržena tak, aby při napětí 24 V byl vstupní proud přibližně 20 mA. Tato hodnota byla zvolena tak, aby odpovídala proudu LED diodou, optočlenem a zenerovou diodou. V následující tabulce 5.2 jsou uvedeny naměřené

hodnoty pro různé hodnoty rezistorů, které *nastavují* vstupní proud.

Tab. 5.2: Naměřené hodnoty vstupních proudů do optočlenů.

U_{NAP} [V]	I_{IN10k} [mA]	I_{IN4k7} [mA]	I_{IN1k} [mA]
10,5	0,42	0,93	3,77
12	0,56	1,25	5,14
13,8	0,73	1,58	6,70
16,8	0,94	2,05	8,85
24	1,71	3,67	16,43
31,2	2,44	5,11	22,90

Po vyzkoušení a změření rezistorů s hodnotami 1 kΩ, 4,7 kΩ a 10 kΩ bylo nakonec rozhodnuto použít rezistor o hodnotě 4,7 kΩ. Důvody byly dva. Prvním byla vysoká svítivost LED diod, což by mohlo být kontraproduktivní. Druhým důvodem bylo menší zatížení zdroje signálu.

Ke spolehlivému otevření optočlenu dojde při proudu kolem 0,5 mA. Na zenerově diodě sice není napětí 3,9 V, ale to není omezující faktor.

5.8 Ekonomické zhodnocení

Výroba DPS u druhého prototypu byla poptána u čtyř firem – Gatema s.r.o., AJ Technology, Jaromír Buček a ČeMeBo s.r.o.. Jako nejvýhodnější byla shledána nabídka společnosti ČeMeBo. Celková cena za 12 kusů DPS byla 1934,40 Kč, tedy 161,20 Kč za kus. Nabídka je přiložena na CD.

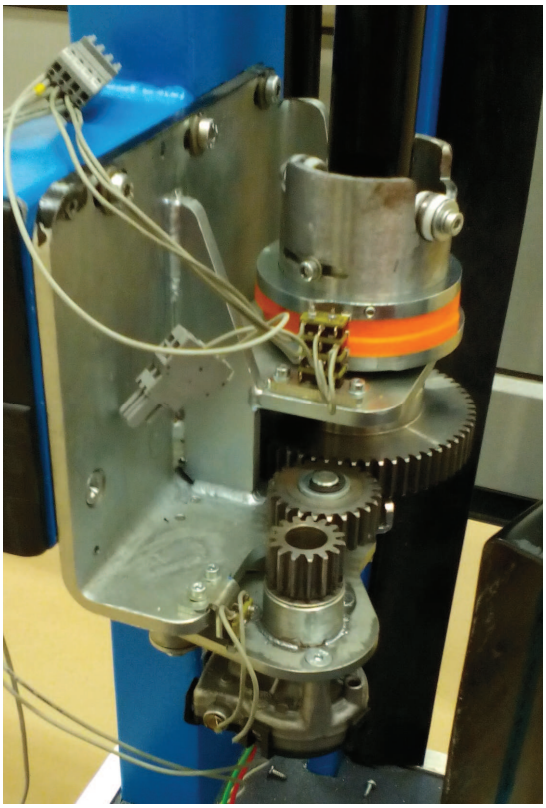
Parametry plošného spoje jsou tyto:

Dvouvrstvá DPS
Rozměry 110×80 mm
Modrá nepájivá maska
HAL bez PB
Elektrický test
Frézování

Dále byla poptána sériová výroba 150 kusů řídicích jednotek. Bylo osloveno několik dodavatelů elektronických součástek. Nejlepší cenovou nabídku poskytnula firma TME. Součástky na jeden kus jednotky vychází na 606,32 Kč. Osazování bylo poptáno u firmy SMTplus.CZ s.r.o. jeho cena by při množství 150 kusů byla 137 Kč.

