



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií



Realizace řídicí elektroniky experimentálního elektromobilu

Diplomová práce

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 3906T001 – Mechatronika

Autor práce: **Bc. Michal Fiedler**

Vedoucí práce: Ing. Pavel Jandura Ph.D



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Fiedler**
Osobní číslo: **M13000216**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Mechatronika**
Název tématu: **Realizace řídicí elektroniky experimentálního elektromobilu**
Zadávající katedra: **Ústav mechatroniky a technické informatiky**

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

1. Seznamte se s elektrickými zařízeními experimentálního elektromobilu a možnostech jejich správy a řízení.
2. Navrhněte centrální řídicí jednotku vozidla, která bude schopna řídit všechna palubní zařízení.
3. Navrhněte podpůrnou elektroniku systému nabíjení vozidla.
4. Realizujte prototyp a otestujte základní funkčnost navrženého systému v experimentálním elektromobilu.

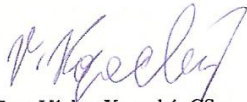


Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: cca 40–50 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

- [1] TOMSA, Jan. Elektrická zařízení elektromobilu eTUL. Liberec, 2014. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, Ústav mechatroniky a technické informatiky.
- [2] Society of Automotive Engineers; Craig B. Toepfer. SAE Electric Vehicle Conductive Charge Coupler, SAE J1772, REV. MONTH01 (DOC). California Air Resources Board. Retrieved 2009-10-23.
- [3] ROBERT BOSCH GMBH. CAN Specification: Version 2.0. Stuttgart, 1991.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Jandura
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání diplomové práce: 10. října 2015
Termín odevzdání diplomové práce: 16. května 2016


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2015



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 16. 5. 2016

Podpis: Kodlu



Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval panu Ing. Pavlovi Jandurovi Ph.D za jeho pomoc, rady a trpělivost během vytváření této práce.

Dále bych chtěl poděkovat celé mojí rodině za podporu během mého studia.



Abstrakt

Obsahem této práce je seznámení s elektrickými komponentami uvnitř elektrického vozu a vhodný návrh řídicí jednotky pro jejich spravování. Zvláštní důraz práce je pak kromě centrální řídicí jednotky kladen také na řídicí jednotku nabíjení. Vzhledem k obsahu práce je úvodní kapitola věnována elektrickým komponentám. Komponenty jsou rozděleny na ty, které jsou nezbytně nutné pro správnou funkci vozu, jako například měniče motoru, Battery management systém nebo řadicí páka na ty co zajišťují bezpečnost automobilu, jako třeba osvětlení nebo posilovače brzd a řízení. Vzhledem k vyspělosti jednotlivých komponent, kdy každá komponenta je v podstatě řídicí jednotkou a je schopna fungovat samostatně pouze s korekcí úkonů od jednotky řídicí, jsou dále zmíněny nároky na řídicí jednotky v automotive. Ze stejného důvodu je dále v práci zmíněna sběrnice CAN, neboť je v dnešní době nezlomným standardem, co se týče komunikace uvnitř vozidla. Jak již bylo zmíněno, práce se kromě centrální jednotky věnuje ještě návrhu jednotky pro řízení nabíjecího cyklu. Z toho důvodu následují kapitoly věnované funkci EVSE a rozdělení způsobů nabíjení a nabíjecí kabeláže podle normy IEC 62196 s hlavním důrazem na dva nejpoužívanější nabíjecí konektory a způsob nabíjení. Další část práce je pak věnována konkrétnímu návrhu obou jednotek, shrnutí dosažených výsledků a závěru.

Klíčová slova: Elektrické auto, řídicí elektronika, řídicí jednotka, centrální řídicí jednotka, nabíjení, EVSE, CAN bus.



Abstract

The content of this work is familiarization with the electrical components inside the electric car and the design of a control unit for their Manageable. Special emphasis of the work is placed on the central control unit and also on the control unit of charging. Due to the content of the work is opening chapter devoted to electrical components. The components are divided into those that are absolutely necessary for the correct functioning of the vehicle, such as motor inverter, battery management system or shift gear and to those who are providing security to the car, such as lights, power brakes or power steering. Due to the advancement of individual components, where each component is control unit and is able to function independently with only small correction from the control unit. For this reason are further listed demands on the control units in the automotive. For the same reason, is in work mentioned CAN bus. CAN is nowadays standard regarding the communication within the vehicle. As already mentioned, the work is devotes except the central unit also the design of unit for controlling the charging cycle. For this reason is following chapter devoted the function of EVSE and divide the methods of charging and charging cables in accordance with IEC 62196. The main focus is on the two most widely used plugs of charging and method of charging. Another part is devoted to a specific proposal, the two units, a summary of the results and conclusions.

Keywords: Electric car, control electronics, control unit, the central control unit, charging EVSE, CAN bus



Obsah

Poděkování	5
Abstrakt	6
Abstract.....	7
Obsah	7
Seznam použitých zkratk a symbolů	9
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	12
Úvod	13
1. Řídicí jednotky v elektromobilu.....	15
1.1. Nároky na CPU v řídicích jednotkách	16
2. Elektrické komponenty elektrovozu	18
2.1. Komponenty pro pohyb.....	18
2.1.1. Měníče motoru	18
2.1.2. Battery management Systém	19
2.1.3. DSG	21
2.2. Bezpečnostní prvky	21
2.2.1. Posilovače brzd	22
2.2.2. ABS,ESP	24
2.2.3. Posilovače řízení	25
2.3. Komfortní prvky.....	26
2.3.1 Osvětlení.....	26
2.3.2. Zobrazovací display.....	27
3. Control area network	28
3.1. Datový rámec	29
3.1.1. Synchronizace datového rámce	29
3.2. Kolizní systém.....	30
3.3. Výpočet časování bitu	30
4. Řídicí jednotky nabíjení.....	35
4.1. Nabíjecí módy	35

4.1.1.	Mód 1	35
4.1.2.	Mód 2	36
4.1.3.	Mód 3	37
4.1.4.	Mód 4	37
4.2.	Standardní koncovky	38
4.2.1.	SAE J1772	39
4.2.2.	VDE-AR-E 2623-2-2	40
4.3.	Funkce CP a PP pinů	40
2.3.1	Control pilot	41
2.3.2	Proximity pin	42
5.	Návrh řídicí jednotky nabíjení	44
5.1.	Fyzická realizace řídicí jednotky nabíjení	44
5.1.1.	Prvotní realizace	45
5.1.2.	Současná realizace	47
5.2.	Softwarová realizace nabíjecí jednotky	50
5.2.1.	Komunikace po sběrnici CAN	50
5.2.2.	Pracovní cyklus VChU	52
6.	Návrh centrální řídicí jednotky	55
6.1.	Fyzická realizace centrální řídicí jednotky	56
6.2.	Softwarová realizace centrální jednotky	58
7.	Shrnutí	62
	Závěr	64
	Použitá literatura	67
	Přílohy	67
A	Obsah přiloženého CD	69
B	Schéma VChU	70
C	Schéma VCU	71
D	Zdrojový kód VChU	72
E	Vývojový diagram VChU	74

Seznam použitých zkratk a symbolů

BMS	-	Battery management systém;	Systém pro řízení baterie
CSS	-	Charge safety signal;	Signál bezpečného nabíjení
CPS	-	Charge power source;	Signál nabíjecího zdroje
DPS	-	Deska plošných spojů	
EVSE	-	Electric Vehicle Supply Equipment;	Nabíjecí zařízení elektrického auta
AC	-	Alternating current;	Střídavý proud
DC	-	Direct current;	Stejnoseměrný proud
PWM	-	Pulse width modulation;	Pulzní šířková modulace
LED	-	Light emitted diode	Světlo vyzařující dioda
CAN	-	Controller Area Network	
SOF	-	Start of frame	Začátek rámce
CRC	-	Cyclic redundancy check	Cyklický redundantní součet
CP	-	Control Pilot	Kontrolní vodič
PP	-	Proximity Pin	Proximitní pin
VCU	-	Vehicle central unit	Centrální jednotka vozidla
VChU	-	Vehicle charge unit	Nabíjecí jednotka vozidla
ABS	-	Anti-lock break systém	Protiblokový systém brzd
ESP	-	Electronic Stability Program	Elektrický stabilizační program
SPI	-	Serial Peripheral Interface	Sériové obvodové rozhraní

Seznam obrázků

Obrázek 1: Příklad řídicí jednotky se střídavým měničem motoru firmy Sevcon.....	15
Obrázek 2: Schéma třífázového střídače napětí.....	19
Obrázek 3: Příklad BMS od firmy Orion.....	20
Obrázek 4: Vakuový posilovač brzd[6]	22
Obrázek 5: Elektrický posilovač brzd iBooster [7]	23
Obrázek 6: Jednotka ABS/ESP	24
Obrázek 7: Příklad nedotáčivosti se zásahem ESP [8]	25
Obrázek 8: Sběrníková typologie.....	28
Obrázek 9: Datový rámec	29
Obrázek 10: Konstrukce registru	30
Obrázek 11: Časové kvantum	31
Obrázek 12: Tvar registrů časování bitu.....	34
Obrázek 13: Doplnění CAN knihovny o hodnoty 250 kbit/s pro 20MHz krystal	34
Obrázek 14: Nabíjení Módem 1.....	36
Obrázek 15: Nabíjení Módem 2.....	36
Obrázek 16: Nabíjení Módem 3.....	37
Obrázek 17: Nabíjení Módem 4.....	38
Obrázek 18: SAE J1772.....	39
Obrázek 19: VDE-AR-E 2623-2-2	40
Obrázek 20: Průběh pilotního signálu	41
Obrázek 21: Schéma zapojení pilotního signálu u SAE J1772.....	42
Obrázek 22: Arduino nano.....	45
Obrázek 23: Blokové schéma první realizace komunikace	46
Obrázek 24: První realizace jednotky nabíjení (VChU verze 3)	47
Obrázek 25: Současné blokové schéma komunikace VChU	48
Obrázek 26: Layout současné realizace.....	49
Obrázek 27: VChU Verze 9.....	50
Obrázek 28: Orion BMS utility nastavení CANBUS	52
Obrázek 29: Výchozí nastavení VChU.....	53
Obrázek 30: Čtení PP signálu	54
Obrázek 31: Schéma současného propojení jednotek v elektromobilu	55

Obrázek 32: Layout VCU	56
Obrázek 33: Arduino DUE	57
Obrázek 34: VCU verze 3.....	58
Obrázek 35: Přeposílání informací z měniče na zobrazovací display	59
Obrázek 36: Spínání jednotlačítkových světel.....	60
Obrázek 37: Test detekce pilotního signálu a poslání CAN zprávy VCU.....	62
Obrázek 38: Detekce CAN rámce	63

Seznam tabulek

Tabulka 1: Teplotní stupně podle AEC Q100 [2]	16
Tabulka 2: Počet vstupů/výstupů pro ovládání světel	27
Tabulka 3: Celočíselní dělitelé čísla 40	32
Tabulka 4: Hodnoty rozdělení času vzorkovacího bodu 80% pro rychlost 250 kbit/s ..	33
Tabulka 5: Možné hodnoty nastavení segmentů časového registru	33
Tabulka 6: Hodnoty odporů proximity pinu	42
Tabulka 7: Hodnota bitů osvětlení	61

Úvod

Účelem této práce je seznámit se s důležitými komponentami uvnitř elektrovozu a pro tyto komponenty navrhnout vhodnou centrální řídicí jednotku a řídicí jednotku pro zprostředkování nabíjení. Elektromobilita je v současné době na vzestupu a stále častěji se o elektromobilech mluví jako o nástupcích spalovacích motorů především v osobní dopravě. Důvodem, proč se v současnosti ubírá cesta osobní dopravy právě cestou elektromobility je, že elektromobil prakticky zachovává koncept stávajícího automobilu, liší se tedy pouze v pohonné jednotce, vše ostatní zůstává totožné s běžným automobilem. V praxi to pro výrobce znamená, v jednodušším slova smyslu, pouze nahrazení palivové nádrže bateriemi a spalovací motor motorem elektrickým. V současné době již existuje několik firem, které se zabývají přestavováním sériově vyráběných vozů na vozidla elektrická a nutno dodat, že s velmi uspokojivými výsledky. Z hlediska této práce to tedy znamená, že elektromobil se od spalovacího automobilu v množství řídicích jednotek a jejich funkcí liší opravdu jen nepatrně. Nachází se zde tedy dobře známé automobilové komponenty pro vytápění, zjednodušení jízdních vlastností, jako například posilovače řízení a brzd, bezpečnostní prvky, prvky osvětlení a spoustu dalších.

Vzhledem k tomu, že eŠus je pouze experimentálním vozem, omezí se nabídka prvků řídicích jednotek pouze na nezbytné minimum. Kapitoly tedy v úvodu pojednávají o specifikacích řídicích jednotek v elektromobilech a dále pak o jednotlivých komponentech připojených skrze sběrnici CAN, nebo digitálními vstupy k řídicí jednotce. Mezi tyto komponenty patří komponenty nezbytné pro pohyb, jako jsou měniče motoru pro ovládání elektromotoru a Battery management systém, který spravuje baterii. Další skupinou jsou bezpečnostní prvky, k nimž patří posilovače, ať už řízení nebo brzd a ABS/ESP jednotka. Poslední skupinou jsou pak prvky, které jsou zde nazvány jako komfortní, ačkoliv například osvětlení, by se dalo považovat i za součást bezpečnosti. Do této skupiny patří již zmiňované osvětlení a to jak vnější tak interiérové, vytápění a zobrazovací a signalizační prvky. Vzhledem k faktu, že veškeré řídicí jednotky komunikují pomocí CAN sběrnice je další kapitola věnována popisu jejího chování. CAN sběrnice komunikuje pomocí rámců, proto je zde rozebrán jeho tvar a způsob, jakým je po sběrnici posílán a vyhodnocován, včetně kolizního systému.

Speciální kapitola je pak věnována synchronizaci na sběrnici CAN a to výpočtu časování registrů pro připojená zařízení. Tento výpočet je nutný pro správné nastavení rychlostí na sběrnici a bude později využit v programové části při implementaci sběrnice do realizované řídicí jednotky. Druhou částí této práce je realizace řídicí jednotky nabíjení. Ta komunikuje při nabíjení s nabíjecí stanicí na jedné straně a Battery management systémem na druhé a zprostředkovává tak nabíjení baterií. Nabíjení jako takové, včetně řídicí jednotky, podléhá normě IEC 62196, která definuje standardy nabíjení a připojení, proto je v kapitole rozebrána alespoň její podstatná část a standardy, které jsou dnes nejpoužívanější a které jsou implementovány i v realizované jednotce. Následují kapitoly jsou věnované realizaci centrální řídicí jednotky. Kapitoly jsou rozděleny na realizaci hardwarovou a část programovou, v níž je implementováno komunikační rozhraní do realizované jednotky. Podobně rozdělená je i druhá kapitola, která se týká realizace jednotky pro nabíjení, tedy na fyzickou realizaci a na realizaci softwarovou. Poslední stránky jsou pak věnovány shrnutí dosažených výsledků, závěru a seznamu použité literatury.

1. Řídicí jednotky v elektromobilu

V dnešní době by se už jen těžko hledal automobil, který by neobsahoval řídicí jednotku a ne jednu, ale většinou hned několik. Nejinak je tomu i v případě elektromobilů. Je pravdou, že na rozdíl od spalovacích motorů, je elektromobil ušetřen řídicích jednotek pro vstřikování paliva, pro správné dávkování směsi, pro kontrolu správnosti spalování a v podstatě pro všechny regulační pochody, které s provozem spalovacího motoru souvisí. Pokud se řekne řídicí jednotka, většina si obecně představí nějaké vstupně výstupní zařízení. Toto zařízení je tvořeno zpravidla senzory, které monitorují činnost prvku, který jednotka řídí. Na základě snímaných informací provede akční zásah tak, aby se prvek choval jak je optimální, nebo tak, jak si uživatel přeje. V podstatě se tak jedná o regulační obvod, do kterého může uživatel zasahovat, tak, aby dosáhl požadovaných výsledků. Máme tedy procesor, na jehož straně vstupů jsou jednak senzory a jednak ovládací prvky a na straně výstupů akční členy. Jako příklad řídicí jednotky typické pro elektromobil by se dala uvést jednotka měniče motoru. Jsou zde vstupní čidla snímající otáčky motoru, napětí, proud nebo teplotu. Reaguje na zásah uživatele, to znamená na sešlápnutí pedálu, či na vypnutí motorů klíčkem zapalování a na základě těchto podmětů řídí otáčky motoru nebo chladicí okruh.



Obrázek 1: Příklad řídicí jednotky se střídavým měničem motoru firmy Sevcon

V automobilu tak má každé zařízení vlastní řídicí jednotku, která má na starost jeho správu. Jednotka obsluhuje své vlastní zařízení a zodpovídá se pouze jednotce centrální, která je nadřízená všem jednotkám a může zamítnout činnost podřadné jednotky na základě nějakého podnětu. Jednotlivé jednotky pak spolu komunikují pomocí sběrnice. V automobilovém průmyslu to je v drtivé většině pomocí sběrnice CAN. Pomocí sběrnice CAN mohou jednotky rovnocenně komunikovat a vyměňovat si informace naměřené na jednom zařízení a poskytovat ho zařízení jinému nebo naopak. Z toho vyplývá, že pro veškerou komunikaci mezi jednotkami, pokud se nejedná o některé speciální, jistící nebo zdvojovací signály, je nezbytná pouze sběrnice CAN a veškerá data mezi řídicími jednotkami mohou být odesílána skrze toto rozhraní.

1.1. Nároky na CPU v řídicích jednotkách

Co se týče požadavků na řídicí jednotky v automotive je největší důraz kladený na teploty v okolí jednotky, neboť procesory, které tvoří základ řídicích jednotek, jsou polovodičového charakteru a jsou tak velmi citlivé na okolní teplo. Už jen nepatrné překročení jejich pracovní teploty může mít destruktivní vliv na celou polovodičovou strukturu. Tím, jaký pracovní rozsah je vhodný pro použití v automobilovém průmyslu se zabývá norma AEC-Q100 [1]. Norma definuje mimo jiné i teplotní rozsahy a jejich použití v automotive. Jednotlivé třídy a příklad použití je v tabulce 1.

Tabulka 1: Teplotní stupně podle AEC Q100 [2]

Teplotní stupeň	MIN	MAX	Typické použití
Grade 0	-40°C	+150°C	Automotive pod kapotou v motorové části
Grade 1	-40°C	+125°C	Automotive v interiéru, zavazadlové části
Grade 2	-40°C	+105°C	Průmysl
Grade 3	-40°C	+85°C	Komerční využití
Grade 4	-0°C	+70°C	

Jak je vidět, v automobilovém průmyslu se jednotky, které jsou většinou umístěny v motorové části, zařazují do kategorie Grade 0 a jsou tak podrobeny přísnějším teplotním požadavkům, vyplývajících z velkých ztrátových teplot spalovacího motoru. U elektromobilu je ale možno z této kategorie mírně slevit a použít procesor odpovídající kategorii Grade 1. Je to z toho důvodu, že ačkoliv dochází k zahřívání součástek, zejména frekvenčních měničů pod kapotou elektrovozu, výsledné ztrátové teplo vyzařené uvnitř tohoto prostoru není tak vysoké jako u spalovacího motoru, proto

se dá toto prostředí považovat jako prostředí uvnitř vozu bez spalovacího motoru a v normě tak tomuto prostředí odpovídá rozsah -40 až 125 °C. Pro řídicí jednotku nabíjení je pak situace obdobná. Vzhledem k jejímu umístění blízko nabíjecího konektoru v zadní části vozu, bývá často umístěna v zavazadlovém prostoru. Platí tedy opět, že musí splňovat teplotní požadavky kategorie Grade 1. Pro obě řídicí jednotky je tedy možno volit teplotní rozsah -40 až 125 °C, který splňuje většina běžně dostupných procesorů.

