

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita
Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského
inženýrství**

**Subsystem pro komunikaci s elektromobilem a
řízení toku energie
Subsystem for Electromobile Communication
and Energy Flow Management**

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Mlatec**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2612R041 Řídicí a informační systémy
Téma: **Subsystem pro komunikaci s elektromobilem a řízení toku energie**
Subsystem for Electromobile Communication and Energy Flow Management

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou nabíjecích stanic pro elektromobily.
2. Seznámení se s problematikou komunikace mezi nabíjecí stanicí a vozidlem.
3. Seznámení se s problematikou měření a řízení toku elektrické energie.
4. Návrh subsystému pro komunikaci s elektromobilem a řízení toku energie.
5. Realizace navrženého zařízení.
6. Experimentální ověření.
7. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] 030.1.1-2015 - *IEEE Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles*. New York, USA: IEEE, 2016. ISBN 0-7381-9999-0. DOI: 10.1109/IEEESTD.2016.7400449.
- [2] LARMINIE, James a John LOWRY. *Electric vehicle technology explained*. Chichester: Wiley, c2003. ISBN 0-470-85163-5.
- [3] KHAJEPOUR, Amir, M. Saber FALLAH a Avesta GOODARZI. *Electric and hybrid vehicles: technologies, modeling and control : a mechatronic approach*. Chichester: Wiley, 2014. ISBN 978-1-118-34151-3.
- [4] CHAU, K. T. *Electric vehicle machines and drives: design, analysis and application*. Singapore: Wiley, 2015. ISBN 978-1-118-75252-4.
- [5] SERRA, Joao Vitor F. *Electric vehicles: technology, policy and commercial development*. London: Earthscan, 2012. ISBN 978-1-84971-415-0.
- [6] VÁŇA, Vladimír. *ARM pro začátečníky*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-246-6.

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Vala**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2020



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 19. 7. 2020.....

Matej.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Davidu Valovi za odbornou pomoc a konzultaci ohledně vypracování mé bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá nabíjecími stanicemi pro elektromobily. Konkrétně nabíjecí stanice ve standardu CHAdeMO. Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat subsystém pro komunikaci s elektromobilem a řízení toku energie pro experimentální účely VŠB – Technické univerzity Ostrava. Komunikace mezi nadřazeným systémem se subsystémem měla být provedena pomocí sériové komunikace RS485, stejně jako ovládání měniče napětí.

Klíčová slova

CHAdeMO, DC dobíjecí stanice, mikrokontroler, STM32F103RDT6, ADE7192

Abstract

This bachelor thesis deals with charging stations for electric vehicles. Specifically, charging stations in the CHAdeMO standard. The aim of this bachelor thesis was to design and implement a subsystem for communication with an electric car and energy flow control for experimental purposes VŠB - Technical University of Ostrava. Communication between the master system and the subsystem was to be done using RS485 serial communication, as well as voltage converter control.

Keywords

CHAdeMO, DC charging station, microcontroller, STM32F103RDT6, ADE7192

Obsah

Obsah.....	7
Seznam použitých symbolů a zkratk	9
Seznam ilustrací	10
Seznam tabulek.....	11
Úvod.....	12
1 Nabíjecí stanice elektromobilu.....	13
1.1 Popis nabíjení elektromobilu.....	13
1.2 Využití vybíjecí stanice elektromobilu.....	13
1.2.1 Vehicle-to-Grid (V2G).....	13
1.2.2 Vehicle-to-Home (V2H).....	13
1.3 Možnosti nabíjení elektromobilu.....	14
1.3.1 Režim nabíjení 1.....	14
1.3.2 Režim nabíjení 2.....	14
1.3.3 Režim nabíjení 3.....	14
1.3.4 Režim nabíjení 4.....	14
1.3.5 Konektory AC	14
1.3.6 Konektory DC	15
1.4 Mapa nabíjecích stanic elektromobilu.....	15
1.5 Základní funkce DC nabíječky se standardem CHAdeMO	16
2 Komunikace mezi nabíjecí stanicí a elektromobilem.....	17
2.1 Specifikace analogové komunikace	23
2.2 Specifikace digitální komunikace	23
3 Měření elektrické energie.....	29
3.1 Popis AD převodníku ADE7192.....	29
3.2 Zapojení AD převodníku ADE7912.....	29
4 Řízení elektrické energie.....	32
4.1 Použitý měnič.....	32
4.2 Vyhodnocení skutečných a žádaných hodnot	32
5 Návrh subsystému pro komunikaci s elektromobilem	33
5.1 Napájení subsystému.....	33
5.2 Komunikace s elektrickým vozidlem.....	33

5.3	Hlídač izolačního stavu	34
5.4	Měření proudu zámku konektoru	34
5.5	Komunikace s nadřazeným systémem	35
5.6	Detekce připojeného vozidla	35
5.7	Galvanické oddělení od zbytku soustavy	36
5.8	Rozšířené možnosti subsystému.....	36
5.8.1	Světelná indikace sepnutých relé.....	36
5.8.2	Možnost automatického odpojení elektromobilu	36
5.8.3	Soft start	36
5.8.4	Měření proudu cívky stykače elektromobilu.....	37
5.9	Mikrokontroler	37
5.9.1	Výběr mikrokontroleru.....	37
5.9.2	Zapojení mikrokontroleru.....	37
6	Realizace navrženého zařízení	38
6.1	Výroba plošného spoje	38
6.2	Popis osazování	38
6.3	Ukázky kódů programu mikrokontroleru.....	40
6.3.1	Popis stavového automatu	40
6.3.2	Příklad komunikace CAN.....	41
6.4	Poznátky pro vylepšení návrhu desky plošných spojů	41
7	Experimentální ověření	42
7.1	Průběh oživení subsystému	42
7.2	Testování subsystému	42
8	Závěr	44
	Citovaná literatura	45