DPS byla opět poptána u firmy ČeMeBo. Cena plošného spoje by byla při takovémto množství kusů 90 Kč. Výsledná cena jednotky tedy vychází na 833 Kč. Touto cenou by byl splněn základní požadavek na co nejnižší výrobní náklady.

Obr. 5.8: Stojan s novým autobusovým pohonem



Obr. 5.9: První verze autobusového pohonu

6 ZÁVĚR

V této práci jsem se v první kapitole věnoval popisu dostupných řídicích jednotek RC2 a DriveX32. Jedná se o dvě rozdílné řídicí jednotky. První je jednodušší a levnější, protože nemá tolik vstupů a výstupů. Také není vybavena sběrnicemi CAN a ethernet.

Nejdříve jsme sepsali požadavky na program řídicí jednotky, ze kterých vycházelo i výsledné schéma řídicí jednotky. Nejdříve bylo potřeba definovat počet vstupů a výstupů, aby bylo možné zvolit vhodný mikrokontrolér. Tímto vhodným mikrokontrolérem se zdál být ATMEGA328. Prvním důvodem pro tento výběr byl dostatek vstupů/výstupů. Druhým faktorem bylo testování evaluačního modulu ve spojení s Arduinem UNO disponujícím právě tímto mikrokontrolérem.

Stabilizátory jsem zvolil pro 12 V spínaný LM2576, protože na jeho vstupu bude velký rozptyl napětí, což by u lineárního stabilizátoru způsobovalo buď velké tepelné ztráty při horní hranici napětí, nebo naopak nedostatečnou funkčnost u spodní hranice napětí. Na napětí 5 V bude stačit lineární stabilizátor, protože se nejedná o velký úbytek napětí mezi 12 V a 5 V, při předpokládaném odebíraném proudu 200 mA. Jeho další výhodou bylo malé množství součástek potřebné k jeho funkčnosti.

H-můstek DRV8432 byl zvolen vzhledem k jeho poměrně nedávné době uvedení na trh, kdy se předpokládá dlouhá doba, po kterou bude vyráběn. Jeho další výhodou je vysoká integrace funkcí. Pro měření proudu jsem uvažoval mezi zapojením s operačním zesilovačem a obvodem ACS711. Nakonec jsem se rozhodl pro tento integrovaný obvod z důvodu přesnosti měření a jeho jednoduchého zapojení.

Prvotní testování ukázalo správnost konceptu takto vymyšlené jednotky. Bohužel jsem v návrhu plošného spoje udělal několik drobných chyb, které omezovaly její funkčnost. Vše se ale vyřešilo přerušením vodičů a drátovou propojkou.

Zjistili jsme, že z praktického hlediska není možné koncové spínače uzemňovat. Velice snadno se může servisním pracovníkům stát, že koncové spínače připojí na kladný pól napájení, a tím dojde ke zničení mikrokontroléru.

V průběhu práce bohužel došlo ke změnám v původní firmě IGE-CZ, která byla uzavřena. Projekt ovšem převzala společnost ultimat3D technology s.r.o. Novým konzultantem práce se stal pan Chromec. Došlo ke změně některých požadavků na řídicí jednotku a pod hlavičkou této firmy byl vytvořen druhý prototyp.

Druhý prototyp jednotky jsem navrhoval s ohledem na její budoucí sériovou produkci. Osazování a pájení by mělo být co nejjednodušší, nejlevnější a měla by být co nejmenší zmetkovitost. Odstranil jsem chyby předchozí verze a aplikoval nové poznatky.

Celý průběh bakalářské práce byl poznamenám právě výměnou firmy. Změnily se některé požadavky, musel se přepracovat koncept, aby nedošlo k podezření z kopírování. Protože řídicí jednotka a pohon se dodávají jako komplet, musí se při vývoji obou nových produktů úzce spolupracovat s konstruktéry mechanické části. Docela časté, mnohdy i zásadní změny občas v konstrukci znamenaly velké úpravy v softwaru i hardwaru jednotky. Jako příklad bych uvedl změnu vaček koncových spínačů, změny průběhu rychlosti zavírání dveří, tak aby vlivem setrvačnosti nedocházelo k nárazům

dveří.