2. Elektrické komponenty elektrovozu

Jak již bylo nastíněno v úvodu, elektrické komponenty u elektrovozu jsou prakticky totožné s komponentami, které obsahuje běžný vůz a to pouze s drobným rozdílem, že jsou zde řídicí jednotky sledující správnou funkci spalovacího motoru nahrazeny jednotkami, které se chovají o správnou funkci elektromotoru nebo motorů. Proto jednotku pro řízení otáček motoru nahrazuje jednotka frekvenčního měniče a jednotku pro řízení správné směsi paliva a vzduchu do válce nahrazuje Battery management systém. Komponenty lze pak pro jednoduchost rozdělit na komponenty nezbytně nutné pro pohyb auta a komponenty, které slouží pro komfort řidiče, případně pro bezpečnost jízdy.

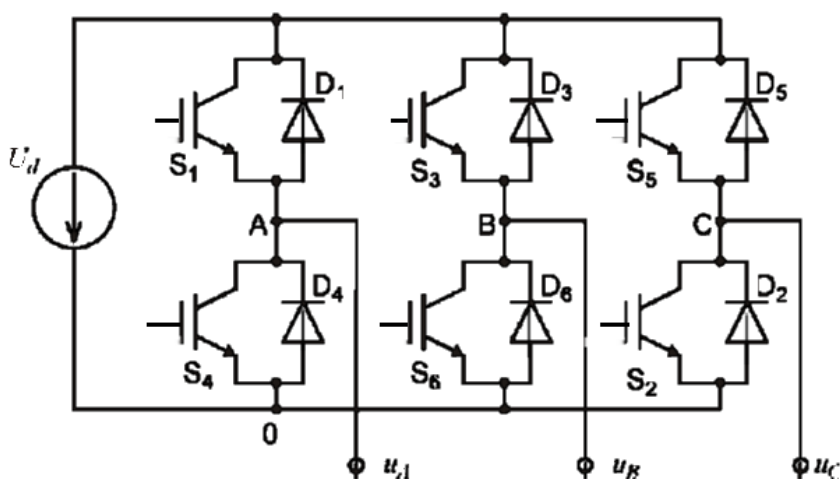
2.1. Komponenty pro pohyb

Ke komponentám nezbytným pro uvedení elektromobilu do chodu patří jednoznačně měniče motoru nebo motorů, neboť elektromobil nemusí obsahovat pouze jeden pohon. Další důležitou komponentou je Battery management systém, který, má na starost kompletní správu baterie a sehrává svou úlohu i při nabíjení. Spolu s BMS přímo souvisí i jednotka nabíjení, která by se dala také zařadit do této kategorie, ačkoliv není úplně nezbytná pro pohyb. Jednotce nabíjení je poté věnována samostatná kapitola. Poslední jednotkou je převodovka, ale ne v tom pravém smyslu, neboť se jedná o čistě mechanickou záležitost, jsou zde myšleny spíše snímače převodu a akční zásahy přivádějící signál s řadicí páky.

2.1.1. Měniče motoru

Pohon je v podstatě jediná věc, která odlišuje běžný vůz od elektrovozu, ostatní prvky zůstávají totožné. Elektromobil je tedy poháněn elektromotorem a to v drtivém případě asynchronním, díky jejich levnějšímu provedení. Motor nemusí být pouze jeden jako v případě spalovacího motoru, ale elektromobil může klidně obsahovat motor pro každé kolo zvlášť. Těží tak ze svého rozměru, který je podstatně menší, než u motoru spalovacího, při zachování stejného výkonu. Jelikož motor je konstruován na třífázové střídavé napětí a baterie je stejnosměrná, je potřeba třífázového střídavého měniče pro napájení a regulaci otáček asynchronního motoru. Otáčky motoru jsou poté řízeny

pomocí frekvence. Tyto měniče bývají zpravidla vybaveny jednotkami, které se podobají jednotkám řídicí chod spalovacího motoru s tím rozdílem, že sledují jednak fyzikální veličiny jako napětí, proud, výkon nebo teplotu motoru a jednak hodnoty mechanické jako otáčky motoru nebo točivý moment. Na základě těchto údajů a na základě polohy plynového pedálu provádí regulační zásah. Mluvit tedy o měniči motoru pouze jako o napěťovém střídači a frekvenčním měniči by bylo snižováním jeho důležitosti a funkčnosti. Proto jsou měniče motoru vyráběny jako řídicí celek s vektorově řízenými měniči a schopný plné komunikace skrz CAN a další periférie s kompletním ovládáním motoru nebo motorů. Příkladem motorové jednotky je již zmíněný Sevcon gen4 na obrázku 1.



Obrázek 2: Schéma třífázového střídače napětí

2.1.2. Battery management Systém

Battery management systém (zkráceně BMS) má na starost monitorování stavu baterie a předávání informací o stavu baterie dalším komponentám [3]. BMS je v podstatě další řídicí jednotka starající se o baterii v autě. BMS bývá zpravidla velmi inteligentní a samostatně fungující součástí vozu a bývá často umístěna přímo v odnímatelné bateriové skříni, aby byla co nejbližší samotné baterii. Uvnitř samotného vozidla se pak umísťuje zřídka. BMS, monitoruje napětí a to jak na celé baterii, tak i na jednotlivých článcích baterie, odebíraný proud, ale i teplotu článků. Monitorování teploty je důležité zejména při nabíjení, speciálně při rychlonabíjení vysokými proudy, a pak také při

vysokých odběrech z baterie. Při všech těchto situacích dochází k ohřevu lithiových článků a mohlo by dojít k destrukci baterie. Tento stav je BMS schopna detekovat a zasáhnout, v prvním případě sepnutím čerpadla chladicího obvodu uvnitř baterie, a to u baterií chlazených aktivním vodním chlazením, nebo větráků u pasivního chlazení vzduchem. V extrémních případech může BMS i ukončit nabíjení, popřípadě i proudový odběr. Primární funkcí BMS je ochrana baterie a akční zásahy do ní.



Obrázek 3: Příklad BMS od firmy Orion

Kromě monitorování sehrává BMS úlohu i v nabíjení. BMS obsahuje balancer [4], který vyrovnává nabití jednotlivých článků, aby nedošlo na jedné straně k přebíjení a na druhé k neúplnému dobití. Také zajišťuje komunikaci mezi nabíjecí stanicí a baterií, respektive mezi sebou komunikují EVSE elektronika a právě BMS [3]. Samotná komunikace pak probíhá buď klasicky pomocí CAN sběrnice, nebo lze sběrnici vynechat a využít digitálních vstupů a výstupů k tomu určených. Tyto digitální signály bývají zpravidla jeden vstupní, který upozorní BMS o připojení k nabíjecí stanici nebo kabelu a jeden výstupní, který slouží jako povolení pro zpřístupnění nabíjení. BMS je tedy vybavena jak CAN bus konektorem, tak vstupně výstupním konektorem. Vstupně výstupní konektor, kromě signálů určených pro komunikaci s EVSE obsahuje další analogové a digitální piny. Mezi digitální signály nejčastěji patří signál k ovládání čerpadla, větráku nebo odpojení baterie. Dalšími signály pak mohou být například blokace měniče pohonu při nabíjení nebo ovládání signálních kontrolky na palubním

displayi, jako třeba informace, že je nutno provést dobíjení nebo o poškození baterie. Analogové piny mají, co se týče vstupů, většinou měřicí charakter, patří sem například měření teploty baterie nebo otáček ventilátoru. Výstupy mají většinou informativní charakter a často bývají vyvedeny na display. Většinou jde o informace o nabití baterie, velikostech nabíjecího proudu, teplotě a další informace z monitoringu. Ačkoliv je BMS vybavena velkým množstvím vstupně výstupních pinů většina z nich, tedy kromě těch co vedou přímo do baterie, se ke komunikaci nepoužívá a jsou nahrazeny CAN sběrnici.

2.1.3. DSG

DSG je automatická převodovka tvořená dvojicí paralelně uspořádaných spojek [5]. Základem je šestistupňová převodovka se dvěma vstupními a dvěma výstupními hřídeli. První spojka obsahuje liché stupně a druhá sudé. Díky dvojici spojek je tak schopná přecházet plynule z jednoho zařazeného stupně na druhý a to tak, že elektrohydraulický modul připraví na jedné ze spojek dopředu o jeden rychlostní stupeň více, než který je právě zařazen při akceleraci a naopak o jeden méně, pokud dojde k deceleraci. Zařazeny jsou tedy oba stupně a celá doba řazení závisí jen na času vypnutí první spojky a současném sepnutí druhé. Tato doba bývá obvykle 0,3 až 0,4 s [5]. Z hlediska řídicích procesů je řídicí jednotka DSG připojena na CAN, pomocí které sleduje otáčky motoru, kol nebo snímače zrychlení a rychlosti, na jejichž základě vykonává řadící zásah. Dále je jednotka připojena k zobrazovacímu zařízení, kvůli informování uživatele o aktuálním zařazeném stupni.

2.2. Bezpečnostní prvky

Mezi bezpečnostní prvky patří celá řada komponent. Tyto komponenty se dělí na prvky pasivní a aktivní bezpečnosti. Mezi prvky pasivní bezpečnosti patří, dobrý výhled z vozidla, tvar a kvalita materiálu karoserie nebo bezpečnostní pásy. Z hlediska elektrovozu a hlavně z hlediska elektronických prvků jsou však mnohem zajímavější prvky aktivní bezpečnosti. Prvků aktivní bezpečnosti je celá řada a za nejdůležitější lze považovat prvky pro dobrou kontrolu vozu. U dnešních vozů, kdy jsou požadavky na bezpečnost cestujících větší, množství bezpečnostních prvků samozřejmě stále narůstá. Existují další systémy, jako například systém protiskluzu ASR, kontrola mrtvého úhlu nebo adaptivní světlomety, nicméně za nejdůležitější a v dnešní době prakticky

standardní prvky aktivní bezpečnosti lze považovat čtveřici prvků. Mezi tyto prvky se řadí posilovače brzd, posilovač řízení a systémy pro dobrou zvladatelnost auta jako jsou jednotky ABS a ESP.

2.2.1. Posilovače brzd

Od posilovačů brzd by se tak úplně neočekávalo, že budou patřit do zařízení spravovaných elektrickou řídicí jednotkou. Ve skutečnosti i v dnešní době existuje spousta vozů s klasickým podtlakovým posilovačem, kde je podtlak v pedálu získáván buď z motorového sání u benzinového motoru, nebo pomocí vakuové pumpy poháněné z motoru u dieselového. U elektrických aut není možnost získávat podtlak ze sání. Nejjednodušší cestou tedy je použít vakuovou pumpu jako u dieselu, ale pohánět ji pomocí vlastního pohonu napájeného z baterie. Mnohem častější variantou je použití elektrického posilovače brzd, který v dnešní době vytlačuje vakuový posilovač a to i u aut se spalovacími motory.

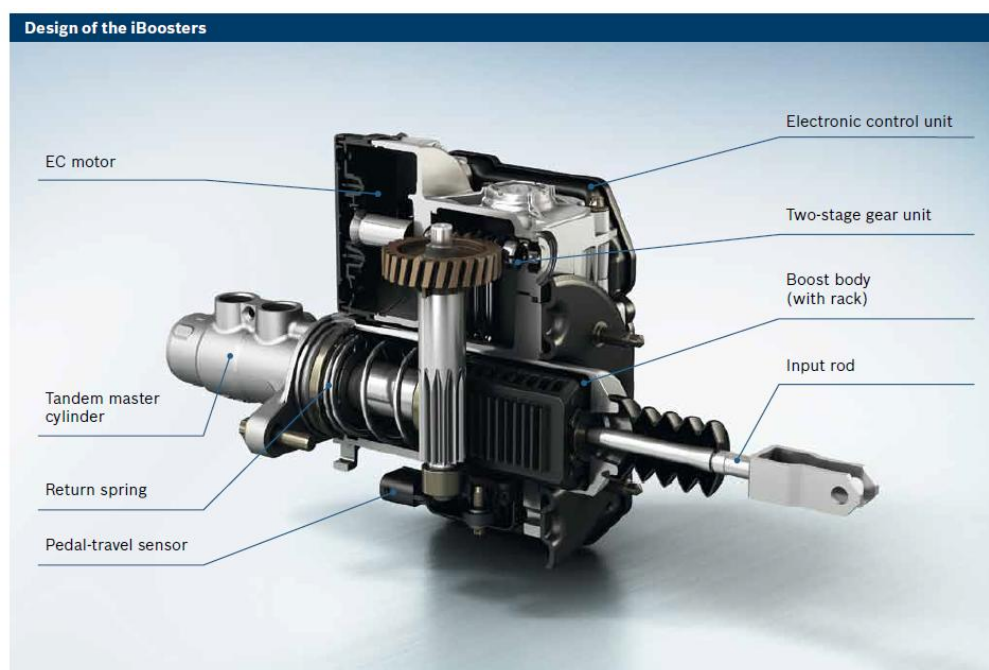
Klasický posilovač brzd je tvořený válcem, který je rozdělen na dvě části pružnou membránou. Do válce je pak přiváděn podtlak [6]. Membrána je připevněna k pístu brzdového válce na jedné straně a k táhlu brzdového pedálu na straně druhé. Pokud je pedál nesešlápnutý, je v celém objemu válce vakuum a membrána zůstává v klidu, pokud však dojde k sešlápnutí brzdového pedálu, dojde pomocí ventilů k oddělení stran válce a do jedné části se začne vpouštět atmosférický tlak úměrný poloze pedálu. Tím dojde k podtlaku na straně druhé, který společně s táhlem brzdového pedálu působí na píst brzdového válce.



Obrázek 4: Vakuový posilovač brzd [6]

Pokud dojde k uvolnění brzdového pedálu je membrána vrácena do původní polohy pružinou a tlak na obou stranách se zas vyrovná. Z hlediska elektrických komponent u elektromobilu se tak nejedná o nijak zajímavý prvek, jak už bylo zmíněno, podtlak se do posilovače dodává vakuovou pumpou, je tedy z hlediska řídicí jednotky nutnost zajistit pouze sepnutí vakuové pumpy při nedostatečném podtlaku v posilovači.

Mnohem zajímavějším posilovačem brzd je posilovač elektrický, který začíná pomalu vytlačovat klasický vakuový posilovač brzd a je vhodnější pro elektromobil, neboť není potřeba řešit problém kde sehnat podtlak pro správnou funkci posilovače. Elektrický posilovač brzd, neboli iBooster [7], je tvořený elektromotorem, jehož hřídel je zakončena pastorkem. Na táhlu pedálu je ozubnice, která zapadá do pastorku a která pokračuje do pístu brzdového válce. Táhlo pedálu je opatřeno snímačem polohy. Pokud dojde k sešlápnutí pedálu je jeho poloha poslána do řídicí jednotky, která řídí motorek posilovače, ten pak odpovídající silou působí na ozubnici, která tlačí na brzdový válec a pomáhá tak vyvinout větší sílu potřebnou pro zabrzdění. Po uvolnění pedálu je hřídel vrácena do původní polohy pružinou. Výhodou tohoto posilovače je mnohem přesnější a citlivější polohování a s tím i vyvinutí odpovídající síly při brzdění. Navíc je mnohem jednodušší a rychlejší zareagovat na situaci, kdy je potřeba okamžitého a efektivního brzdění.



Obrázek 5: Elektrický posilovač brzd iBooster [7]

Další výhodou je možnost zásahu od jiné řídicí jednotky nebo brzdícího asistentu, který vyhodnocuje rizika v mnohem kratší době, než člověk a může zaznamenat překážku dříve, provést brzdící zásah a zabránit tak možné nehodě. Pro tento asistent je takový zásah skrz iBooster mnohem jednodušejší a rychleji proveditelný, než u hydraulického brzdového systému. Z hlediska řídicích jednotek iBooster funguje jako samostatná řídicí jednotka, která v případě potřeby přijímá příkazy od ostatních jednotek pro zvýšení bezpečnosti.

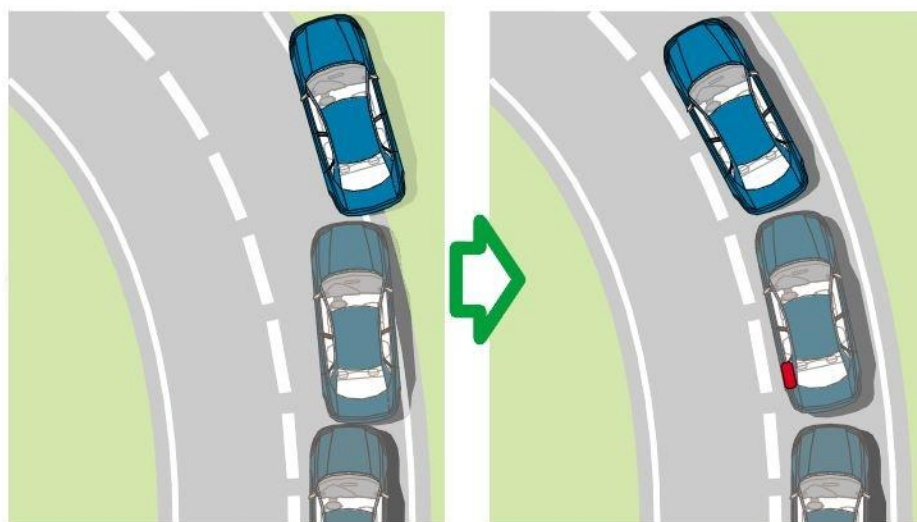
2.2.2. ABS,ESP

Jednotky ABS a ESP spolu úzce souvisí, ačkoliv má každá trochu jiný význam. Jak už název jednotky napovídá, slouží tato jednotka k ochraně blokace brzd při prudkém sešlápnutí a tím ke ztrátě adheze mezi kolem a vozovkou. Princip jednotky ABS spočívá v tom, že jsou do jednotky přivedeny snímače otáček kol. Jednotka na základě rychlosti vozidla a rychlosti otáčení kol vyhodnocuje, zda při sešlápnutí brzdového pedálu se některé z kol neotáčí pomalu nebo není blokováno. V tom případě upustí tlak působící na blokované kolo a po jeho roztočení opět tlak ustálí.



Obrázek 6: Jednotka ABS/ESP

ESP jednotka využívá stejný obvod jako ABS jednotka ale s opačnou funkcí [8]. ESP zkratka znamená Elektrický stabilizační program. Jednotka tedy pomáhá stabilizovat automobil při ztrátě optimální dráhy. ESP využívá podobně jako ABS snímač otáček kola spolu se snímačem rychlosti, podélného zrychlení a natočení volantu. Z těchto informací pak rozpoznává, zda u auta nedochází k nedotáčení nebo přetáčení. Pokud jednotka vyhodnotí, že se automobil například nedotáčí, dokáže vyvinout tlak na jednotlivé kolo (v případě nedotáčivosti doleva levé zadní kolo) a tím pomoci automobilu lépe projet zatáčkou. Krom optimálního průjezdu zatáčkou může ESP podobným způsobem zabránit přetáčivému smyku. Jednotka ESP tedy na rozdíl od ABS, která tlak na brzděné kolo uvolňuje, vyvíjí tlak na jednotlivá kola, využívá tedy stejný hydraulický okruh jako ABS jen v opačném směru, z tohoto důvodu jednotky ABS a ESP často sdílejí jednu kontrolní jednotku.



Obrázek 7: Příklad nedotáčivosti se zásahem ESP [8]

2.2.3. Posilovače řízení

U posilovačů řízení platí to samé jako u posilovače brzd, tedy rozlišují se dva druhy a to jednak elektrické posilovače řízení a jednak posilovače hydraulické [9]. U hydraulického posilovače je válec s pístem spojený s ozubenou tyčí řízení. Princip spočívá v přelévání kapaliny ve válci z jedné strany na druhou v závislosti na natočení volantu. Pokud je pootočeno volantem, dojde k pootevření ventilu spojeného přes ozubnici s tyčí řízení a k tlačení kapaliny na jednu nebo na druhou stranu pístu, který

pomáhá tlačít ve směru natočení volantu. Nevýhodou je, že stálý tlak do soustavy musí dodávat čerpadlo poháněné skrz řemen přímo z motoru. Proto je z hlediska elektromobilu prakticky nevyhovující a jako lepší alternativa se jeví jeho vylepšená verze nazývaná elektrohydraulický posilovač, kde je čerpadlo poháněno elektromotorem. Mnohem efektivnější je posilovač elektromechanický. Princip spočívá v tom, že síla vyvinutá pootočením volantu je zvyšována pomocí elektromotoru. Existují dva principy. U prvního je elektromotor připevněn na tyč volantu a pomáhá jím pootáčet ve směru otáčení volantu. Druhou variantou je umístění motoru přímo dole na tyči řízení. Ta je s elektromotorem spojena ozubnicí a pastorkem. Při otočení volantu dochází ke snímání jeho polohy a ta je přenášena k elektromotoru, který posouvá ozubnicí a natáčí tak kola do příslušné polohy. Při tomto principu funkčnosti zaniká význam volantové tyče, neboť by bylo možné při použití silnějších elektromotorů pohybovat tyčí řízení přímo bez volantové tyče.