V současné době jednotka funguje podle požadavků zákazníka na nový autobusový pohon. Jednotka detekuje kontaktní lištu, otevírá a zavírá dvěma rychlostmi, těmto rychlostem je adekvátně nastavený nadproud, bezpečnost zajišťuje nulová rychlost.

Do budoucna je potřeba vytvořit univerzální software podle požadavků v úvodu této práce. Tento software odpovídá pohonům se standardním nebo posuvným stojanem, kterým zatím zadavatelská firma nedisponuje.Úpravy na plošném spoji, které byly navrženy pro finální verzi jsou již zpracovány.

LITERATURA

[1] ŠINDLER, Jan. Manuál řídicí jednotky RC2. Brno: IGE-CZ 2012

[2] ŠINDLER, Jan. Manuál řídicí jednotky DriveX32. Brno: IGE-CZ 2014

[3] MATOUŠEK, David. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - ATmega16. Praha: BEN, 2006. ISBN 80-7300-174-8

[4] Atmel Corporation. Oficiální web [online]. ©2014 [cit. 2014-12-14].

Dostupný z: http://www.atmel.com

[5] Atmel Corporation. 8-bit. Microcontroller ATmega164 [online]. ©2014 [cit. 2014-

12-14]. 505 s. Dostupný z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-8011-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega164P-324P-644P_datasheet.pdf

[6] KUBÍČEK, Michal. Stručný návod pro návrh přístrojového napájecího zdroje. Brno: VUT [online]. ©2014 [cit. 2014-12-14]. 33 s. Dostupný z: http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_documents/studium/predmety/bnez/Navrh_pristrojoveho_zdroje.pdf

[7] Texas Instruments. LM2576 [online]. ©2014 [cit. 2014-12-14]. 37 s. Dostupný z: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf

[8] ST MICROELECTRONICS . Positive voltage regulator L7805 [online]. ©2014 [cit. 2014-12-14]. 57 s. Dostupný z: http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/L7805.pdf

[9] Texas Instruments. Dual Full Bridge PWM Motor Driver [online]. ©2014 [cit. 2014-

12-14]. 34 s. Dostupný z: http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/drv8432.pdf

[10] IGE-CZ. Produkty. Ige.cz [online]. ©2014 [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: http://www.ige.cz/produkty/standard-dvere/

[11] Allegro MicroSystems. Hall Effect Linear Current Sensor with Overcurrent Fault Output for <100 V Isolation Applications ©2014 [cit. 2014-12-14]. 16 s. Dostupné z: http://www.allegromicro.com/~/Media/Files/Datasheets/ACS711-Datasheet.ashx

[12] ST MICROELECTRONICS . VND 600 [online]. ©2014 [cit. 2015-05-14]. 26 s. Dostupný z: http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00003033.pdf

[13] HEROUT, Pavel. Učebnice jazyka C. Praha: KOPP, 2013. ISBN 978-80-7232-383-8

[14] ATMEL, ATAAVRDRAGON - návod k použití [online]. ©2014 [cit. 2015-05-14]. 7 s. Dostupný z: https://www.gme.cz/img/cache/doc/752/534/prog-at-dragon-cznavod-1.pdf

[15] BURKHARD, Mann: C pro mikrokontroléry. Praha: BEN – technická literatura, 2003, s. 11-30. ISBN 80-7300-077-6

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

ANSI	American National Standards Institute
CAN	Controller Area Network
DPS	Deska plošného spoje
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
MCU	Mikrokontrolér
PWM	Pulzně šířková modulace