2.3. Komfortní prvky

Komfortní prvky jsou převážně pro zvětšení pohodlí řidiče. V současnosti prožívá komfort u aut obrovský nárůst, a tak vozy nejsou omezeny pouze na nezbytné prvky, ale stále častěji jsou vozy vybavovány nejen rádií a klimatizacemi, které jsou už dnes považovány prakticky za základ, ale ve velké míře i obrazovkami, vyhříváním sedadel nebo třeba wi-fi připojením. Automobilky se předhánějí v tom, kdo nabídne zákazníkovi lepší servis a komfort vozidla se tak stal samostatnou disciplínou hodnocení vlastností vozů. V případě experimentálního elektromobilu se však stačí zabývat naprostým minimem, kterým je vnější osvětlení, osvětlení interiéru a zobrazovací informační prostředky.

2.3.1 Osvětlení

Osvětlení vozidla, se může rozdělit na vnější a vnitřní. Mezi vnější osvětlení patří přední světlomety, zadní světla a osvětlení poznávací značky. Mezi ty vnitřní podsvícení přístrojové desky a osvětlení interiéru[9]. U vnějšího osvětlení, které je povinné, je nutno uvažovat složení světlometu a tomu vymezit odpovídající počet digitálních vstupů a výstupů. Jako jedny z mála komponent nemusí mít svojí vlastní řídicí jednotku, ale mohou být připojeny k centrální řídicí jednotce pomocí analogových

nebo digitálních vstupů a výstupů, neboť se ve velké míře jedná o prvky, které mají pouze stav zapnutí a vypnutí, popřípadě jednoduchou lineární regulaci. Povinné prvky vnějšího osvětlení jsou: přední dálkové světlomety, obrysová světla, potkávací světla, směrová světla, osvětlení brzdy, zpětné světlo a přední a zadní mlhovka. Počet potřebných digitálních vstupů je v Tabulce 2.

Tabulka 2: Počet vstupů/výstupů pro ovládání světel

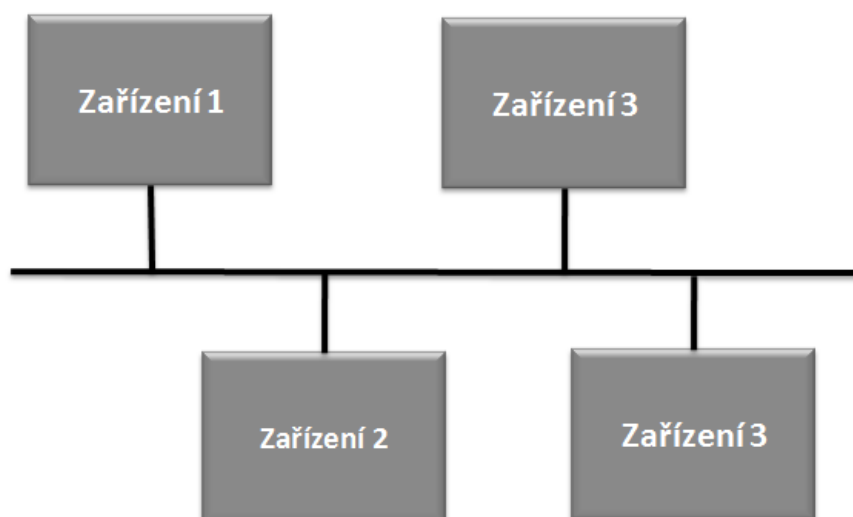
	počet DI	Počet DO
Dálkové světlomety	1	1
Obrysová světla	1	1
Potkávací světla	1	1
Směrová světla	2	2
Brzdové světlo	1	1
Světlo zpátečky	1	1
Mlhovky	2	2
Celkem	9	9

2.3.2. Zobrazovací display

Zobrazovací jednotka slouží uživateli pro informování ohledně aktuálního stavu vozidla, kromě informací o aktivním osvětlení, aktuální rychlosti, rychlosti otáček nebo o aktivním asistentu, informuje jednotka i o aktuálním stavu baterie. Stav baterie monitoruje BMS a veškeré tyto informace získává jednotka od ní, podobně jako informace o otáčkách může jednotka získat z motorové jednotky. Kromě aktuálního stavu může zobrazovat i průběžný stav, například při nabíjení. Jednotka obvykle bývá tvořena LCD displayem s mechanické řešení je dnes spíše vzácností. Display potřebuje pro svoje řízení a správné zobrazování vlastní mikroprocesor. Zobrazovací display tak má rovněž vlastní řídící jednotku visící na CANu, ze které čerpá informace, které zobrazuje. Tyto informace jsou poté zpracovány procesorem a zobrazeny na LCD displayi

3. Control area network

Control area network (zkráceně CAN) je sériová datová sběrnice vyvinutá koncem osmdesátých let firmou Bosch. Tato sběrnice se od svého vzniku začala hojně využívat v automobilovém průmyslu a to zejména pro komunikaci řídicích jednotek a diagnostiku. Sběrnice funguje tak, že je na ní zavěšeno několik zařízení formou uzlů.



Obrázek 8: Sběrnicevá typologie

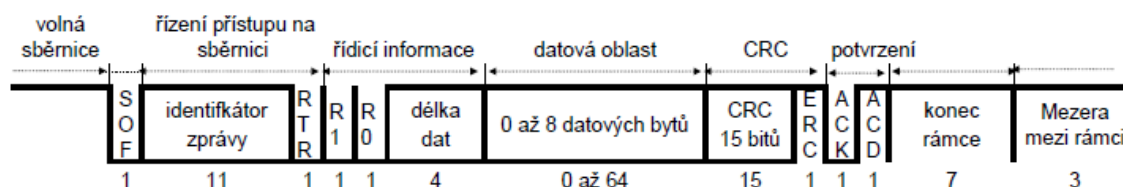
Zařízení jsou pak rozdělena na poskytovatele, tedy toho kdo vysílá data a uživatele, tedy toho co data přijímá. Zařízení může být jak poskytovatelem, tak uživatelem, ale nikoliv oběma současně. Komunikace spočívá v tom, že poskytovatel odešle zprávu formou datového rámce a uživatel jí přijímá na základě předchozí žádosti. Rámec je tvořený posloupností bitů a dal by se rozdělit do několika segmentů [10]. Bity v jednotlivém rámci jsou takzvaně dominantní (log. 0) a recesivní (log. 1). Pokud vysílá jeden z uzlů dominantní bit a druhý recesivní má přednost dominantní bit. Pokud alespoň jeden uzel vysílá dominantní bit, je celá sběrnice v dominantním stavu. V klidovém stavu je tedy pouze tehdy, pokud všechna zařízení vysílají pouze recesivní bity. Uzel, který je poskytovatelem, vysílá data jako broadcast, tedy všem zařízením. Zařízení označená jako uživatel rámec filtruje při přijímání. Porovnávají se identifikátory obsažené ve vysílacím rámci s identifikačním filtrem zařízení. Zařízení může mít nastaveno více různých filtrů, stejně tak mohou být filtry na zařízení maskovány tak, aby mohly

přijímat zprávy s různými identifikátory nebo zprávy, jejichž identifikátor souhlasí jen částečně. Je tak možno posílat i zprávy, které jsou určené pro více poskytovatelů naráz.

V elektromobilech není tato sběrnice nijak zvláštní a plní stejnou úlohu jako v běžných vozech. Co se týče vodičů, obsahuje sběrnice vždy dvojici datových konektorů CAN-L a CAN-H, stínění a někdy i napájení. Standardizace konektorů není nijak přísně dodržována, velmi často je používán konektor D-sub, ale spoustu výrobců řídicích jednotek a automobilů používá vlastní konektory typické pro jejich jednotky, které kromě 4 vodičů pro CAN obsahují ještě další signály.

3.1. Datový rámeček

Datový rámeček, jak už bylo zmíněno výše, je tvořen posloupností bitů. Celý rámeček by se dal rozdělit do několika segmentů [11]. Prvním bitem každého rámce je bit s názvem SOF (start of frame). Jedná se o jeden dominantní bit a označuje začátek rámce. Následuje již zmíněný identifikátor, ten obsahuje 11 bitů s označením identifikátoru. Identifikátor je ukončen bitem RTR, který rozlišuje, zda jde o datový rámeček nebo o rámeček žádosti. U datového rámce je RTR dominantní. Následuje segment řídicích informací, který obsahuje dvojici rezervovaných dominantních bitů R0 a R1, ale hlavně počet přenášených bajtů v rámci, pro který jsou rezervovány 4 bity [10]. Po segmentu řídicích informací následují samotná data, která, jak vyplývá z velikosti segmentu rámce, mohou mít až 8 bajtů. Rámeček je pak zakončen kontrolním součtem, jeho oddělovačem, bitem potvrzení s oddělovačem a sedmi bitovým segmentem ukončujícím rámeček. Následuje už jen 3 bity dlouhá mezera, po které může začít vysílat další uzel.



Obrázek 9: Datový rámeček

3.1.1. Synchronizace datového rámce

Aby nedošlo k desynchronizaci během přenosu, je nutno po určitém objemu dat zkontrolovat, zda je vysílaná část zprávy v pořádku. Děje se tak pomocí vkládání bitu.

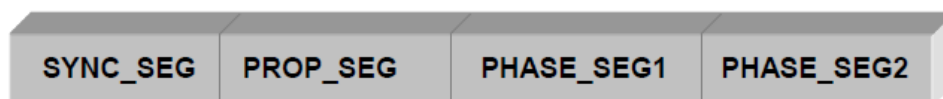
To znamená, že po každém pátém přijatém bitu stejné úrovně musí být vložen bit úrovně opačné, tedy po pěti dominantních bitech bit recesivní a naopak. Oblast vkládání bitů je mezi SOF a CRC součtem [10].

3.2. Kolizní systém

V systému CAN sběrnice neexistují žádné adresy. Pro poskytnutí správného rámce správné jednotce obsahuje každý rámec identifikátor. Uživatel tedy pozná, že je zpráva adresována jemu, pokud rámec nese jeho ID. Identifikátor je na sběrnici jedinečný, nemůže se tedy stát, že by dva rámce měly identický identifikátor. Podle identifikátoru se řídí priorita vysílání na sběrnici. Pokud dojde ke kolizi, využívá se přístupové metody CSMA/CD [11], tedy podobně jako u ethernetu. Pokud poskytovatel vysílá data tak zároveň naslouchá, jestli nevysílá data i někdo další. Pokud dojde ke kolizi, tak na rozdíl od ethernetu, kde je každému účastníkovi generován náhodně dlouhý čekací signál, po jehož uplynutí může znova vysílat, u CAN sběrnice začne vysílat uzel s nejnižší hodnotou identifikátoru a to bez ztráty dat vysílaných před kolizí. Při kolizi se tedy provoz na sběrnici nepřerušuje.

3.3. Výpočet časování bitu

Pro správné nastavení přenosové rychlosti sběrnice je nutné vypočítat časování bitů a hodnoty registrů časování bitů. Tyto hodnoty se poté uplatní při implementaci CAN sběrnice do procesoru. Vzhledem k tomu že rychlost na jednotlivých okruzích sběrnic bude různá, bude nutno určit hodnoty pro rychlosti 500 kbit/s a 250 kbit/s. Jeden bit sběrnice se skládá ze čtyř částí: synchronizačního segmentu, který detekuje hranu signálu, segmentu pro respektování zpoždění signálu a dvou segmentů kompenzující difference.



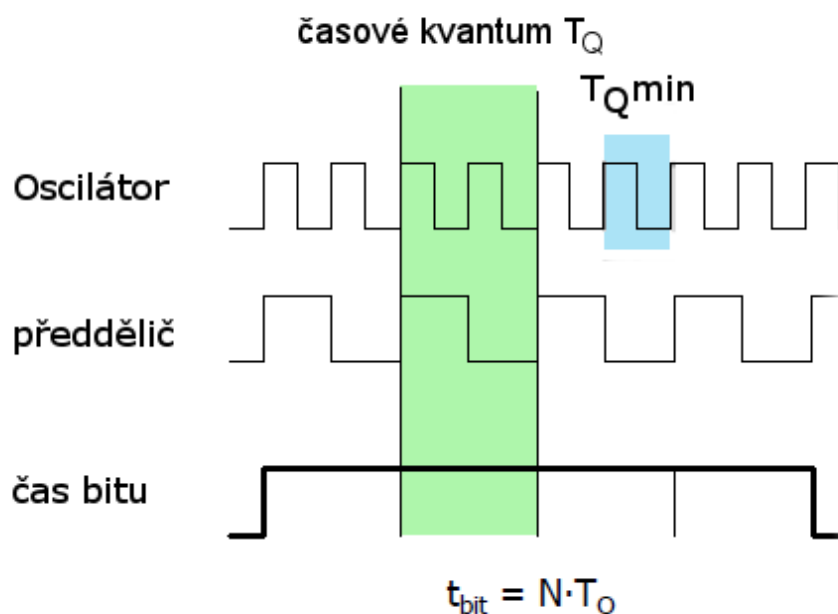
Obrázek 10: Konstrukce registru

Celkový čas bitu je tedy složen z časů jednotlivých segmentů a platí rovnice (1), že celkový čas bitu, tedy převrácená hodnota přenosové rychlosti se rovná součtu časů jednotlivých segmentů.

$$f = \frac{1}{t_{SYNC} + t_{PRS} + t_{PHS\ 1} + t_{PHS\ 2}} \quad (1)$$

Je tedy nutno vypočítat časy pro jednotlivé segmenty ze známých údajů, kterými jsou požadovaná rychlost přenosu, frekvence oscilátoru a poloha vzorkovacího bodu. Jednotlivé časy segmentů se skládají z časových kvant a každý segment trvá jiný počet časových kvant. Velikost těchto časů se nastavuje pomocí časovacích registrů PRS, PHS1 a PHS2. Samotná velikost časového kvanta se pak nastavuje pomocí registru BRP. Obecně tak platí, že čas bitu se skládá z N počtů časových kvant. Délka časového kvanta může být různá, ale nikdy menší než frekvence oscilací krystalu procesoru. Minimální časové kvantum se tedy rovná rovnici (2).

$$t_{Qmin} = \frac{2}{f_{cpu}} \quad (2)$$



Obrázek 11: Časové kvantum

Pokud je tedy frekvence krystalu 20 MHz, bude velikost minimálního časového kvanta 100 ns. K hodnotě přenosové rychlosti 250 kbit/s je čas bitu převrácená hodnota, tedy 4 μs. Po použití vzorce (3) se zjistí, že čas bitu t_{bit} se rovná čtyřicetinasobku minimálního časového kvanta.

$$t_{bit} = m \cdot n \cdot t_{Qmin} \quad (3)$$

Násobek N musí být celé číslo, k tomuto číslu se vymezí všechny možné kombinace celočíselného dělení. V tomto případě jsou to číselné dvojice uvedené v tabulce 2.

Tabulka 3: Celočíselní dělitelé čísla 40

m	8	10	20
n	5	4	2

Nyní je potřeba určit, jaké hodnotě se bude rovnat součet hodnot registru, přičemž předchozí tabulka udává, že velikost časového kvanta bude buď pětinásobkem, čtyřnásobkem nebo dvojnásobkem minima časového kvanta. Pokud je známá poloha vzorkovacího bodu, může se čas bitu rozdělit na dvě části. Tyto části jsou označeny x a y. Pro vzorkovací bod na 80 % se rozdělí čas bitu na část před bodem a část za vzorkovacím bodem. Vzhledem k tomu, že se vzorkovací bod nachází mezi segmenty phase1 a phase2, pak čas rovný segmentu phase2 se rovná 20% celkového času bitu, zatímco součet zbylých třech segmentů je 80% celkového času. Musí proto platit rovnice (4).

$$t_{bit} = (x + y) \cdot n \cdot t_{Qmin} \quad (4)$$

Přičemž $x = \frac{P}{100-P} \cdot y$, kde P je poloha vzorkovacího bodu v procentech. Z tabulky 2 je určeno, že hodnota proměnné m je 8,10 nebo 20 bitů a také je známo, že velikost phase2 je 20% této hodnoty, proto je možno nyní dopočítat hodnoty x a y pro jednotlivé možné kombinace násobků časového kvanta a doplnit do tabulky 4.

Tabulka 4: Hodnoty rozdělení času vzorkovacího bodu 80% pro rychlost 250 kbit/s

n	5	4	2
m	8	10	20
x	6,4	8	16
y	1,6	2	4

Z hodnot tabulky je vidět, že je možné zcela vyloučit hodnotu $n = 5$ a $m = 8$, neboť hodnoty x a y nevychází jako celá čísla. Zbývají tedy hodnoty 2 a 4. Je možné tedy již s jistotou tvrdit, že velikost časového kvanta bude dvojnásobkem nebo čtyřnásobkem minimálního časového kvanta. Podle vzorce (5) se tedy určí hodnota registru BRP. Také je již možné určit hodnotu PHS2 podle rovnice (6). Stejnou velikost pak bude mít i synchronizační úsek definovaný registrem SWJ. Vzhledem k tomu, že velikost synchronizačního segmentu je vždy rovna jednomu časovému kvantu, je známa tedy i tato hodnota, zbývá tedy určit pouze hodnoty PHS1 a PRS. Ty se určí z hodnoty x po odečtení jednoho časového kvanta pro synchronizační segment, znamená to tedy, že v tomto případě to bude rozdělení hodnoty 7 nebo 15. Přehled řešení je zapsán do tabulky 4.

Tabulka 5: Možné hodnoty nastavení segmentů časového registru

$t_Q[\text{ns}]$	400	200
BRP	3	1
PHS2	1	3
PHS1+PRS	5	13
PHS1	1	6
PRS	4	7
SWJ	1	3

Z hodnot v tabulce se pak hodnoty časů jednotlivých segmentů získají ze vztahů (7),(8),(9),(10) a (11).

$$t_Q = (BRP + 1) \cdot t_{Qmin} \quad (7)$$



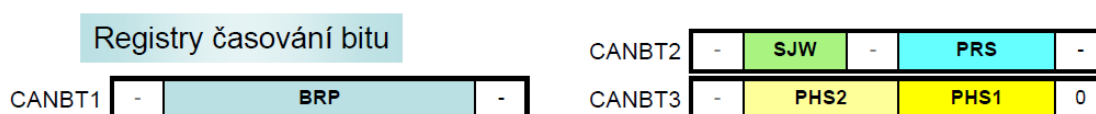
$$t_{PRS} = (PRS + 1) \cdot t_Q \quad (8)$$

$$t_{PHS1} = (PHS1 + 1) \cdot t_Q \quad (9)$$

$$t_{PHS2} = (PHS2 + 1) \cdot t_Q \quad (10)$$

$$t_{SWJ} = (SWJ + 1) \cdot t_Q \quad (11)$$

Tyto vypočítané hodnoty se poté musí doplnit do registrů časování bitu, jejichž tvar je na obrázku 12.