SEZNAM PŘÍLOH

A Návrh zařízení **35**

A.1 Schéma zapojení 1/3 35

A.2 Schéma zapojení 2/3 36

A.3 Schéma zapojení 3/3 37

A.4 Deska plošného spoje – BOTTOM 38

A.5 Deska plošného spoje – TOP 38

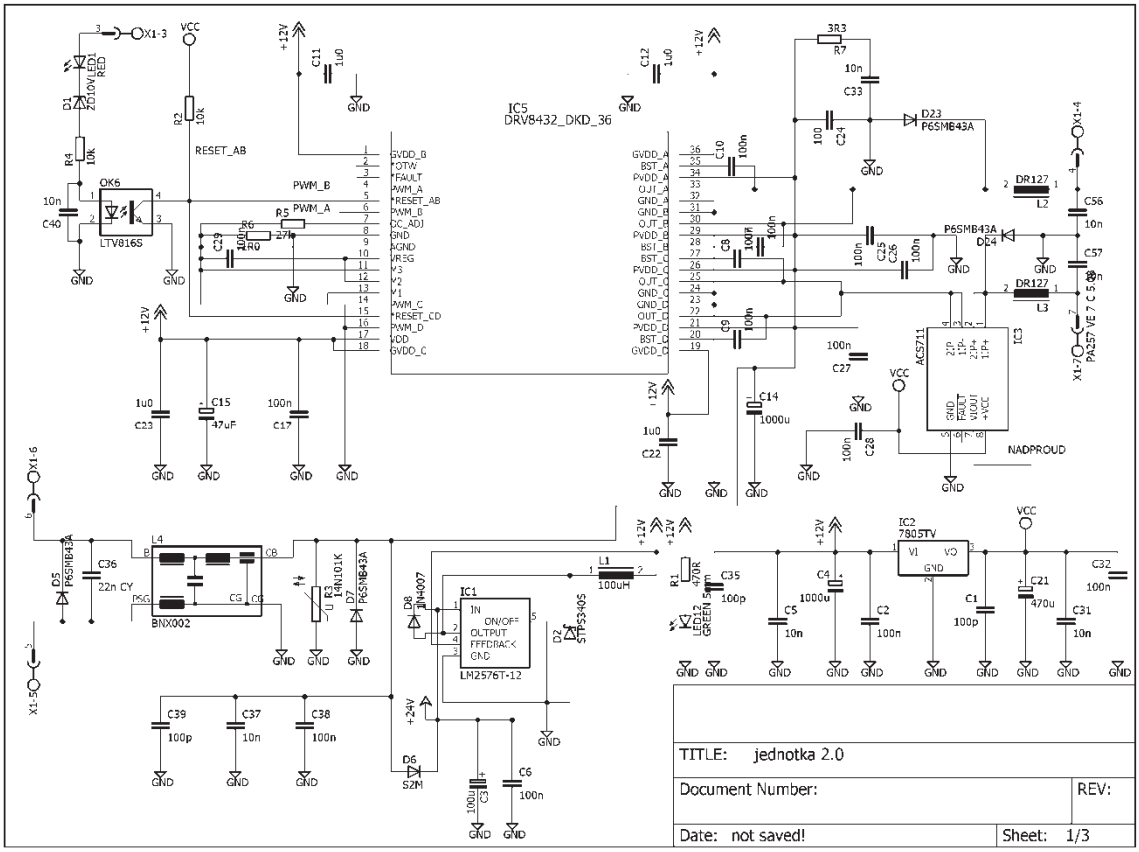
A.6 Osazovací plán – TOP 39

A.7 Osazovací plán – BOTTOM 39

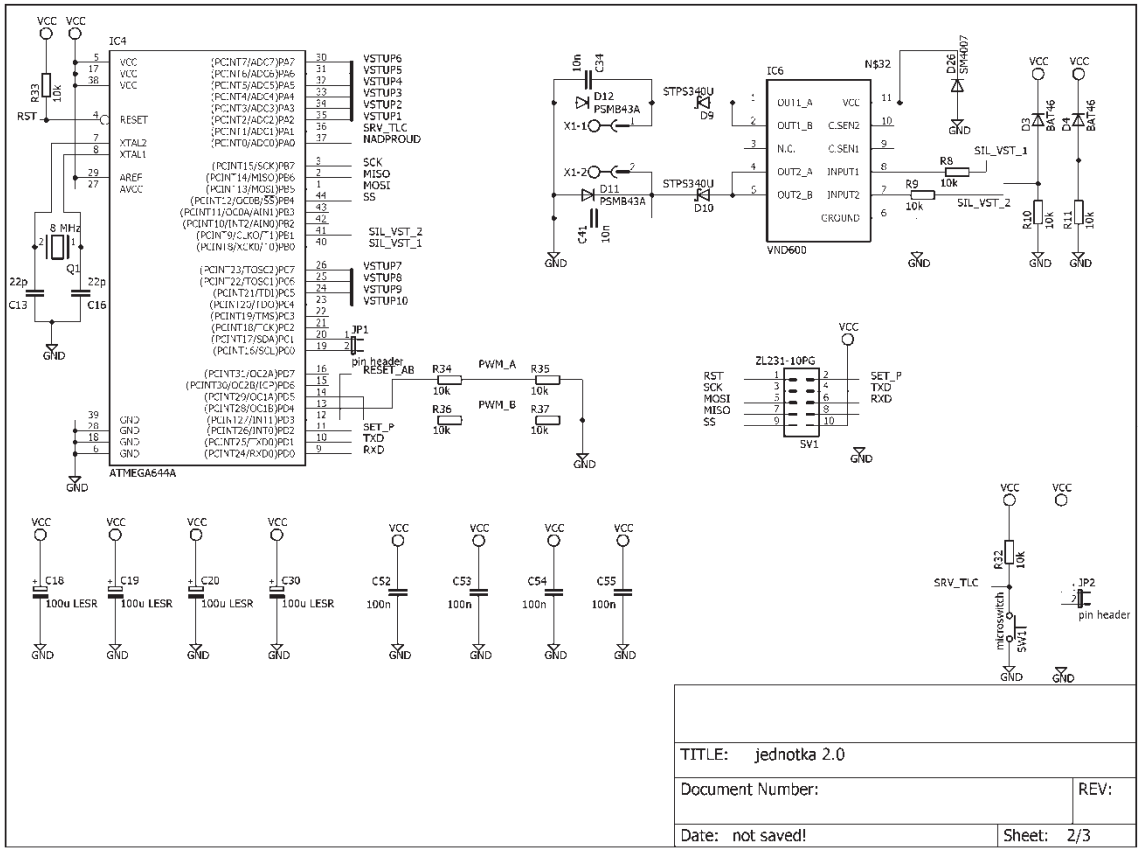
B Seznam součástek **40**

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

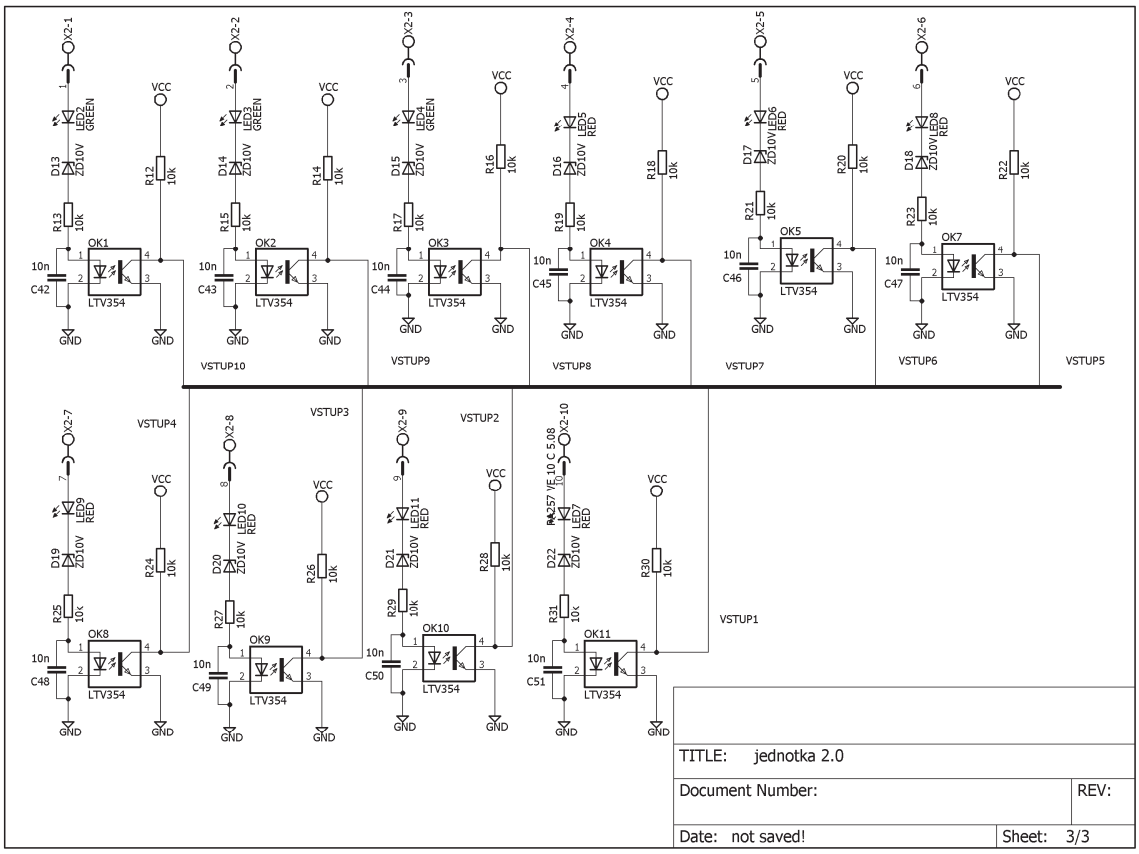
A.1 Schéma zapojení 1/3



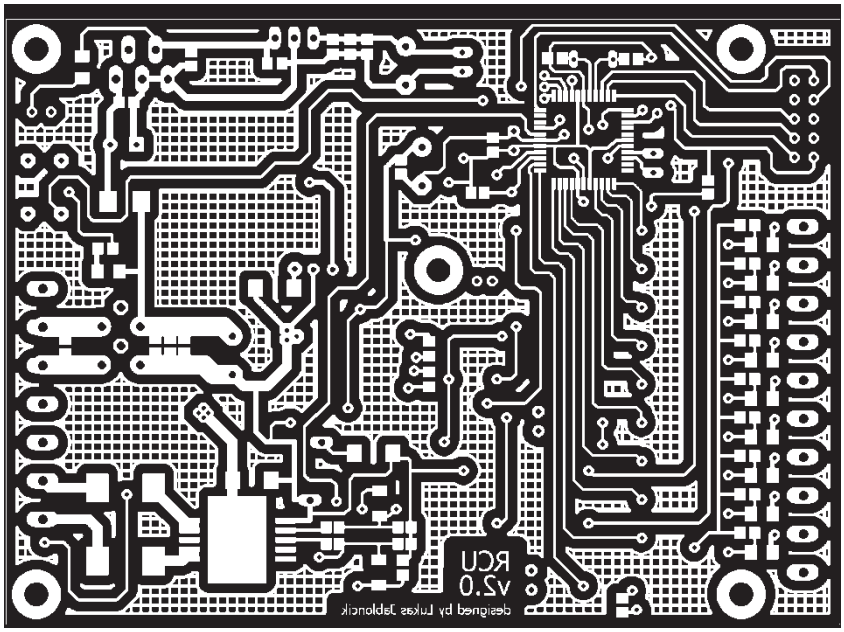
A.2 Schéma zapojení 2/3