Obrázek 12: Tvar registrů časování bitu

Hodnoty vypočítané v prvním sloupci tabulky 5 doplní tak, aby seděly do tvaru registrů na obrázku 12, a poté se tyto hodnoty převedou do hexa tvaru. Získají se tak hodnoty bitů časového registru 0x06, 0x48 a 0x12. Tyto hodnoty jsou poté vepsány do příslušné knihovny při nastavení parametrů CAN sběrnice.

```

mcp_can.h
#define MCP_TX1IF 0x08
#define MCP_TX2IF 0x10
#define MCP_ERRIF 0x20
#define MCP_WAKIF 0x40
#define MCP_MERRF 0x80

/* speed 20M */
#define MCP_20MHz_250kBPS_CFG1 (0x06)
#define MCP_20MHz_250kBPS_CFG2 (0x48)
#define MCP_20MHz_250kBPS_CFG3 (0x12)

/* speed 16M */
#define MCP_16MHz_1000kBPS_CFG1 (0x00)
#define MCP_16MHz_1000kBPS_CFG2 (0xD0)
#define MCP_16MHz_1000kBPS_CFG3 (0x82)

#define MCP_16MHz_500kBPS_CFG1 (0x00)
#define MCP_16MHz_500kBPS_CFG2 (0xF0)
#define MCP_16MHz_500kBPS_CFG3 (0x86)

mcp_can.cpp
...
case (CAN_20_250KBPS) :
    cfg1 = MCP_20MHz_250kBPS_CFG1;
    cfg2 = MCP_20MHz_250kBPS_CFG2;
    cfg3 = MCP_20MHz_250kBPS_CFG3;
    break;

case (CAN_5KBPS):
    cfg1 = MCP_16MHz_5kBPS_CFG1;
    cfg2 = MCP_16MHz_5kBPS_CFG2;
    cfg3 = MCP_16MHz_5kBPS_CFG3;
    break;

```

Obrázek 13: Doplnění CAN knihovny o hodnoty 250 kbit/s pro 20MHz krystal

4. Řídicí jednotky nabíjení

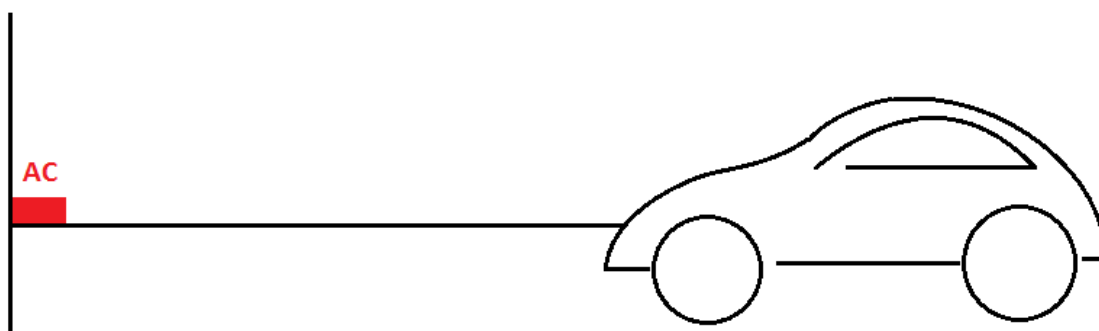
Aby bylo možno lépe pochopit funkci řídicí jednotky nabíjení, je nutno se nejprve podívat, jakým způsobem probíhá nabíjení a co všechno musí být jednotka schopna rozpoznat. Jedná se především o signály generované napájecími kabely, které slouží jednotce k detekci a informacím o velikosti nabíjecího proudu, o maximální zatížitelnosti nabíjecího kabelu a pomáhají k celkové komunikaci mezi jednotkou a nabíjecím kabelem nebo stanicí. Ačkoliv, jak bude později zmíněno, bude automobil obsahovat napájecí mód 3, je zde zmíněn celkový přehled všech nabíjecích módů, jak jsou zmíněny v normě IEC 62196[15]. Tato norma, kromě nabíjecích módů, také standardizuje nabíjecí konektory pro elektromobily. Z toho důvodu je podkapitola věnována i dvěma nejvýznamnějším nabíjecím konektorům SAE J1772 a VDE-AR-E 2623-2-2.

4.1. Nabíjecí módy

Nabíjecí módy se rozdělují do čtyř kategorií označených mód 1 až 4. Do jednotlivých kategorií jsou rozděleny podle způsobu připojení. Dělí se podle velikosti nabíjecího proudu, místa použití a také podle použití nabíjecího kabelu. Ke každému módu je pak doporučený připojovací konektor. První tři módy se zabývají nabíjením střídavým proudem, speciálním případem je pak mód 4, který se zabývá rychlým nabíjením pomocí stejnosměrného proudu. Norma také omezuje maximální nabíjecí výkony. Podle normy je maximální nabíjecí proud při střídavém napětí 690 V a nesmí přesáhnout 250 A. Při stejnosměrném napětí 600 V nepřesáhne 400 A [14].

4.1.1. Mód 1

Mód 1 je nejjednodušším způsobem připojení elektrického vozidla. Je definován pro nabíjení střídavým proudem z běžné domácí zásuvky bez jakéhokoliv mezičlánku. Jedná se tak o přímé propojení. Pokud se používá mód 1, elektrická instalace musí být v souladu s bezpečnostními předpisy, musí mít zemnicí systém, jistič pro ochranu proti přetížení a ochranu proti zemnímu svodu. Takto používané nabíjení je omezeno maximálním nabíjecím proudem 16 A z důvodu bezpečnosti.

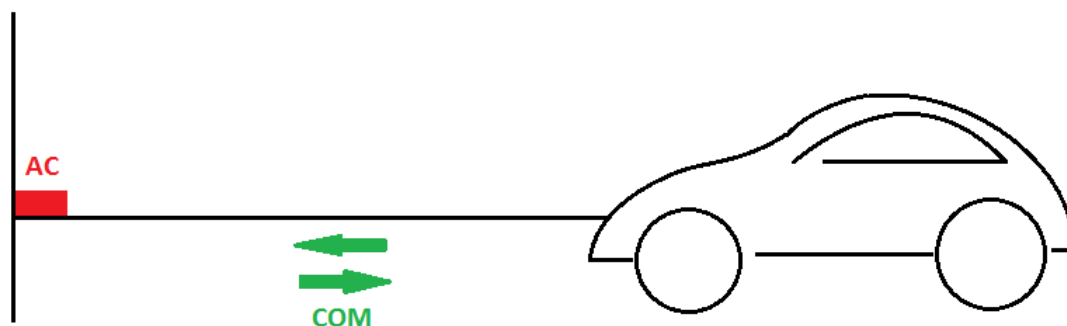


Obrázek 14: Nabíjení Módem 1

Nevýhodou tohoto systému je naprostá nemožnost odpojit bezpečně nabíjecí kabel při poruše během nabíjecího procesu nebo po skončení nabíjení, pokud není odepnuto napájení ze strany vozu. Řešením je využití některého z dalších módů. Pro Mód 1 není specifikován konkrétní konektor, nicméně je vhodné použít SAE J1772 nebo VDE-AR-E 2623-2-2.

4.1.2. Mód 2

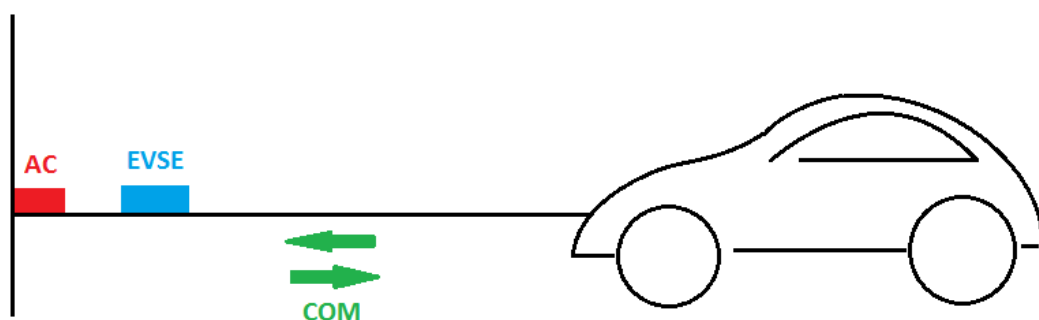
Mód 2 se moc neliší od Módu 1. Je určen pro nabíjení z běžné zásuvky, nicméně je opatřen jednoduchou kontrolní elektronikou pro případ uživatelského odpojení, ale na rozdíl od Módu 3 si nabíjecí kabel neuvědomuje svoje připojení k vozidlu. Právě z důvodu odpojení musí být konektor opatřen kontrolním pinem, přes který lze nabíječku odpojit. Z hlediska normy lze tímto způsobem nabíjet střídavým proudem do 32 A.



Obrázek 15: Nabíjení Módem 2

4.1.3. M3

M3 je spolu s m4 nejpoužívanější pro nabíjení elektrického vozu. M3 využívá k propojení sítě s vozidlem řídicí elektroniku EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment), která je zabudovaná přímo v napájecím kabelu, nebo v některých případech může být umístěna v nabíjecí stanici. EVSE je schopná zastat ochranné funkce a odpojit napájecí kabel v případě, že bude upozorněno ze strany vozu nebo tak samo vyhodnotí. Dále je zařízení schopno jednoduché komunikace s vozem na úrovni detekce připojení a je schopno vyhodnotit, zda je kabel připojen k vozidlu a naopak uvědomit vůz, že je připojen kabel a podle toho spustit nabíjení. Další funkcí je pak možnost změny nabíjecího proudu. Z tohoto hlediska musí být konektory pro toto nabíjení osazeny takzvaným pilotním vodičem, který danou komunikaci přenáší. Podrobnějšímu popisu funkce EVSE bude věnována pozdější kapitola. Nevýhodou tohoto M3 je pak značná složitost nabíjecího kabelu, který musí obsahovat EVSE elektroniku a nutnost instalace vhodného protikusu EVSE elektroniky uvnitř vozu. Možnost nabíjecího proudu je z hlediska normy omezena. Její maximální hodnotou je 250 A. Ve skutečnosti je však tato hodnota omezována usměrňovači uvnitř automobilu na hodnotu přibližně 65 A. Standardními konektory jsou SAE J1772 pro jednofázovou síť a VDE-AR-E 2623-2-2 pro třífázovou.

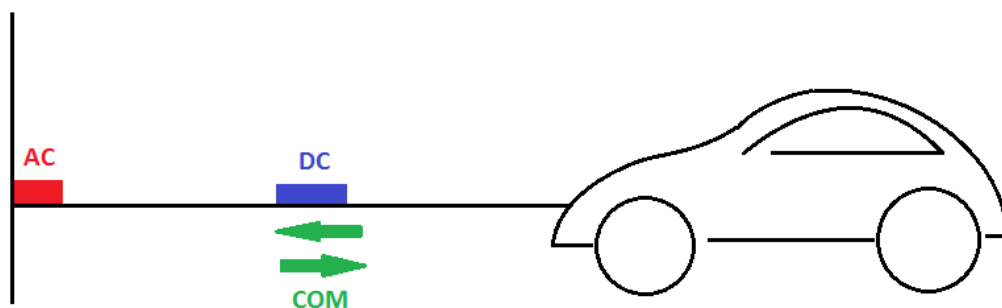


Obrázek 16: Nabíjení M3

4.1.4. M4

M4, jak už bylo zmíněno, je určen pro stejnosměrné nabíjení. Stejnosměrné nabíjení je určeno zejména pro časově krátké nabíjení v řádu desítek minut. Nabíjení probíhá za pomoci vysokého nabíjecího proudu o velikosti až 400 A. Struktura při tomto nabíjení

je zcela odlišná od struktury střídavého napětí, neboť výstup z nabíjecí soustavy je již usměrněný a bývá přímo připojen na baterii vozu. Z tohoto důvodu musí piny připojovacího kabelu obsahovat více komunikačních vodičů pro řízení a případné ukončení nabíjení. Důležitá je také o dost větší šířka vodičů pro přívod silové části z důvodů velmi vysokých nabíjecích proudů. Normou definovaný konektor pro stejnosměrné nabíjení se nazývá CHAdeMO. Automobily přizpůsobené pro rychlé nabíjení bývají zpravidla opatřeny dvěma typy konektorů, jednak pro připojení klasického domácího AC napětí, které je usměrněno až ve voze a jednak pro DC napájení. Rychlonabíjení tak není možno provozovat doma z důvodu velké zatížitelnosti sítě a používá se tak pouze u specializovaných dobíjecích stanic. Výhoda rychlého nabíjení je však zároveň jeho nevýhodou, protože nabíjení vysokými proudy má zároveň velký vliv na ohřev lithium polymerových článků a působí tak na jejich degeneraci. Z tohoto důvodu je nutno články chladit, případně omezovat velikosti nabíjecích proudů, což klade opět větší důraz na složitost komunikace mezi nabíjecí stanicí a vozem a tím nároky na složitost konektoru.



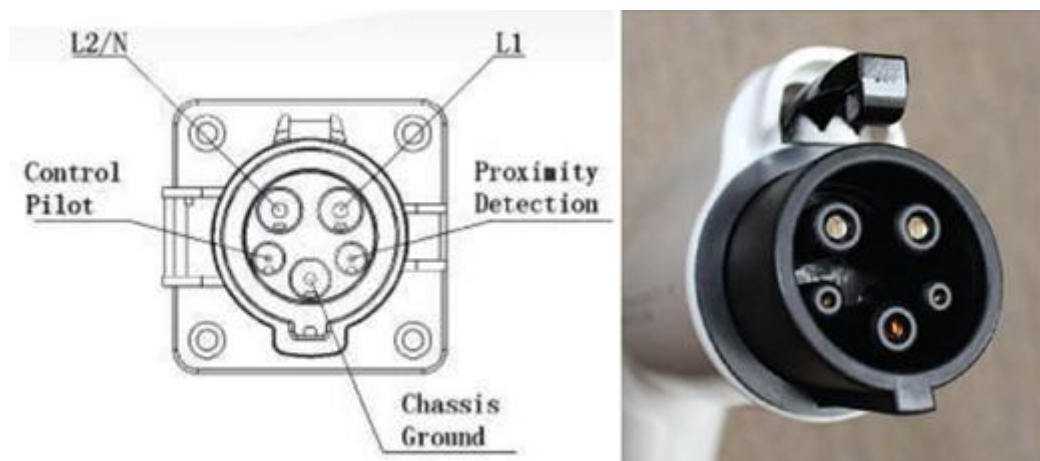
Obrázek 17: Nabíjení Módem 4

4.2. Standardní koncovky

Jak už bylo zmíněno v úvodní části, norma se snaží standardizovat jednotný konektor pro nabíjení elektrovozu. Problém standardizace je, nesourodost elektrických sítí v jednotlivých tržních oblastech a také požadavky na konstrukci konektoru v závislosti na úrovni požadované komunikace. V závislosti na těchto problémech v současnosti norma povoluje dva typy konektorů pro střídavé nabíjení, jeden pro stejnosměrné a kombinaci konektorů pro stejnosměrné nabíjení se střídavým.

4.2.1.SAE J1772

SAE J1772 je konektor, který vznikl v USA a z pohledu elektromobility patří k nejvýznamnějším [17]. SAE je dnes s velikou pravděpodobností nejpoužívanějším konektorem pro elektrická auta a vyskytuje se na drtivé většině aut určených pro americký a asijský trh, ale také překvapivě u některých aut v Evropě. Jak už je patrné z místa vzniku, je určen pro jednofázové nabíjení střídavým napětím, nebo pro takzvanou dělenou fázi, která je sdružená mezi dvěma 120V fázemi. Konektor SAE je opatřen pěti piny, z nichž 2 jsou pro vedení nabíjecího proudu, jeden vodič je ochranný a další vodiče jsou detekce připojení a signál Pilotu. Z faktu, že J1772 obsahuje pilotní vodič, je patrné že, je určen pro nabíjení v Módu 3 a používá se tedy v kombinaci EVSE elektronikou, ale nemusí být jeho využití nutnou podmínkou a konektor se může používat i v Módu 2 s zapojením pouze proximního vodiče.



Obrázek 18: SAE J1772

Maximální hodnoty, kterými pak lze pomocí konektoru nabíjet závisí na způsobu nabíjení a jsou definovány dva způsoby. U AC levelu 1 se jedná o nabíjení jednou 120V fází a maximální proud, kterým lze nabíjet je 16 A. U AC levelu 2 se pak jedná o zmíněnou split fázi a je možné podle nové normy z roku 2009 nabíjet až do 80 A. Zvláštností je, že norma povoluje využití konektoru i pro stejnosměrné nabíjení, pro tento účel se však většinou nepoužívá a je nahrazována konektorem pro CHAdeMO.

4.2.2. VDE-AR-E 2623-2-2

Z pohledu obyvatele evropského kontinentu je mnohem zajímavější konektor VDE-AR-E 2623-2-2 [16], kterému se říká zjednodušeně Mennenkes. Mennenkes je konektor který standardizovala německá asociace automobilového průmyslu VDA a je určený pro třífázové nabíjení z evropské elektrické sítě. Mennenkes se od SAE J1772 odlišuje jenom v počtu fázových vodičů, jinak se v principu jedná prakticky o totožný konektor. Mennenkes obsahuje 7 pinů: 3 fázové, jeden nulový, jeden ochranný, proximity pin a pin pilotního signálu podobně jako SAE J1772. Mennenkes je možno využít jak pro Mód 2, tak pro Mód 3 a umožňuje nabíjet jak jednofázovým proudem, tak i trojfázově. Při jednofázovém nabíjení norma umožňuje nabíjecí proudy až do velikosti 32 A. Při třífázovém nabíjení je pak možno jít mnohem výše a to až na 65A. Mennenkes lze podobně jako SAE J1772 využít i pro stejnosměrné nabíjení, ale platí totéž co v případě SAE J1772.



Obrázek 19: VDE-AR-E 2623-2-2

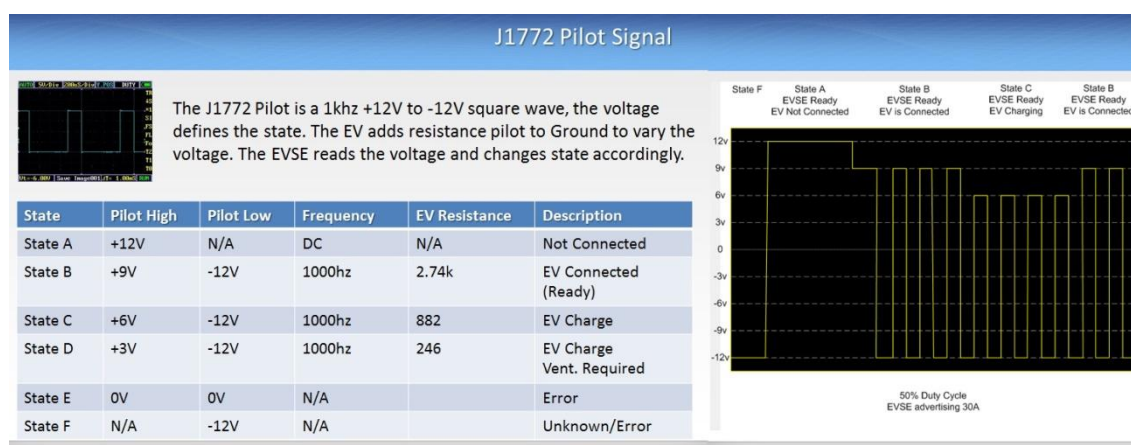
4.3. Funkce CP a PP pinů

Jak bylo zmíněno v předchozích kapitolách, pro řídicí jednotku nabíjení je klíčová dvojice signálů umístěných v konektoru, a to proximity pin a kontrol pilot. Tyto dva signály v sobě nesou informace o nabíjení a jsou zdrojem důležitých informací pro řídicí jednotku, zejména o zatížitelnosti kabelu a komunikaci mezi nabíjecím kabelem a jednotkou nabíjení.

2.3.1 Control pilot

Přítomnost Control pilotu obstarává zařízení, které se nazývá EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment). Tato elektronika generuje signál sloužící k rozpoznání stavu nabíjení, tedy jestli je možno nabíjet, jestli je kabel připojen k vozu a jestli nabíjení probíhá. Zároveň v sobě nese i informaci o velikosti nabíjecího proudu [13].

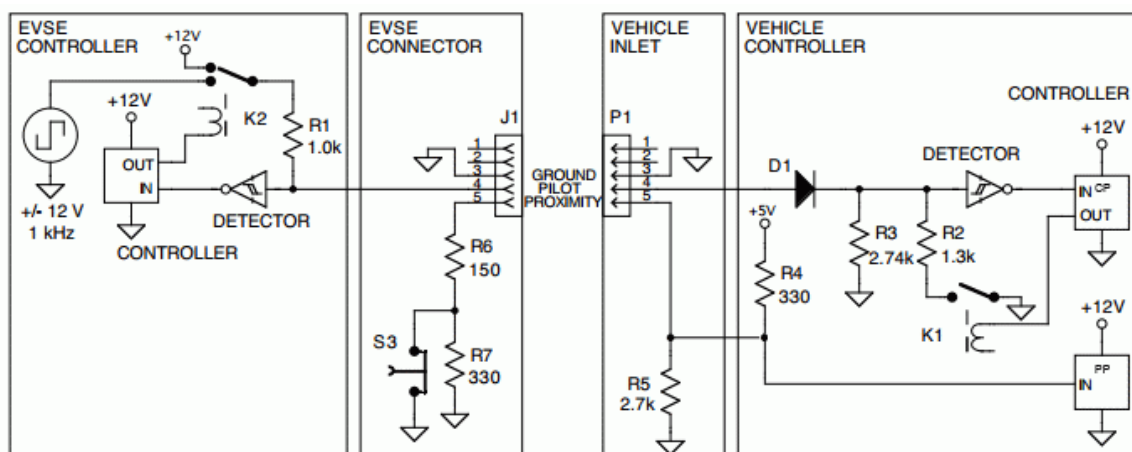
EVSE bývá nejčastěji umístěna v samostatné krabičce na nabíjecím kabelu, ale může být umístěna i v nabíjecí stanici, popřípadě v minimalistické verzi přímo v konektoru. EVSE je primárně tvořena PWM generátorem, který generuje signál s frekvencí 1 kHz s proměnnou hodnotou napětí a střídy. Tento signál je vyveden právě pilotním signálem a posílán ke zpracování vozidlové části, případně je zpětně čten. Další funkcí EVSE je odpojování nebo připojování kabelových relé, pokud jsou přítomny, v závislosti na stavu pilotu. U některých verzí mohou relé chybět, například u instalace v konektoru. Hardwarově může být EVSE opatřeno ještě displayem pro zobrazení stavu nabíjení nebo nabíjecím proudem.



Obrázek 20: Průběh pilotního signálu

Základním stavem pilotního signálu je trvalá hodnota 12 V [12]. Ta znamená, že EVSE je připraveno k nabíjení a není připojeno k vozu. Při tomto stavu jsou relé v kabelu odpojena. Při připojení kabelu k autu dojde k připnutí rezistoru k pilotnímu vodiči a utvoří tak monostabilní obvod, který generuje zmíněný 1 kHz PWM signál napětově omezený na hodnotu 9 V kladných a 12 V záporných. V tuto chvíli detekuje EVSE připojení k automobilu a čeká na signál od vozové části, že může začít s nabíjením a sepnout kabelové relé. Po souhlasu od vozové části připíná další rezistor a generované

PWM se mění na 6 V kladných a 12 V záporných. Střída PWM signálu je závislá na nabíjecím proudu a může být stanovena pevně firmwarem nahraným v EVSE, nebo u některých nabíječek volena pomocí tlačítka nebo obslužného panelu. U většiny domácích nabíjecích kabelů je však pevně stanovená. Střída 10% pak odpovídá nabíjecímu proudu 10 A, 96% 80 A.



Obrázek 21: Schéma zapojen pilotního signálu u SAE J1772

2.3.2 Proximity pin

Proximity pin slouží k informaci o maximální zatížitelnosti napájecího kabelu. V praxi to funguje tak, že mezi proximity pinem a zemí v napájecím kabelu je umístěn odpor o konkrétní velikosti. Uvnitř vozidla je poté jednoduchý 5V dělič tvořený dvěma odpory o hodnotách 330 Ω a 2700 Ω .

Tabulka 6: Hodnoty odporů proximity pinu

Zatížitelný proud	Odpor mezi PE a PP	Napětí na vstupu VChU
13 A	1500 Ω	3,5 V
16 A	680 Ω	3 V
32 A	220 Ω	2 V
64 A	100 Ω	1 V

Výstup z děliče je přiveden na vstup řídicí jednotky nabíjení, která měří úbytek napětí na děliči. Po připojení nabíjecího kabelu se přes proximity pin spojí odpory do sério-paralelní kombinace, která má na svědomí změnu napětí na vstupu do VChU. Hodnoty odporů jsou záměrně voleny tak, aby napětí na vstupu do řídicí jednotky nabíjení bylo celé číslo pohybující se od 0 do 5 V stejnosměrného napětí. Funkce proximity pinu se liší u Mennenkesu a SAE J1772. Na rozdíl od funkce v Mennenkesu slouží proximity pin u SAE J1772 pouze k detekci připojení a k detekování stisku tlačítka. Kabel má tak mezi zemí a proximity pinem odporový dělič tvořený dvěma odpory o hodnotě 330 Ω a 150 Ω , protistrana pro detekování je pak totožná jako u Mennenkesu. Funkce pak spočívá v tom, že pokud není kabel připojený, je na vstupu do VChU 4,5 V. Pokud dojde ke stisku tlačítka, rozpojí se zkratovaný odpor 330 Ω a napětí na vstupu do VChU klesne na 3 V. Tímto dojde k připojení nabíjecího kabelu a po uvolnění tlačítka se vytvoří serio-paralelní kombinace podobná jako u Mennenkesu. Po uvolnění tlačítka se odpor 330 Ω opět zkratuje a výsledné napětí klesne na 1,5 V. Toto řešení má oproti Mennenkesu, kromě nevýhody toho, že řídicí jednotka nezná zatížitelnost kabelu, jednu obrovskou výhodu a to v případě, že se uživatel rozhodne zasáhnout do nabíjecího procesu a vynuceně ho přerušit. Stiskem tlačítka na konektoru dá jednotce jasný signál pro ukončení nabíjení. V případě Mennenkesu se musí podobné tlačítko umístit na vůz a bez jeho stisknutí by z bezpečnostních důvodů nemělo jít kabel odpojit. U moderních aut se toto tlačítko umísťuje například na klíčky od vozu a VChU je upozorňována prostřednictvím CAN sběrnice od patřičné jednotky.

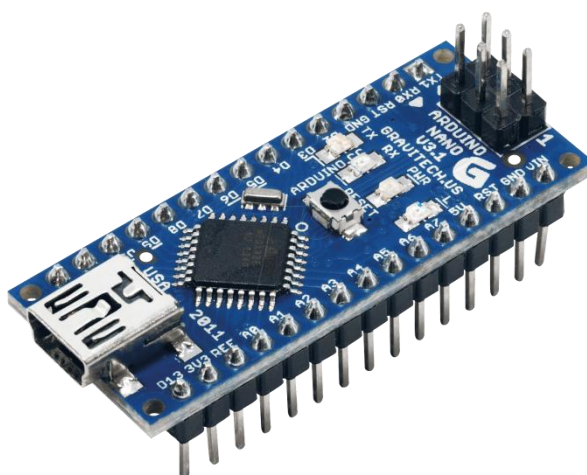
5. Návrh řídicí jednotky nabíjení

Jak vyplývá z předchozí kapitoly, jednotka nabíjení musí být schopná komunikovat jak s nabíjecí stanicí, tak s BMS a musí korespondovat s požadavky normy IEC 62196, konkrétně pro nabíjecí Mód 3. Jako napájecí konektor je v automobilu použit VDE-AR-E 2623-2-2. Požadavky na řešení jednotky jsou tedy následující, kromě kompatibility s nabíjecími stanicemi, je požadována ještě komunikativnost s BMS a obsluha dalších prvků. V praxi cyklus řídicí jednotky vypadá následovně. Po připojení napájecího kabelu dochází ke čtení jednak proximity pinu a jednak pilotního signálu. Pomocí nich jednotka detekuje připojení k nabíjecí stanici a informuje o tomto stavu BMS. Pokud BMS vyhodnotí, že je potřeba baterii nabít, dá jednotce povolení. Jednotka připojí odpovídající odpor k vodiči pilotního signálu, tak jak je to popsáno v předchozí kapitole věnující se vlastnostem signálních vodičů v napájecím kabelu. Tím dojde ke změně hladiny napětí v obvodu pilotního signálu, na který reaguje jednotka uvnitř napájecí stanice nebo kabelu sepnutím relé silového vedení a zprostředkuje tak nabíjení. Současně se spínáním tohoto obvodu je poté nutno zablokovat pohon kol, aby nebylo možné odjet s autem, které je právě nabíjeno. Další vlastností je již zmiňované tlačítko pro ukončení nabíjení, které je u VDE-AR-E 2623-2-2 nezbytné pro bezpečné nabíjení. S tím souvisí i obsluha elektrického zámku na nabíjecí konektor, který znemožňuje vytažení zásuvky, dokud není dokončeno nabíjení nebo není ukončeno skrze odpojovací tlačítko. Řídicí jednotka tedy musí být realizována tak, aby byla plně komunikativní se svým okolím. Musí být tedy tvořena mikročipem s vyvedeným počtem patřičným vstupů a výstupů.

5.1. Fyzická realizace řídicí jednotky nabíjení

Jako jádro řídicí jednotky je zvoleno Arduino nano [19]. Jádro Arduina je tvořeno mikročipem ATmega328 od firmy Atmel, jehož operační teplota se pohybuje v rozmezí -55 až 125 °C [18]. Patří tedy do kategorie Grade 1 a je možno ho bezproblémově použít pro tuto aplikaci. Arduino bylo voleno z důvodů jednoduché manipulace a usnadnění práce, neboť disponuje velkým množstvím již předprogramovaných funkcí a navíc velmi jednoduchým programovacím jazykem. Navíc jeho velkou výhodou je početná komunita, a s tím související počet předpřipravených knihoven. Arduino nano je, jak už bylo zmíněno, tvořeno ATmegou328 a má k dispozici 14 programovatelných

digitálních vstupů a výstupů. Na některých z těchto vstupů/výstupů jsou pak programovatelné speciální funkce, jako například externí přerušení na pinech 2,3, sériová komunikace, SPI, nebo PWM. Napájení pro správnou funkci Arduina je v rozmezí 7 až 12 V, což je ideální hodnota pro využití v elektromobilové síti, která je běžně 12 V. Jedinou nevýhodou je výstupní napětí, které nese hodnotu 5 V a pro spínání většiny automobilových komponent, které jsou konstruovány právě na 12 V, je nízké. Z toho důvodu musí být potřebné komponenty spínány přes tranzistor nebo relé.

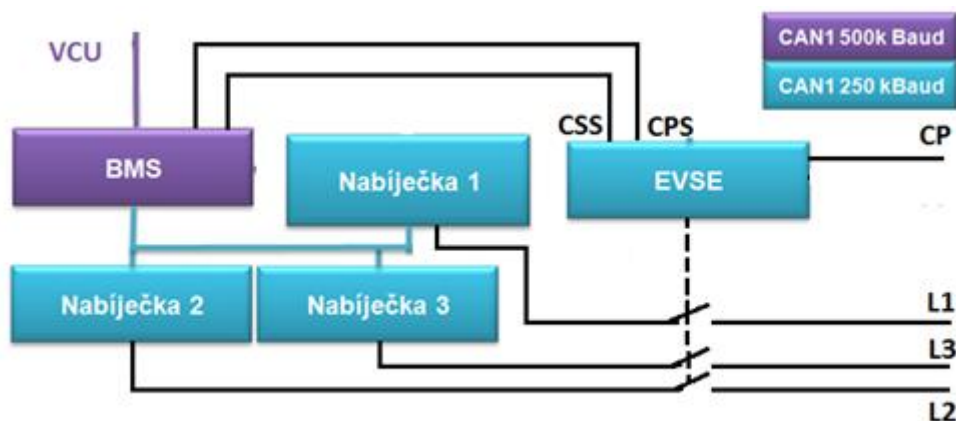


Obrázek 22: Arduino nano

5.1.1. Prvotní realizace

Návrh řídicí jednotky je návrhem shieldu pro Arduino. Ke každému ovládacímu prvku je tak přiřazen jeden nebo více pinů Arduina. Jak už bylo zmíněno, požadavek na řídicí jednotku je jasný, schopnost čtení pilotního signálu, předání informace o připojení BMS, vyhodnocení odpojení na základě tlačítka nebo pokynu od BMS. Z kapitoly 2.3.1. je známo, že pilotní signál je vysílán nabíjecí stanicí. Po připojení k automobilu se k signálnímu vodiči připevne rezistor o hodnotě 2,74 k Ω . Ten má obdélníkový průběh o hodnotě 9 V kladných, 12 V záporný a frekvenci 1 kHz. Tento signál je nutno detekovat. Signál je tedy nutno nejprve pomocí jednocestného usměrňovače oříznout pouze na kladnou polovinu. Kladnému signálu je poté nutno uzpůsobit napěťovou hladinu na maximum 5 V, což je maximální povolená hodnota pro vstup na digitální piny Arduina. K oříznutí bylo využito neinvertujícího komparátoru bez hystereze. Oříznutý pilotní signál o hodnotě +5 V kladných a 0 V je přiveden na pin D3 u Arduina,

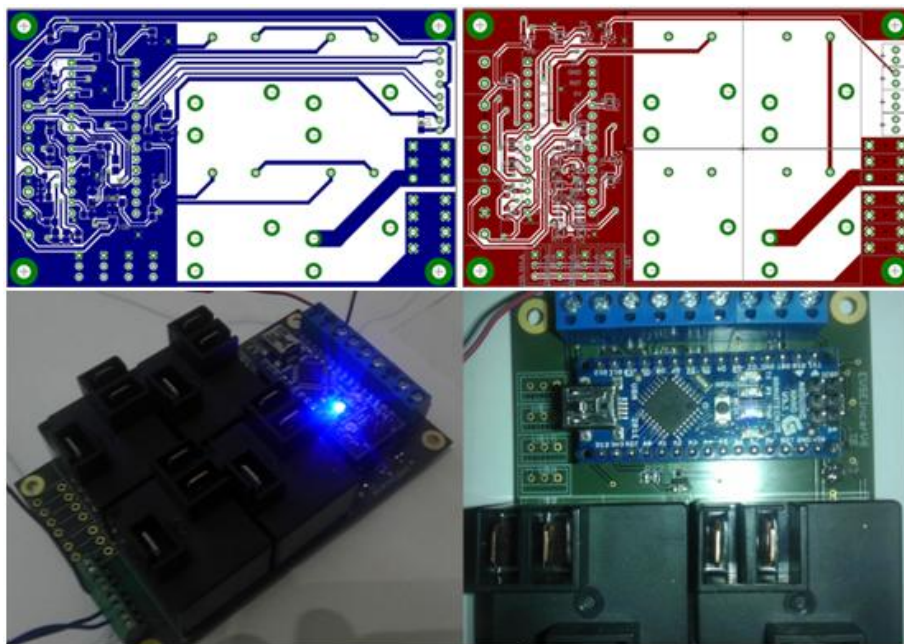
který je schopen čist frekvenci signálu. Pokud se tedy na něm objeví signál o frekvenci 1 kHz, ví, že došlo k připojení správného nabíjecího konektoru a může informovat BMS.



Obrázek 23: Blokové schéma první realizace komunikace

Komunikace s BMS probíhá pomocí dvojice digitálních signálů. Tyto signály se jmenují CSS a CPS. Jedná se o dvojici tranzistorů s otevřeným kolektorem, přičemž CSS je vstupním signálem a CPS výstupním signálem. Pokud je do kolektoru CSS přivedeno napětí 12 V, znamená to, že došlo k připojení nabíjecího kabelu. Pokud je potřeba nabíjení, pošle zpět 12V signál tím, že sepne výstup CPS. Signál CPS je pak čtený ve VChU. Elektronicky je pak tato komunikace řešena pomocí kaskádně zařazených tranzistorů NPN a PNP, tak aby bylo možno spínat zátěž v emitoru, do kterého je přiveden kolektor signálu CSS a led dioda, jejíž druhý konec je přiveden na CPS. Po sepnutí CPS signálu dojde k uzemnění diody, jejímu rozsvícení a sepnutí optočlenu, který je přiveden zpět na vstup Arduina. Tím je ošetřena komunikace mezi BMS a VChU. Po souhlasu od BMS pak VChU připíná pomocí optočlenu druhý odpor k pilotnímu signálu o hodnotě 1,3 kΩ. Dochází k sepnutí relé v kabelu i na desce VChU přes pomocný kontakt relé a zprostředkování nabíjení. Zároveň deska blokuje pomocí digitálních výstupů měniče motoru, zapalování a kabel nabíjení. Toho docílí pomocí unipolárních tranzistorů přivedených na digitální výstupy Arduina. Nevýhodou tohoto zapojení je omezené šíření informací. Mezi jednotkami se vyměňuje pouze dvojice informací o připojení a o povolení nabíjení. Celý proces se musí řídit pouze za pomoci těchto signálů. Disponuje tedy velmi omezeným počtem stavů, které může poslat jednotce nabíjení. Pouze informaci o připojení nabíjecího konektoru a informaci zda

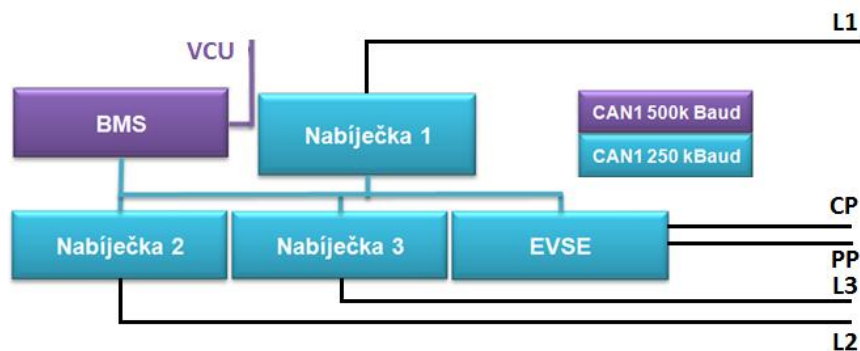
může nebo nemůže nabíjet. BMS disponuje širokým množstvím digitálních vstupů a výstupů, které mohou být dodatečně přivedeny na nějaký z pinů Arduina a získat tak další informace. V praxi to však znamená, co signál, to jeden vodič táhnutý přes celý automobil. Tím se odhaluje druhá nevýhoda, která s tímto nepřímo souvisí a tím je nulová spolehlivost, tedy pokud dojde k mechanickému přerušení jednoho z vodičů, ani jedna z jednotek nemá šanci zjistit, že se na trase vyskytla chyba. V obou případech si bude myslet, že je kabel buď nepřipojený nebo není povoleno od BMS nabíjet. Proto se u návrhu VChU celkem logicky přešlo na Sběrnici CAN.



Obrázek 24: První realizace jednotky nabíjení (VChU verze 3)

5.1.2. Současná realizace

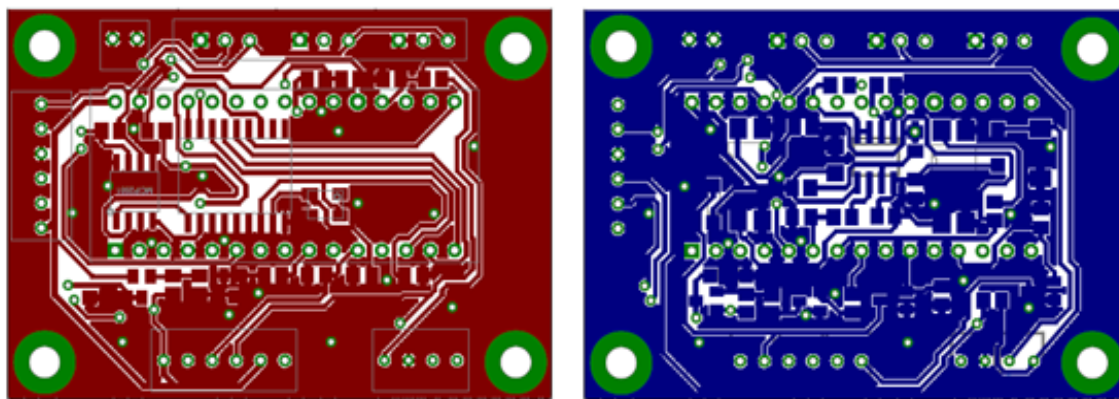
Jak už bylo zmíněno v předchozí kapitole, současná verze návrhu nabíjecí jednotky doznala určitých změn. Nejvýznamnější změnou byl přechod na plně funkční sběrnici CAN nahrazující tak dosavadní způsob komunikace. Jádro jednotky zůstalo stejné jako v předchozím případě a je tvořeno Arduinem nano. Tento typ však nedisponuje schopností komunikovat pomocí CAN sběrnice. Z tohoto důvodu došlo k využití rozhraní SPI na pinech 10(SS), 11(MISO), 12(MOSI) a 13(SCK). Přes SPI je k Arduinu připojený CAN převodník MCP2515 o taktu 20MHz.