A.3 Schéma zapojení 3/3

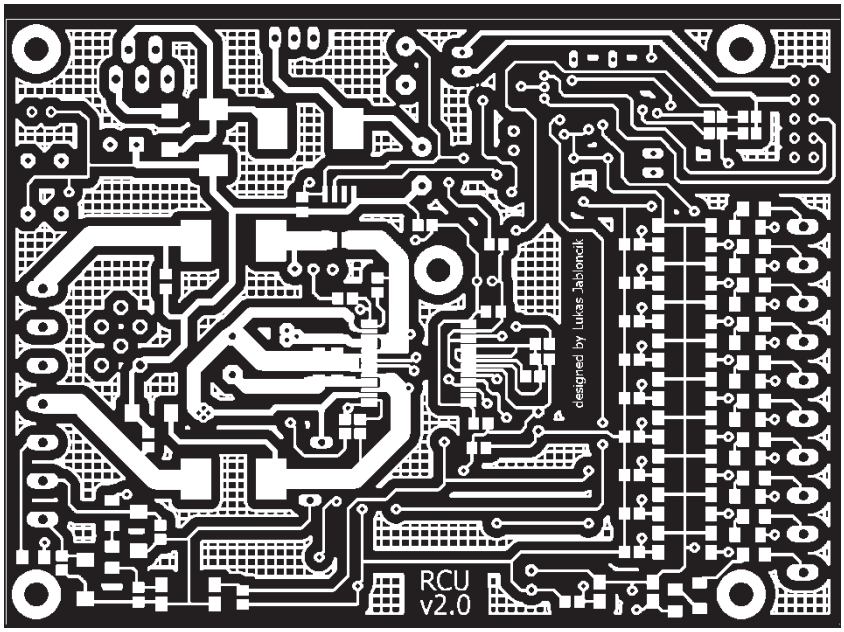


A.4 Deska plošného spoje – BOTTOM



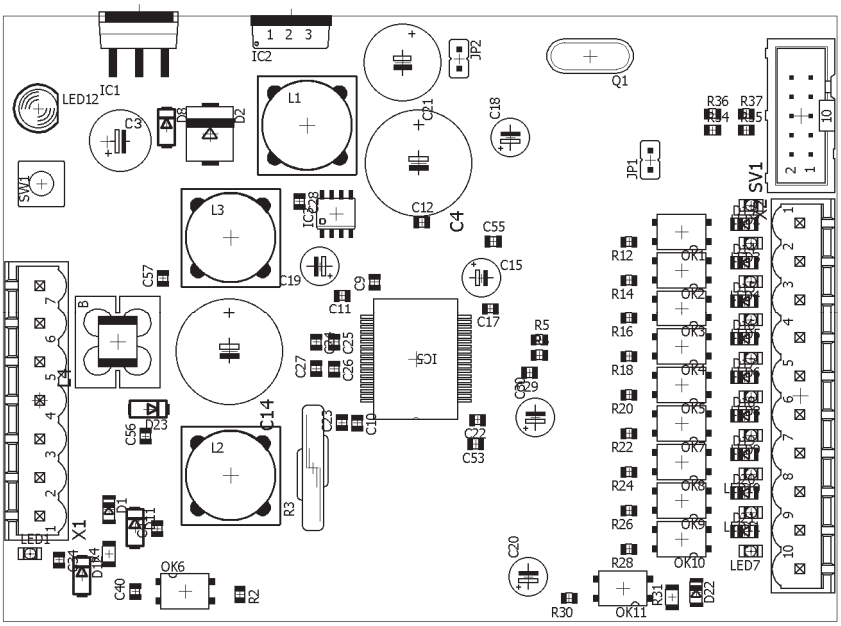
Rozměr desky 110 x 80 [mm], měřítko M1:1