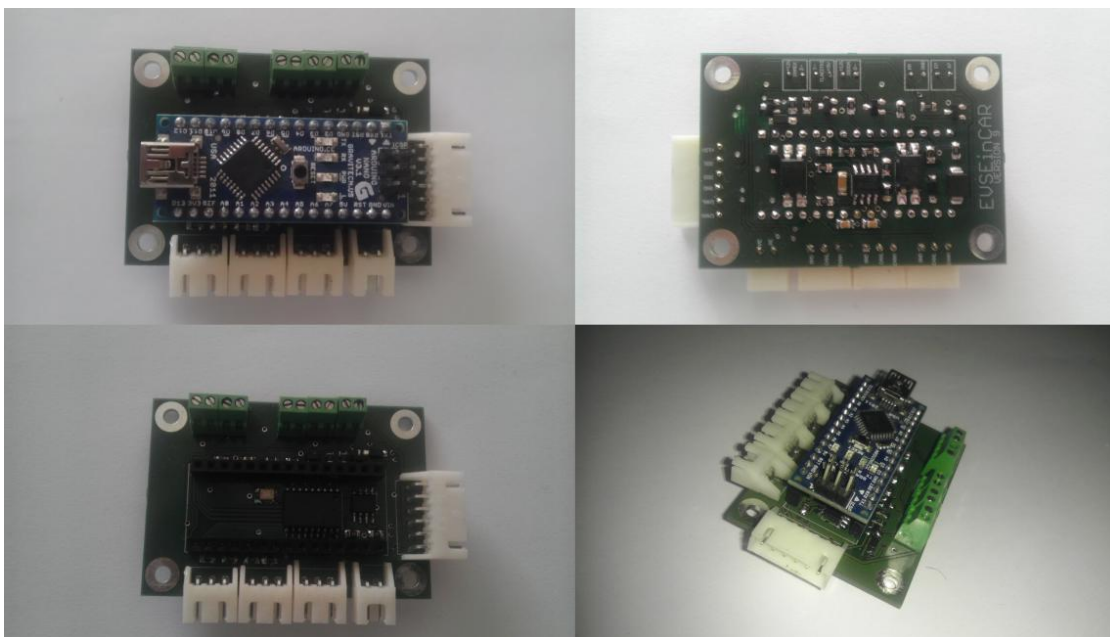
Obrázek 25: Současné blokové schéma komunikace VChU

K převodníku je pak ještě připojen CAN vysílač MCP 2551 zakončený 120Ω odporem pro správnou funkčnost. Touto změnou ztratila řídicí jednotka 4 digitálně vstupní piny namísto původních dvou, ale podstatně se rozšířily možnosti z hlediska objemu posílaných dat. Jednotka je tak rozšířena o čtení proximity pinu, a to pomocí jednoduchého napěťového děliče přivedeného na analogový vstup Arduina schopného měřit napětí, které odpovídá hodnotě příslušného odporu obsaženého v PP pinu. Informaci pak může po CAN sběrnici poslat BMS, která může například přizpůsobit maximální nabíjecí proud velikosti nabíjecího kabelu, což v předchozím řešení nebylo možné. Rovněž je zde zavedeno měření teploty Mennenkesu, a to z důvodů oteplení, pomocí NTC termistoru přivedeného jako odporový dělič na analogový vstup Arduina. Analogové vstupy Arduina jsou stejně jako digitální vstupy omezeny maximální hodnotou +5 V stejnosměrného napětí, proto musí být vstupní signály omezeny na tuto hodnotu. V případě odporových signálů (popsaných výše) lze s výhodou využít vlastního +5V zdroje Arduina a tyto signály bezpečně číst napřímo. Pokud se jedná o externí vstupy, které v drtivé většině mívají napěťovou hladinu 12 V, je nutno tuto hodnotu omezit, a to buď pomocí napěťového děliče, komparátoru napájeného z 5 V nebo v případě digitálních vstupů jednoduše pomocí tranzistoru. Obdobně pro výstup je nutné většinu signálů zesílit, zde se opět přímo nabízí řešení pomocí tranzistoru. Kromě komunikace a rozšíření periférií o dva analogové vstupy se dostalo zlepšení i čtecímu mechanismu pilotního signálu. Oproti předchozí verzi přibyl kvůli spolehlivosti zdvojený mechanismus spínání 1,3kΩ odporu připínaného k pilotnímu signálu. Zdvojení má zajistit správnou funkčnost v případě, že dojde k poškození jednoho z optočlenů. Dále pak bylo rozšířeno i čtení informací z pilotního signálu. Dosavadní jednotka z pilotního signálu četla pouze informaci o kmitočtu, čímž zjišťovala

přítomnost nabíjecího kabelu. Přidáním dolní propusti za pilotní signál je možno získat informaci o velikosti napětí závislém na střídě pilotního signálu a tím i o velikosti aktuálního nabíjecího proudu, což je opět velmi užitečná informace, ať už pro uživatele jako takového, formou například signalizačního lebaru na zobrazovacím displayi nebo opět jako zpětná vazba pro BMS, která tak může upravovat parametry nabíjení a požadavky na nabíječky. Ostatní externí výstupy z VChU zůstali totožné s předchozími verzemi, týká se to zámku Mennenkesu, tlačítka se signalizací, blokace zapalování a měniče pohonu. Zároveň s přechodem na sběrnici CAN bylo možno vypustit relé pro silový přívod k nabíječkám, protože tato ochranná relé jsou integrována v nabíjecí stanici nebo kabelu. Zároveň jsou bezpečnostní relé obsažena v nabíječkách a jak BMS, tak VChU mohou pomocí CAN požádat o jejich odpojení. Třetí bezpečnostní relé v řadě tak jsou zbytečná. Tím došlo k obrovské integraci jednotky v podstatě jenom na rozměry Arduina, neboť veškeré komponenty se vejdou pod něj. Současná deska tak má rozměry 60 mm na výšku a 40 mm na šířku, oproti původní verzi s rozměry 65mm výšky a 106 mm šířky. Došlo tak ke skoro trojnásobnému zmenšení.



Obrázek 26: Layout současné realizace



Obrázek 27: VChU Verze 9.

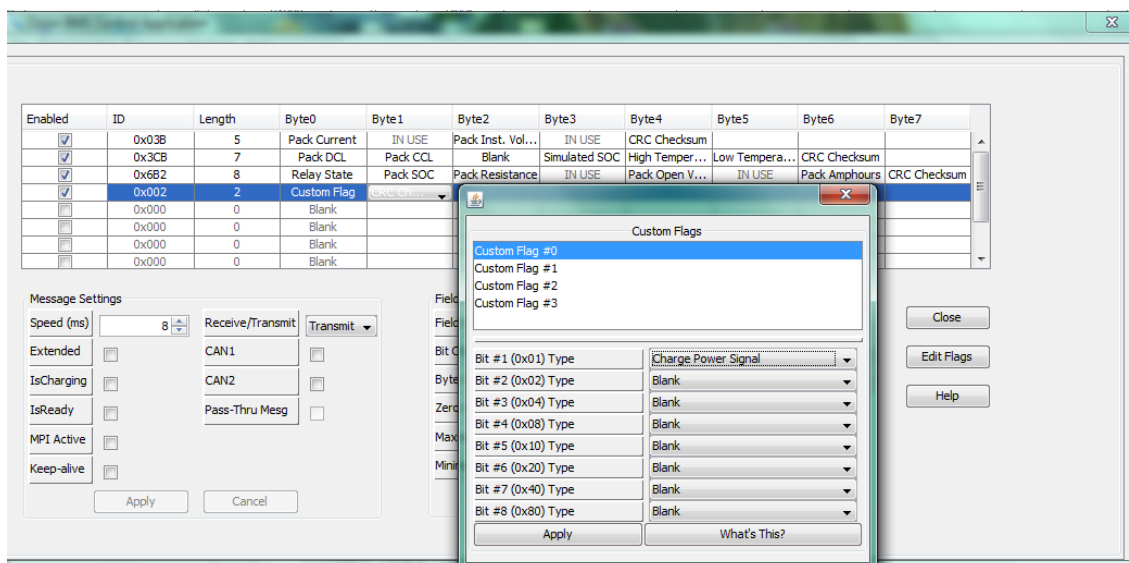
5.2. Softwarová realizace nabíjecí jednotky

Do připravené řídicí jednotky je nutné implementovat funkční kód, který by se dal rozdělit na dvě části. V první řadě je nutno implementovat funkční CAN protokol přes SPI sběrnici a správně nastavit přenosovou rychlost a tvary datových rámců posílaných po CAN sběrnici tak, aby zařízení na druhé straně, v tomto případě nejčastěji BMS, bylo schopno správně tyto zprávy identifikovat a naopak, aby řídicí jednotka byla schopna správně identifikovat odpovědi posílané od BMS. Z tohoto důvodu je tato kapitola rozdělena do dvou částí, z nichž první je právě věnována implementaci CAN sběrnici a úpravě datového rámce pro konkrétní BMS používanou v elektromobilu eŠus. Druhá část je pak samotný cyklus řídicí jednotky, který byl už nastíněn v kapitole fyzické realizace, ale pro správnou funkčnost je nezbytný postupný sled cyklů a instrukcí zajišťující jednak správnost a jednak bezpečnost při nabíjecím procesu, a ačkoliv vlastní cyklus řídicí jednotky není nijak složitý, zaslouží si zvláštní popis z důvodů přiblížení funkčnosti a pracovního postupu řídicí jednotky.

5.2.1. Komunikace po sběrnici CAN

Pro komunikaci po sběrnici CAN byly využity některé z veřejně dostupných knihoven podporující komunikaci po SPI a CAN vypracované pro platformu Arduina, a které jsou

se svolením autorů volně šiřitelné a použitelné [20]. Tyto knihovny obsahují již připravené příkazy pro tvorbu a odeslání datového rámce CAN sběrnice přes SPI rozhraní. Limitovány jsou pouze nastavením časovacího registru pro příslušný takt navrženého CAN vysílače, který je v tomto případě 20 MHz, zatímco hodnoty v knihovnách jsou navrženy pro takt 16 MHz, a proto je nutné hodnoty registrů přepočítat a doplnit. Potřebné hodnoty segmentů jsou vypočítány v kapitole 3.3. Příkazy pro odesílání rámce jsou *can.sendFrame()*; a *can.readFrame()*; pro přijetí. Parametry pro posílání rámce jsou tak dle očekávání: ID rámce, volba, zda se jedná o rozšířený rámec, délka datové části a posílaná data. O přibalení nezbytných částí rámce jako je SOF, CRC nebo konec rámce se postará knihovna sama. K propojení VChU k BMS se využije softwaru volně stažitelného pro Orion BMS, který slouží k nastavení funkce BMS. Konkrétně přes cestu CANBUS Setting/ Edit CANBUS message se zobrazí okno s nastavením tvaru rámců vysílaných a přijímaných skrz BMS. V horní části okna se nastaví ID rámce, který bude vysílán do VChU a poté délka datové oblasti, v tomto případě postačí pouze dva byty. První byte je nastavený na custom flags, druhý bude CRC součet. V okně Message settings se zvolí rámec na vysílání a na jakém CAN okruhu bude vysílán, neboť BMS disponuje dvěma okruhy. Je zde možnost nastavení rozšířeného rámce nebo podmíněného odeslání, například při nabíjení nebo při přípravě k nabití. Dalším krokem je nastavení příznaků. Přes tlačítko Edit Flags se otevře okno s nastavením příznaků, ve kterém se zvolí jako aktivní příznak 0. Na bit nula se přiřadí Charge power Signal. Pokud bude CPS aktivní, bude mít byte CustomFlags hodnotu 0x01, v opačném případě bude nulový.



Obrázek 28: Orion BMS utility nastavení CANBUS

Pokud VChU detekuje rámec s ID nastaveném v BMS a hodnotou 0x01, ví, že má od BMS povoleno nabíjet. Stejným postupem se nastaví i rámec pro přijímání CSS signálu. Tímto způsobem se docílí možnosti poslat signály CSS a CPS po sběrnici CAN. Vzhledem k tomu, že Orion BMS disponuje dvěma CAN konektory, je možné posílat rámce z jednoho portu na druhý. Je tak možné přeposlat zprávu z okruhu portu CAN1 na port CAN2, BMS pak funguje jako brána a propouští jednotlivé rámce. Je tedy možné poslat zprávu z okruhu CAN1, kde jsou připojeny nabíječky, BMS a EVSE VChU na okruh druhý a dostat tak zprávu až k řídící jednotce. Jediným omezením je totožné ID zařízení pro obě CAN sběrnice, neboť BMS zprávy pouze opakuje. Výhodou jsou pak různě nastavitelné rychlosti pro CAN sběrnici. První okruh tak může běžet na 250 kBaud a druhý na 500 kBaud, jako v tomto případě, kdy je omezen první CAN okruh z důvodu maximální rychlosti CAN modulu u nabíječek.

5.2.2. Pracovní cyklus VChU

Prvním bodem je správné průvodní nastavení Arduina. To se provádí na začátku spouštění a je provedeno vždy pouze jednou, neboť poté Arduino již pracuje v cyklu a zpět na začátek se nevrací. V tomto navěští se nastavuje rychlost CAN, která je 250 kBaud a dále je zde možné nastavit filtry pro přijímání CAN rámců, nebo jejich masky. To se provádí příkazy `CAN.init_Filt()`; a nebo `CAN.init_Mask()`;

```

void setup() {

START:
    charge = 1;
    // put your setup code here, to run once:
    if(CAN_OK == CAN.begin(CAN_20_250KBPS));
    else
    {
        delay(100);
        goto START;
    }
    CAN.init_Filt(0, 0, 0x04);
    pinMode(pin3, INPUT);
    pinMode(pin4, OUTPUT);
    pinMode(pin5, OUTPUT);
    pinMode(pin6, OUTPUT);
    pinMode(pin7, OUTPUT);
}

```

Obrázek 29: Výchozí nastavení VChU

Dále se zde nastaví, který pin Arduina je považován za vstupní a který za výstupní. Nastavení pinů pro SPI rozhraní se zde již neprovádí, protože jejich inicializace je zakomponována v knihovně pro SPI a proběhne tedy s implementací knihovny *#includeSPI.h*. Nastavení digitálních vstupů probíhá příkazem *PinMode*(č. *pin*, *OUTPUT/INPUT*);. Samotný cyklus jednotky začíná detekcí CP signálu, ten má frekvenci 1 kHz a je připojen k pinu 3. Příkazem *pulseIn(pin3, HIGH)*; dojde ke čtení a následnému uložení vstupní frekvence na pinu 3. Pokud bude na vstupu pinu 3 signál s frekvencí právě 1 kHz, odpovídá uložená hodnota jedničce, znamená to, že frekvence je měřená v kilohertzích. Jestliže bude hodnota v proměnné *pilotf* rovna jedničce, detekuje, že byl připojen správný kabel a může o jeho připojení informovat BMS. Po detekci kabelu ještě dojde k čtení analogového vstupu, na který je připojen signál z PP. Vstup má rozpětí mezi 0 a 5 V stejnosměrného napětí. Tomu odpovídá vstupní hodnota z digitálního převodníku 0 až 1023. 5 V na vstupu tedy odpovídá hodnotě 1023. Z tabulky 6 je známa hodnota napětí odpovídající příslušnému kabelu, ke které potom stačí přiřadit příslušnou digitální hodnotu. Intervalu hodnot je ponechána mírná tolerance vzhledem k chybám převodníku, nebo nepřesné hodnotě odporů na děliči PP.

Po detekci připojení a hodnoty kabelu je celá informace vyslána příkazem *CAN.sendFrame(0x01,len, 2, stmp)*; po CAN k BMS

```

PPvalue = analogRead(Analog0);
if (PPvalue>150&&PPvalue<250) cablevalue = 13;
if (PPvalue>350&&PPvalue<450) cablevalue = 16;
if (PPvalue>550&&PPvalue<650) cablevalue = 32;
if (PPvalue>651&&PPvalue<750) cablevalue = 64;

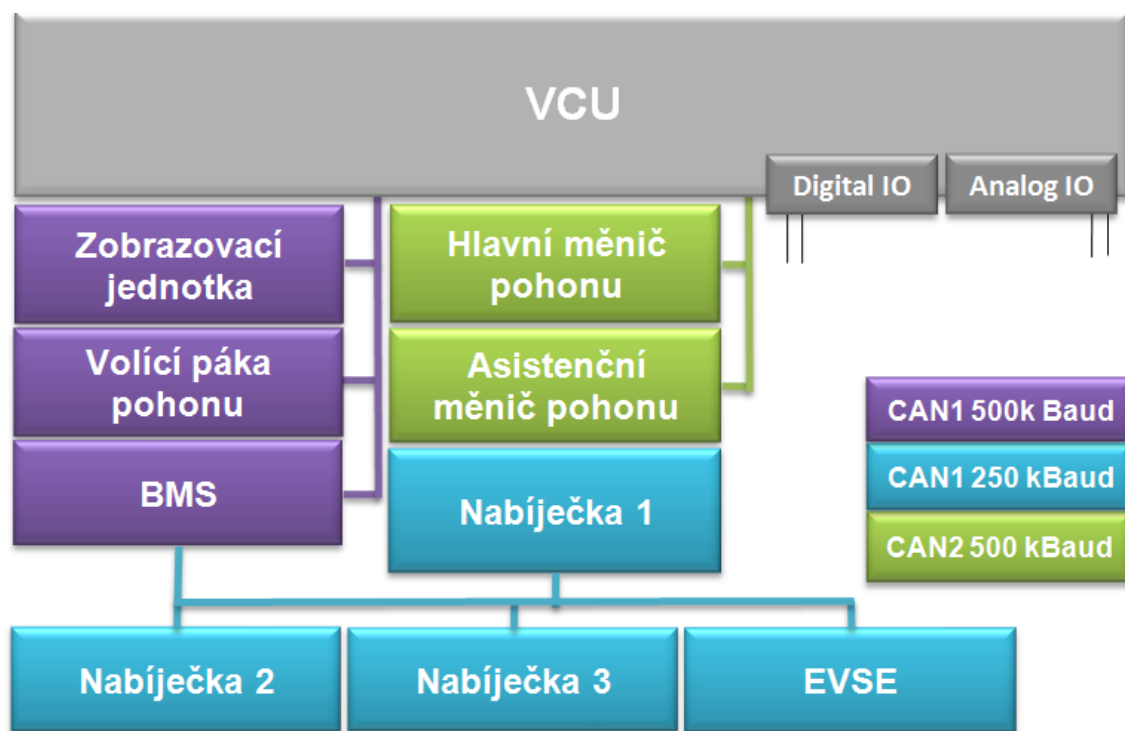
```

Obrázek 30: Čtení PP signálu

. Proměnná stmp je pole obsahující dva byty, cable value a 0x01 značící, že došlo k připojení kabelu. Poté poslouchá informace z CAN sběrnice a filtruje ty od BMS. Pokud BMS nabíjení nepovolí, nabíjecí cyklus končí a kabel je možno odpojit. Pokud nabíjení povolí, tedy přijde rámec v přednastaveném tvaru, zaktivní se výstupy pro připojení rezistoru, zámek Mennenkesu, blokaci měniče a zapalování a program spadá do vlastního podcyklu, který se opakuje po celou dobu nabíjení. V tomto cyklu jsou čteny hodnoty z analogových vstupů A7 a A6, na kterých se měří teplota Mennenkesu a hodnota střídý pilotního signálu. Obě hodnoty jsou posílány společně s informací o kabelu a signalizací připojení po CAN dále k BMS a odtud k zobrazovacímu zařízení uvnitř automobilu. Zároveň jsou kontrolovány podněty, které by mohly ukončit nabíjení. Mezi tyto podněty patří buď uživatelské ukončení pomocí tlačítka, anebo ukončení nabíjení od BMS. Zatímco ukončení od BMS je realizováno CAN sběrnici, podnět od tlačítka je realizován digitálním vstupem na pinu 8. Zároveň je nabíjecí cyklus ukončen i v případě odpojení pilotního signálu, ačkoliv je to vzhledem k uzamknutí Mennenkesu nepravděpodobné, může dojít k fyzickému přerušení nabíjecího kabelu. Pokud by došlo k takovým krajním situacím, jako například k výpadku proudu během nabíjení nebo k přeseknutí kabelu, neskončí tak jednotka zaseknutá v nabíjecím cyklu. Po ukončení nabíjení, ať už vynuceného nebo přirozeného, dojde k ukončení cyklu a deaktivaci všech výstupů, po nichž je možno nabíjecí kabel odpojit. Celý nabíjecí proces je doprovázen signalizační diodou, která je součástí ukončovacího tlačítka a je umístěna poblíž zásuvky Mennenkesu v zadní části vozu. Signalizační dioda je neaktivní a po připojení kabelu dojde k jejímu rozsvícení. Během nabíjecího cyklu bliká s intervalem jedné vteřiny a po dokončení opět svítí. Pokud tedy dioda svítí je možné kabel odpojit a to jak před nabíjecím cyklem tak i po něm. Po odpojení nabíjecího kabelu je dioda opět neaktivní. Celý pracovní cyklus VChU, jak je v této kapitole popsán, je pro lepší představu doplněn o vývojový diagram a celkový kód, který se nachází v příloze k diplomové práci.

6. Návrh centrální řídicí jednotky

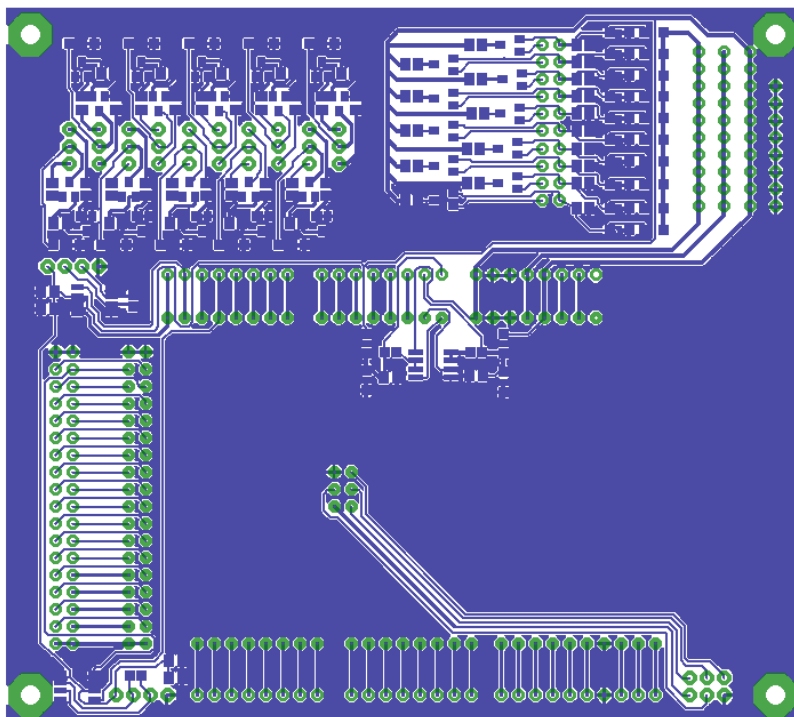
Jak už bylo zmíněno v úvodních kapitolách, každá řídicí jednotka funguje prakticky samostatně. Centrální jednotka má funkci stmelujícího prvku, neboť všechny jednotky propojuje. Podobně jako v běžných automobilech i elektromobil disponuje dvěma CAN okruhy, protože některé zprávy je potřeba posílat častěji než jiné a na jedné sběrnici by zbytečně mohlo docházet k prodlevám u důležitých zpráv. Centrální jednotka tak rozděluje zařízení do dvou okruhů, ale vzhledem k tomu, že například zobrazovací display potřebuje informace i od měničů pohonu, měla by umět i některé zprávy přeposílat z jedné sběrnice na druhou. Dalšími funkcemi, které může řídicí jednotka zastávat je ovládání jednoduchých prvků, například světel, pokud se nepoužívají složité osvětlovací mechanismy, jako jsou adaptivní nebo maticové světlomety, které mají vlastní řídicí jednotku. Jako jádro centrální jednotky bylo zvoleno opět Arduino, tentokráté DUO. Výhodou DUA jsou dvě separátní CAN sběrnice a vysoký počet digitálních vstupů a výstupů plus další výhody týkající se Arduina zmíněné v kapitole 5.1. Nevýhodou je poměrně velký rozměr, a také to, že pro správnou funkčnost CAN sběrnice je nutno doplnit na výstupy CAN transceivery.



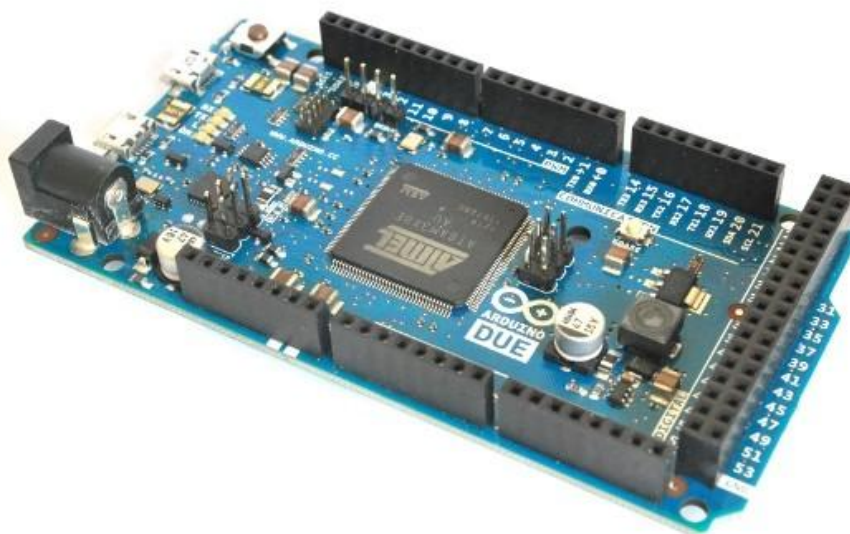
Obrázek 31: Schéma současného propojení jednotek v elektromobilu

6.1. Fyzická realizace centrální řídicí jednotky

Podobně jako u VChU je u VCU navrhnutý shield pro Arduino doplněný o potřebné funkce. Vzhledem k tomu, že v počátku návrhu nebyla k dispozici všechna zařízení, která by měla VCU spravovat, je shield vypracován v modulární podobě tak, aby bylo možno jednotlivé periferie podle potřeby připojovat a odpojovat a testovat tak jejich propojení. VCU je tedy v současné době v testovací podobě, což sice nemá žádný vliv na její funkčnost, ale do budoucna se určitě bude její vzhled měnit s tím, jak budou konkrétní zařízení přiřazena konkrétním pinům a postupně budou implementována na desku. Základem VCU jsou dva okruhy CAN sběrnice, pro ty má Arduino vymezené piny CANRX a CANTX pro první sběrnici a pro druhou jsou to piny DAC0 a pin 53. Vychází se tak ze schématu Arduina DUE[21] a z datasheetu pro Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3, který je jádrem Arduina a kde jsou tyto funkce na těchto pinech popsány. Jak už bylo popsáno v úvodu kapitoly, je nutno rozšířit výstupy Arduina o CAN transceivery, v tomto případě se však nejedná o MCP 2551, jako v případě VChU, ale byly zde použity transceivery SN65HVD234D z důvodu pracovního napětí 3,3 V, které je stejné jako pracovní napětí u Arduina DUE. Oba transceivery jsou ukončeny 120Ω odpory, tak jak si to žádá CAN sběrnice.



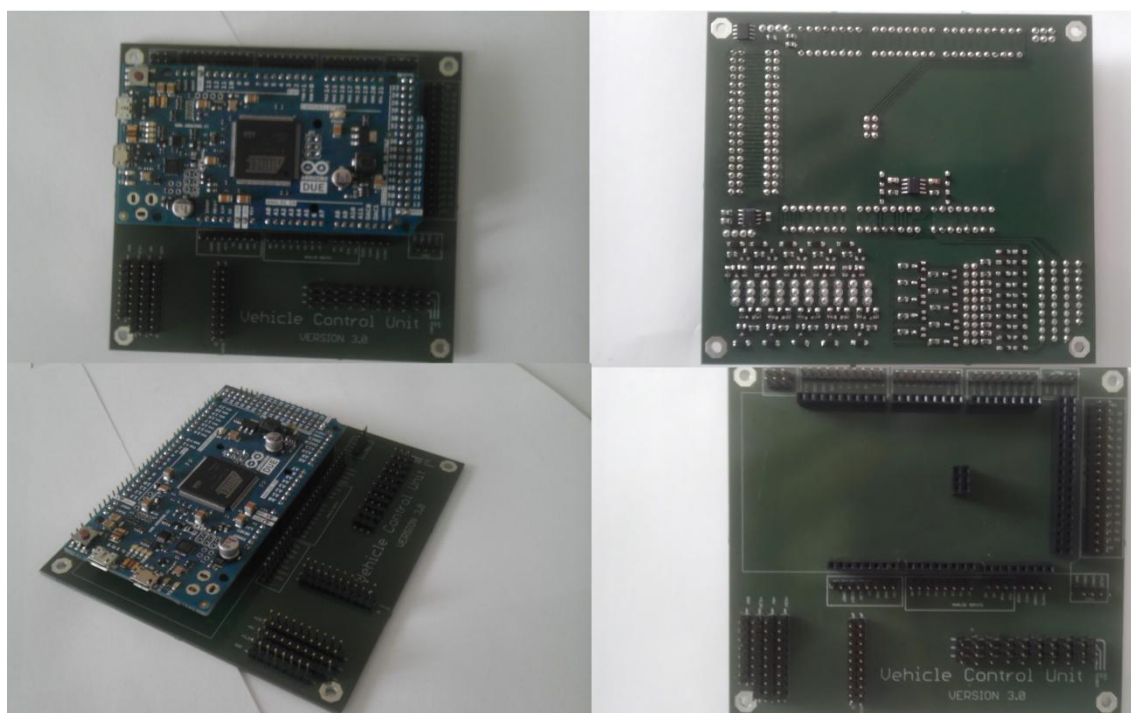
Obrázek 32: Layout VCU



Obrázek 33: Arduino DUE

Další funkcí, která byla přeřazena na centrální řídicí jednotku, je ovládání světel. Z kapitoly 2.3.1. je známo, že je potřeba 9 digitálních vstupů a 9 výstupů pro ošetření osvětlení vozu. K výstupům z centrální jednotky jsou pak přivedena jednotlivá světla. Protože světlomety a další světla, tak jako většina komponent uvnitř vozu, jsou napájeny 12V napětím a výstup z Arduina je pouze 3,3 V, proto je potřeba toto spínací napětí zesílit. Podobně jako u VChU postačí k zesílení tranzistor. U VCU je k zesílení použito kaskádní řazení bipolárních tranzistorů NPN a PNP. Je to z toho důvodu, aby se ušetřil jeden vodič tažený ke spínanému zařízení. K zařízení se tak táhne pouze digitální výstup z emitoru PNP tranzistoru, který se připojí na kladnou část zařízení. Záporná se připojí ke karoserii vozu, ke které je připojen záporný potenciál podobně jako u normálních vozů. Podobné řešení jako u digitálních výstupů, ale v opačném směru, je nutné realizovat u digitálních vstupů. Vstupní napětí pro logickou jedničku Arduina je 3,3 V, ale většina vstupních signálů má opět hodnotu 12 V. Pro spínání je využit MOSFET tranzistor IRLML0040, který má do drainu přivedeno napětí 3,3 V přes 10 k Ω odpor a výstup spínače je přiveden do Arduina. Do gate MOSFETU je potom přiveden vstupní signál od zařízení. Tranzistor se tak při přivedení napětí otevírá. Výhodou je poměrně široký napěťový rozsah vstupních signálů. Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, je VCU provedena modulárně. Praxi je to řešeno tak, že všechny

výstupy jsou vyvedeny na hřebínkové konektory a to jak piny Arduina nebo obě CAN sběrnice, tak právě i digitální vstupy a výstupy a také tři hladiny napětí, 3,3, 5 a 12 V. Toto řešení umožní variabilitu, co se týče jednotlivých požadavků. Pokud se například bude chtít digitálním výstupem 22 spínat 12V zátěž, stačí na panelu výstupů spojit pin 22 s pinem *MCUOUT* a na pin UCC připojit 12 V. Pokud bude potřeba spínat pouze 5 V, stačí na UCC přivést 5 V, nebo pokud bude potřeba použít jiný digitální výstup, stačí na *MCUOUT* připojit příslušný pin. Stejným způsobem funguje i vstup do VCU. Na panel s digitálními vstupy je na pin DI přiveden libovolný digitální signál a na pin *MCUIN* libovolný pin Arduina. Dalším rozšířením VCU jsou rozšířené analogové vstupy A0 a A1 o napěťový sledovač a dolnoproustní filtr. Tyto vstupy jsou připraveny pro snímač polohy plynového pedálu, druhý vstup je poté rezervovaný pro jiný analogový vstup. Pokud by byla potřeba pomocí VCU sledovat více hodnot, jsou připraveny piny pro další analogové vstupy A2 až A11, ke kterým může být připojen potřebný modul.



Obrázek 34: VCU verze 3

6.2. Softwarová realizace centrální jednotky

Softwarový chod VCU spočívá v dvojici CAN okruhů. Jednotka by měla být schopná komunikace se všemi zařízeními ve voze a měla by umět poskytovat informace

z jednoho okruhu na okruh druhý. Podobně jako u VChU je využito knihovny pro Arduino, která má tyto funkce obsaženy. Příkazy pro odeslání a příjem jsou pak podobné jako u VChU přes příkaz `CAN.sendFrame()`. Jediným parametrem funkce send je proměnná frame. Ta je datového typu struct a obsahuje známé prvky jako ID, zda se jedná o rozšířený rámec, délku posílaných dat a samotná data. Ty je možno zapisovat po jednotlivých bytech příkazem `frame.data.Byte[číslo bytu 0 - 7] = zapsaná hodnota;`, nebo po horních a dolních čtyřech bytech příkazem `frame.data.HIGH/LOW = zapsaná hodnota`. Přenosové rychlosti sběrnice se nastavují příkazem `CAN.begin(přenosová rychlost)`. Výhodou oproti ArduinuNanu je, že DUE má CAN převodník již implementovaný v procesoru a není tak potřeba dopočítávat hodnoty přenosových rychlostí jako u VChU, protože rychlosti přenosu v knihovně sedí taktu krystalu při MCU. Jednotlivé CAN sběrnice jsou rozlišeny pouze číselně na CAN0 a CAN1, přičemž CAN0 leží na pinech CANTX, CANRX a sběrnice CAN1 na pinech DAC0 a 53. Obě sběrnice fungují samostatně a je tedy možné rámec z jedné sběrnice přeposlat na druhou sběrnici se změněným Identifikátorem. Toho se využije například při posílání informací o otáčkách motoru z motorové jednotky na zobrazovací display, nebo pokud při nabíjení je možno blokovat měniče motoru pomocí CAN sběrnice a ušetřit tak další signál od VChU. Ačkoliv by se mohlo zdát, že rozdělení na dvě CAN sběrnice je zbytečné, ve skutečnosti ulehčí provozu na sběrnici, protože čím méně zařízení na sběrnici je, tím rychlejší je její provoz a tím méně často dochází ke kolizi. Zpráv, které je potřeba přeposílat mezi jednotlivými sběrnici, není takový počet a pokud by všechna zařízení zůstala na jedné sběrnici, značně by zpomalovala její chod, zvláště v momentě, kdy by jich byl větší počet, než je doposud.

```
CAN_FRAME incoming;
CAN_FRAME outgoing;
Can1.read(incoming);
if(incoming.id == 0x500)
{
    outgoing = incoming;
    outgoing.id = 0x600;
    Can0.sendFrame(outgoing);
}
```

Obrázek 35: Přeposílání informací z měniče na zobrazovací display

Proto se rozdělení na dvě sběrnice jeví jako optimální. Ze současného propojení je tak potřeba pouze od motorů posílat informace na zobrazovací display, protože informace o blokování je posílána digitálním signálem z VChU. Pokud by se blokace řešila pomocí CAN, bude nutné přeposílat zpětně ještě tuto informaci z BMS na měniče motoru.

Další funkcí přiřazenou k VCU je ovládání světlometů, to je řešeno pro klasické světlomety, tak jak jsou známy ze starších vozů. To znamená, že světlomety nemají vlastní řídicí jednotku a nejsou samostatně spravovány. Na funkci světel postačí jednoduché ovládací příkazy jako, když je stisknuté tlačítko, rozsvít' světla. Z tohoto pohledu by se daly světlomety dělit na ty, které se rozsvěcují po stisku tlačítka a po stisku toho samého tlačítka opět vypínají, jako jsou obrysová a potkávací světla, světla výstražná nebo obě mlhovky a na světla, u kterých je spínač sepnutý trvale, jako jsou zpáteční a brzdová světla, světla dálková a světla směrová.

```
if (digitalRead(23) == HIGH && obrys == 0)
{
    digitalWrite(22, HIGH);
    obrys = 1;
}
if (digitalRead(23) == HIGH && obrys == 1)
{
    digitalWrite(22, LOW);
    obrys = 0;
}
```

Obrázek 36: Spínání jednotlačítkových světel

Z obrázku 36 je vidět řešení první kategorie světel, u kterých se při sepnutí, nebo vypnutí světel se nastavuje příznak obrys. Podobný příznak se nastavuje i u ostatních světel. Tento příznak je datového typu boolean a jedná se o jeden bit. Slouží k tomu, aby bylo možné poslat na zobrazovací display informaci o tom, které kontrolky jsou právě rozsvíceny. Každý příznak má svoje místo v jednom bytu CAN rámce, které jsou znázorněny v tabulce 7. Je zde vidět, že na odeslání informace stačí jeden byte, protože informaci o zařazení zpátečky poskytne již zobrazovací jednotce DSG.