A.5 Deska plošného spoje – TOP

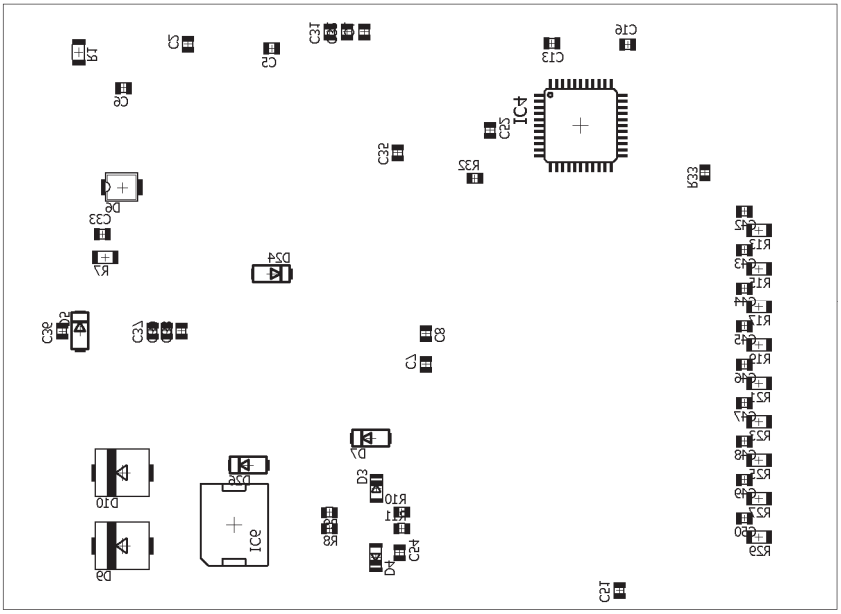


Rozměr desky 110 x 80 [mm], měřítko M1:1

A.6 Osazovací plán – TOP



A.7 Osazovací plán – BOTTOM



B SEZNAM SOUČÁSTEK

Označení	Hodnota	Pouzdro
C1, C35, C39	100 pF	805
C2, C6, C7, C8, C9, C10, C17, C24, C25,	100 nF	805
C26, C27, C28, C29, C32, C38, C52, C53, C54, C55	100 nF	805
C5, C31, C33, C34, C36, C37, C40, C41, C42, C43	10 nF	805
C44, C45, C46, C47, C48, C49, C50, C51, C56, C57	10 nF	805
C11, C12, C22, C23	1 uF	805
C13, C16	22 pF	805
C3	100 uF	Ø8 x 11.5mm
C4	1000 uF	Ø12.5 x 20mm
C14	1000 uF	Ø12.5 x 25mm
C15	47 uF	Ø5 x 11mm
C18, C19, C20, C30	100 uF	Ø6.3 x 11.2mm
C21	470 uF	Ø10x16mm

R1	470 Ω	1206
R2, R8, R9, R10, R11, R12, R14, R16, R18, R20,	10 kΩ	805
R22, R24, R26, R28, R30, R32, R33, R34, R35, R36, R37	10 kΩ	805
R4, R13, R15, R17, R19, R21, R23, R25, R27, R29, R31	10 kΩ	1206
R5	27 kΩ	805
R6	1 Ω	805
R7	3.3 Ω	1206
L1	100 uH	
L2, L3	4.7 uH	
L4	BNX002	
D1, D13, D14, D15, D16, D17, D18, D19, D20, D21, D22	Zener diode 10 V	MiniMELF
D2, D9, D10	STPS340S	SMC
D8, D36	SM4007	MELF
D5, D7, D11, D12, D23, D24	P6SMB43A	SMB
D6	S2M	SMB
D3, D4	BAT46	MiniMELF
IC1	LM2576T-12	TO220
IC2	L7805	TO220
IC3	ACS711	SOIC08
IC4	ATMEGA164PV	TQFP44

LED1, LED5 … LED11	OF-SMD3216R	1206
LED2, LED3, LED4	OF-SMD3216G	1206
LED12	OSPG53E1A-KL	5mm LED
OK1 … OK11	LTV354	Gull wing 4
IC5	DRV8432	36HSSOP
IC6	VND600	SO-16L
R3	14N101K	
Q1	8 MHz	quartz
JP1, JP2	pin header	2 pins male
SV1	ZL231-10PG	IDC male 10
SW1	TACT-67N-F	microswitch
X1	PA257 VE 7 C 5.08	PA257 – 5.08
X2	PA257 VE 10 C 5.08	PA257 – 5.08