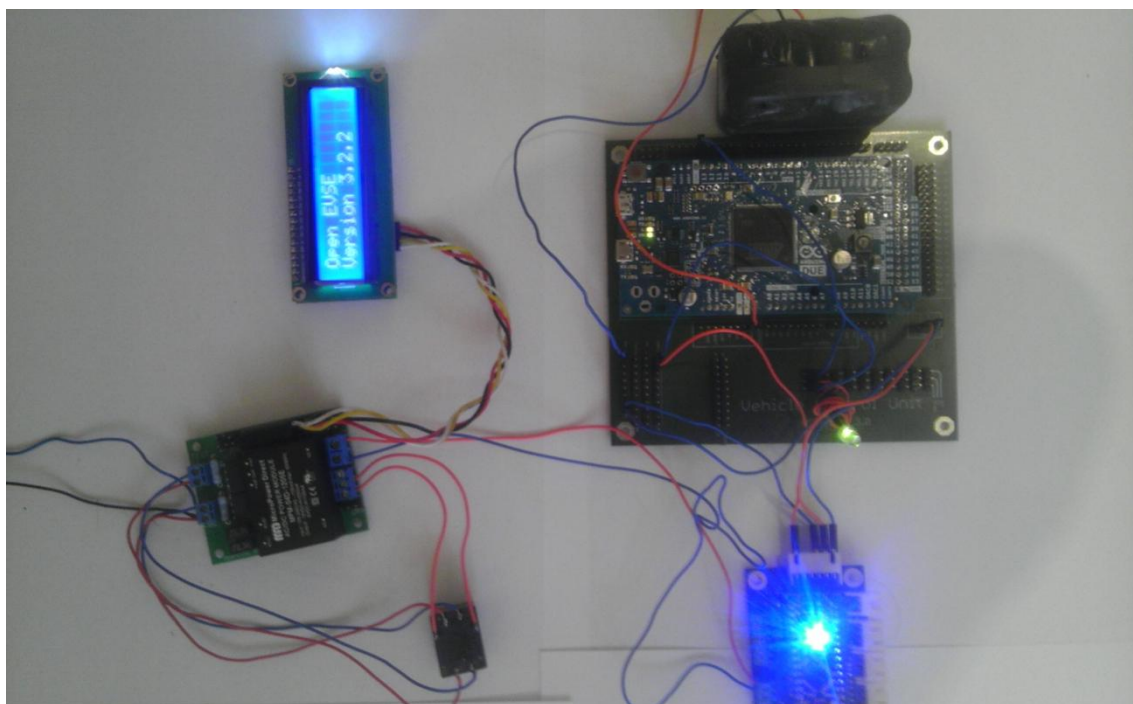
Tabulka 7: Hodnota bitů osvětlení

Obrysová světla	Potkávací světla	Přední mlhovka	Zadní mlhovka	Brzda	Dálková světla	Levý blinkr	Pravý blinkr
00000001	00000010	00000100	00001000	00010000	00100000	01000000	10000000

Pokud budou všechna zařízení rozsvícena, bude hodnota bytu 0xFF. Tento rámec se poté pošle zobrazovací jednotce po CAN0. Poslední funkcí je čtení polohy plynového pedálu, to je realizováno analogovým vstupem A0. Ten bude připojen k jezdcí potenciometru plynového pedálu napájeného z 3,3 V, protože maximální vstupní hodnota Arduina je právě 3,3 V. Této hodnotě pak odpovídá hodnota z digitálního převodníku 4096. Data ze čtení pak budou posílána k motorovému měniči přes CAN1.

7. Shrnutí

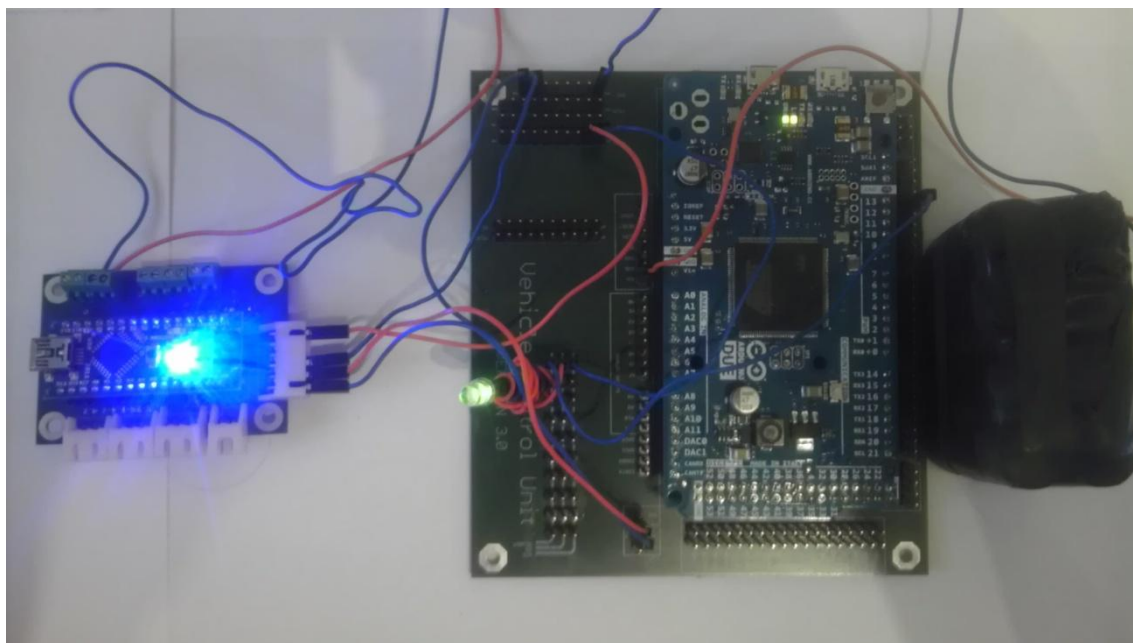
Výstupem práce je realizace dvojice řídicích jednotek. První jednotka obstarává a zprostředkovává nabíjení. K tomuto úkolu je vybavena čtením pilotního signálu přicházejícího z nabíjecích kabelů nebo stojanových nabíječek. Následnou informaci zpracuje a uvědomí příslušnou jednotku, v tomto případě BMS. Celá komunikace je koncipována pro BMS firmy Orion a pro pilotní signál tak, jak je definován podle normy IEC 62196. BMS poté povoluje nabíjení, na které jednotka reaguje příslušnými kroky. Celá komunikace probíhá pomocí CAN sběrnice, kterou je tato jednotka vybavena. Rámce vysílané a přijímané jednotkou jsou upraveny do tvarů rámců přijímaných a vysílaných Orion BMS. Jejich tvar a nastavení bylo získáno pomocí softwaru Orion BMS utility. Druhou jednotkou je jednotka centrální. Hlavní úlohou centrální jednotky je schopnost pomocí dvojice nezávislých CAN sběrnic spravovat ostatní zařízení ve voze. K realizaci obou těchto jednotek byla využita platforma Arduina, především kvůli jeho snadné použitelnosti.



Obrázek 37: Test detekce pilotního signálu a posílání CAN zprávy VCU

Vzhledem k nedostupnosti některých komponent uvnitř vozu a vzhledem k časovým možnostem nebylo možno otestovat obě jednotky uvnitř vozu. Byla však testována

schopnost čtení pilotního signálu pomocí Open EVSE a funkčnost digitálních výstupů u jednotky zprostředkující nabíjení a funkčnost CAN sběrnice obou jednotek. V rámci otestování byl pomocí EVSE, které je součástí každé nabíječky, vyslán pilotní signál. Informace o jeho detekci pak byla poslána pomocí CAN na centrální jednotku. Pokud jednotka zachytila rámec, rozsvítila na svém digitálním výstupu diodu.



Obrázek 38: Detekce CAN rámce

Je tedy vidět, že CAN sběrnice centrální jednotky je plně funkční a k implementování do automobilu stačí získat tvary rámců konkrétních zařízení a jejich funkce řiditelné skrz CAN podobně jako VChU a BMS.

Závěr

Cílem práce bylo seznámit s nejdůležitějšími zařízeními v elektromobilu a navrhnout pro tyto zařízení centrální jednotku. Dalším bodem práce bylo seznámení se s principem nabíjení elektromobilu a navrhnout podpůrnou jednotku pro zprostředkování nabíjení. Pokud by se tedy cíle práce rozdělily do dvou bodů, je výsledkem prvního bodu modulární jednotka s dostatečným počtem analogových a digitálních vstupů a výstupů pro spravování komponent uvnitř vozu. Na tyto vstupy je přivedeno ovládání světel vozu a snímač polohy plynového pedálu. Hlavním bodem je implementace CAN sběrnice, po které lze spravovat veškerá zařízení vozu. Druhým bodem je jednotka nabíjení. Ta je schopna zpracovávat komunikační signál nabíječek tak, jak je normován podle IEC 62196 a na základě toho je schopna signál zpracovat. Dalším rozšířením je pak komunikace po CAN sběrnici s konkrétní BMS a zprostředkování nabíjení. Výsledkem práce je tedy dvojice desek plošných spojů, které jsou schopné po CAN sběrnici komunikovat s komponenty uvnitř vozu a plnit jimi očekávané úkoly. Bohužel se z časových důvodů nepovedlo obě jednotky plně otestovat uvnitř automobilu s konkrétními zařízeními. Z tohoto důvodu by se další pokračování této práce mělo ubírat tímto směrem. Co se týče jednotky nabíjení, je její současná funkčnost plně vyhovující, proto se její další vývoj bude ubírat směrem integrace a přechodu z Arduina na některé komerčnější řešení. V tuto chvíli je nejbližším reálným krokem implementace Atmegy328 přímo na desku VChU namísto stávajícího ArduinaNano. U centrální jednotky se po kompletaci všech zařízení spravovaných po CAN sběrnici a otestování tvaru rámců opustí od modulového tvaru jednotky. Dalšími kroky pak podobně jako u VChU bude přechod na samostatný procesor.

Použitá literatura

- [1] **AEC Documents AEC-Q100** [cit. 10.10.2015] [online]. Dostupné z WWW: <http://www.aecouncil.com/AECDocuments.html>
- [2] „**Automotive grade quality**“ [vid. 27.5.2012] [online]. Dostupné z WWW: <https://www.element14.com/community/docs/DOC-13334/1/automotive-grade-quality-products-aec-q100-and-beyond>
- [3] ANDREA, Davide. **Battery management systems for large lithium-ion battery packs**. Boston: Artech House, c2010, xi, 290 p. ISBN 16-080-7104-9.
- [4] WEICKER, Phillip. **A systems approach to lithium-ion battery management**. Boston: Artech House, c2010, xi, 299 p. ISBN 16-080-7659-8.
- [5] LÁNÍK Ondřej, **Převodovka DSG podrobný popis** [vid. 9.6.2004] [online]. Dostupné z WWW: <http://www.auto.cz/prevodovka-dsg-podrobny-popis-16887>
- [6] **Brzdy a Posilovače brzd** [vid. 11.12.2011] [online]. Dostupné z WWW: <http://www.autoznalosti.cz/index.php/podvozek-a-kola/39-brzdyii.html>
- [7] ROBERT BOSH GMBH **BOSH iBooster** [cit. 20.11.2015] [online]. Dostupné z WWW: <http://www.bosch.co.jp/en/press/group-1306-13.asp>
- [8] SAJDL Jan, **ESP (Electronic Stability Programme)** [vid. 5.4.2011] [online]. Dostupné z WWW: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/esp-electronic-stability-programme/>
- [9] TOMSA Jan, **Elektrická zařízení elektromobilu eTUL**. Liberec, 2014. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, Ústav mechatroniky a technické informatiky.
- [10] GROSMAN Josef, **Řídicí počítačové systémy** Liberec: Přednášky TUL 2014.
- [11] ROBERT BOSH GMBH. **CAN Specification: Version 2.0**. Stuttgart, 1991.

[12] **Society of Automotive Engineers**; Craig B. Toepfer (2001-09-27). "SAE Electric Vehicle Conductive Charge Coupler, SAE J1772, REV. MONTH01"(DOC). California Air Resources Board. Retrieved 2009-10-23.

[13] **Open EVSE** [cit. 3.12.2015] Dostupné z WWW: <https://code.google.com/p/open-evse/wiki/J1772Basics>.

[14] **IEC61851 Part 1: Charging of electric vehicles up to 250 A a.c. and 400 A** [cit. 3.12.2015]. Dostupné z WWW: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec62196-1%7Bed1.0%7Den.pdf

[15] **e-mobility Infrastructure Standardization** cit. [3.12.2015]. Dostupné z WWW: www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/2009symposium/presentations/preuschoff_oestreicher.pdf

[16] **VDE-AR-E 2623-2-2 Plugs**. cit. [12.12.2015]. Dostupné z WWW: <https://www.vde.com/en/dke/std/VDEapplicationguides/Publications/Pages/VDE-AR-E2623-2-2.aspx>

[17] „**SAE International**“ cit. [12.12.2015]. Dostupné z WWW: http://www.sae.org/servlets/pressRoom?OBJECT_TYPE=PressReleases&PAGE=showRelease&RELEASE_ID=1897

[18] „**Atmel Atmega 328**“ cit. [16.4.2016]. Dostupné z WWW: www.atmel.com/devices/atmega328.aspx

[19] „**Arduino Nano**“ cit. [16.4.2016]. Dostupné z WWW: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>

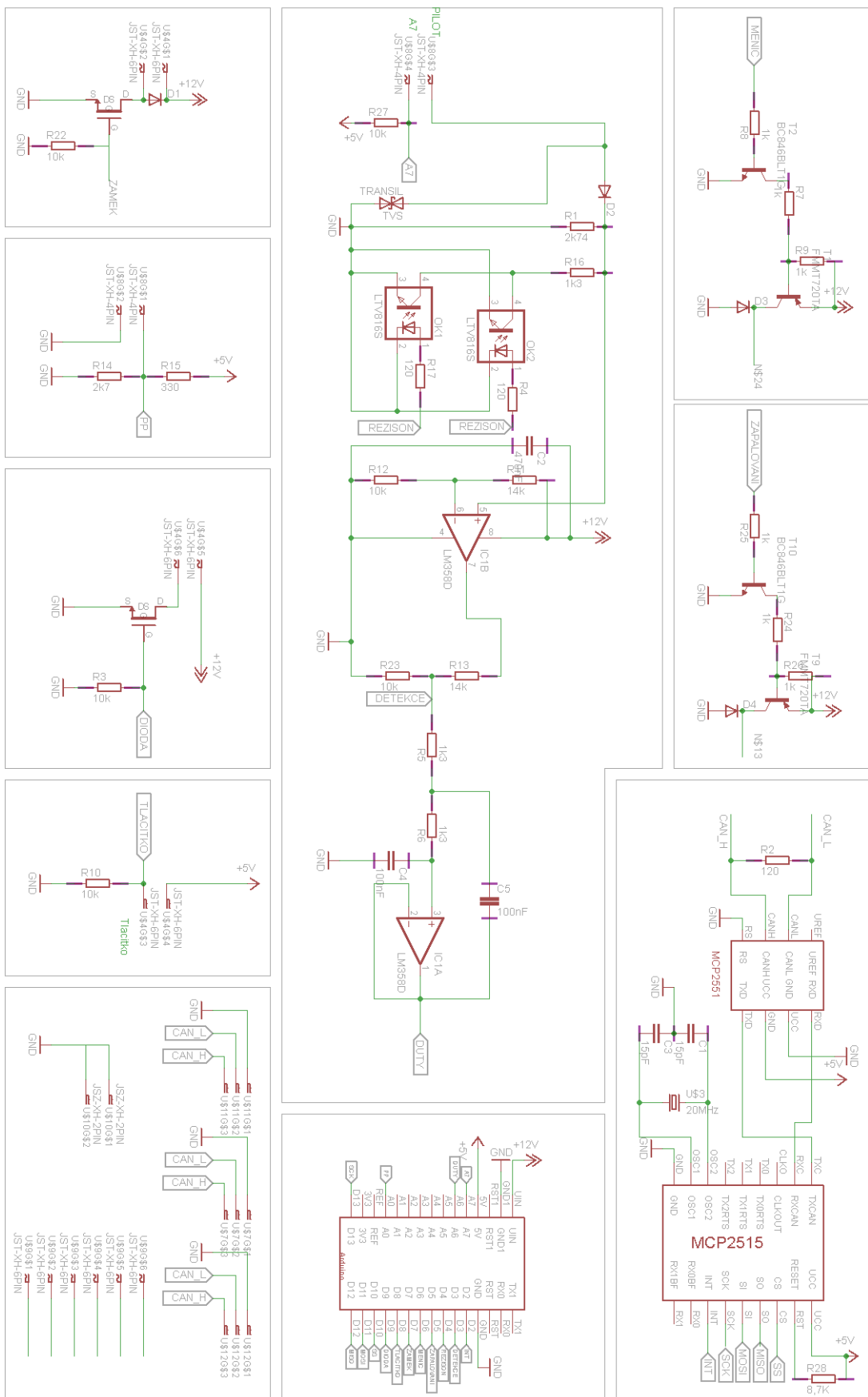
[20] **Licence CAN library** cit. [20.4.2016]. Dostupné z WWW: https://github.com/Seeed-Studio/CAN_BUS_Shield/blob/master/License.txt

[21] „**Arduino DUE**“ cit. [21.4.2016] Dostupné z WWW: [Arduino DUE https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue](https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDue)

A Obsah přiloženého CD

- Text diplomové práce
 - diplomová_prace_2016_Fiedler_Michal.pdf
 - Kopie_zadání_diplomová_prace_2016_Fiedler_Michal.pdf
- výkresová dokumentace v programu Eagle
 - VCUv3.sch
 - VCUv3.brd
 - EVSEv9.sch
 - EVSEv.9.brd
- zdrojový kód programu
 - EVSEinCAR.ino
 - VCU.ino

B Schéma VChu



D Zdrojový kód VChU

```
#include<mcp_can.h>
#include<mcp_can_dfs.h>
#include<SPI.h>

constint SPI_CS_PIN = 10;
MCP_CAN CAN(SPI_CS_PIN);
int pin2 = 2;
int pin3 = 3;
int pin4 = 4;
int pin5 = 5;
int pin6 = 6;
int pin7 = 7;
int pin8 = 8;
int pin9 = 9;
int pin10 = 10;
int pin11 = 11;
int pin12 = 12;
int pin13 = 13;
int Analog0 = A0;
int analog6 = A6;
int analog7 = A7;
unsigned long pilotf;
intPPvalue;
charcablevalue;
unsignedcharbuf[8];
int konec = 1;
intcharge;

voidsetup()
{
    START:
    charge = 1;
    // putyoursetupcodehere, to run once:

    if(CAN_OK == CAN.begin(CAN_20_250KBPS));
    {
        delay(100);
        goto START;
    }

    CAN.init_Filt(0, 0, 0x04);
    pinMode(pin3, INPUT);
    pinMode(pin4, OUTPUT);
    pinMode(pin5, OUTPUT);
    pinMode(pin6, OUTPUT);
    pinMode(pin7, OUTPUT);
}

voidloop()
{
    unsignedchar len = 0;
    unsignedcharcanId = 0;
    BEGIN:
    // putyourmaincodehere, to run repeatedly:
    pilotf = pulseIn(pin3, HIGH);
    while (pilotf == 1 &&charge == 1 )
    {
```

```

digitalWrite(pin9, HIGH);
pilotf = pulseIn(pin3, HIGH);
PPvalue = analogRead(Analog0);
if (PPvalue>150&&PPvalue<250) cablevalue = 13;
if (PPvalue>350&&PPvalue<450) cablevalue = 16;
if (PPvalue>550&&PPvalue<650) cablevalue = 32;
if (PPvalue>651&&PPvalue<750) cablevalue = 64;

unsignedcharstmp[2] = {1, cablevalue};
CAN.sendFrame(0x01,len, 2, stmp);
delay (1000);

CAN_1:
if(CAN_MSGAVAIL == CAN.checkReceive())
{
unsignedcharcanId = CAN.getCanId();
}
delay (100);

if (canId=0x04)
{
CAN.readFrame(&len, buf);
if (len == 2 &&buf[0] == 1 &&buf[1]==0)
{
digitalWrite(pin4, HIGH);
digitalWrite(pin5, HIGH);
digitalWrite(pin6, HIGH);
digitalWrite(pin7, HIGH);
konec = 0;
}
}
elsegotoBEGIN;

while (konec==0)
{
pilotf = pulseIn(pin3, HIGH);
CAN.readFrame(&len, buf);
if (digitalRead(pin8)==HIGH) konec = 1;
if (pilotf != 1) konec = 1;
if (len == 2 &&buf[0] == 0 &&buf[1]==0) konec = 1;
digitalWrite (pin9, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite (pin9,LOW);
unsignedchar duty = analogRead(analog6);
unsignedcharcabletemp = analogRead(analog7);
unsignedcharsendinfo[4] = {cabletemp,duty,cablevalue,1};
CAN.sendFrame(0x05,len, 4, sendinfo);
}
digitalWrite (pin9, HIGH);
digitalWrite(pin4, LOW);
digitalWrite(pin5, LOW);
digitalWrite(pin6, LOW);
digitalWrite(pin7, LOW);
charge = 0;
}
elsegoto CAN_1;
if (pilotf != 1 )
{
charge = 1;
digitalWrite (pin9, LOW);
}
}
}

```

E Vývojový diagram VChU