Seznam použitých symbolů a zkratek

V	napětí
A	proud
kWh	1000 watthodin
kW	1000 wattů
MWh	1000000 watthodin
AC	střídavý proud
DC	stejnosměrný proud
V2G	Vehicle to grid
V2H	Vehicle to Home
EV	elektromobil
ON	zapnuto
OFF	vypnuto
CAN	Controller Area Network
CHAdemo	CHArge de MOve
SPI	Serial Peripheral Interface
RMS	Root Mean Square
kb/s	kilobajt za sekundu
Mb/s	megabajt za sekundu
ms	milisekunda

Seznam ilustrací

Obrázek 1 Používané AC konektory v Česku. Vlevo Yazaki (typ 1) a vpravo Mennekes (typ 2) [8]..	14
Obrázek 2 Používané DC konektory v Česku. Vlevo CCS combo 2 a vpravo CHAdeMO [8].....	15
Obrázek 3 Mapa nabíjecích stanic v České republice [10]	15
Obrázek 4 Obvod rozhraní pro řízení nabíjení [11] [12].....	18
Obrázek 5 Sekvenční diagram komunikace řízení DC dobíjecí stanice [12] [13]	20
Obrázek 6 Diagram přechodových stavů při nabíjecím procesu [11]	21
Obrázek 7 Vnitřní zapojení AD převodníku ADE7912 [14].....	29
Obrázek 8 Zapojení AD převodníku ADE7912 – strana měření	30
Obrázek 9 Zapojení AD převodníku ADE7912 – strana komunikace	31
Obrázek 10 Fotografie praktické realizace AD převodníku ADE7912.....	31
Obrázek 11 Měnič 6RA70.....	32
Obrázek 12 Schématické zapojení galvanického oddělení CAN komunikace – ADM3052BRWZ.....	33
Obrázek 13 Hlídač izolačního stavu isoEV425+AGH420.....	34
Obrázek 14 Vlevo vnitřní zapojení převodníku proudu na napětí TMCS1101 a vpravo schématické zapojení převodníku proudu na napětí TMCS1101 [17].....	34
Obrázek 15 Schéma zapojení ADM2484EBRWZ pro galvanické oddělení RS485.....	35
Obrázek 16 Schéma zapojení pro detekci připojeného vozidla.....	36
Obrázek 17 Osazená deska plošných spojů A.....	38
Obrázek 18 Osazená deska plošných spojů B.....	39
Obrázek 19 Osazená deska plošných spojů C.....	39

Seznam tabulek

Tabulka 1 Definice značek na Obrázek 4 [11]	19
Tabulka 2 Stavy nabíjení DC nabíjecí stanice [11]	22
Tabulka 3 Parametry a hodnoty obvodu rozhraní z Obrázek 4 [11] [12]	23
Tabulka 4 Komunikační události a parametry v průběhu řízení nabíjení (1/5) [12] [13]	24
Tabulka 5 Komunikační události a parametry v průběhu řízení nabíjení (2/5) [12] [13]	25
Tabulka 6 Komunikační události a parametry v průběhu řízení nabíjení (3/5) [12] [13]	26
Tabulka 7 Komunikační události a parametry v průběhu řízení nabíjení (4/5) [12] [13]	27
Tabulka 8 Komunikační události a parametry v průběhu řízení nabíjení (5/5) [12] [13]	28

Úvod

V této závěrečné práci se budu zabírat návrhem a realizací subsystému pro komunikaci s elektromobilem a řízením toku energie podle norem ČSN EN 61851-23, ČSN EN 61851-24 a IEEE Std 2030.1.1-2015. Řízení subsystému bylo provedeno pomocí mikrokontroleru STM32F103RDT6. Komunikace s nadřazeným systémem byla provedena pomocí sériové linky RS485 stejně jako s měničem.

První část práce se zabývá dostupnými možnostmi nabíjení elektromobilu, základním přehledem konektorů a výčtem požadavků na nabíjecí stanici ve standartu CHAdeMO. Dále se práce zabývá popisem komunikace mezi subsystémem a elektromobilem a průběhem nabíjení.

Další část práce se zabývá řízením toku energie z měniče napětí 6RA70 od výrobce Siemens na základě požadovaného nabíjecího proudu elektromobilem. Dále se práce zabývá popisem navržených periférií subsystému. Dále je zde popis realizace navrženého zařízení jako je výroba plošného spoje, osazení plošného spoje a byli zde uvedeny příklady nahraných kódů v mikrokontroleru.

Poslední část je věnována experimentálnímu ověření, tj. zkoušce funkčnosti subsystému bez připojeného výkonu a zhodnocení dosažených výsledků, také zde byly uvedeny další možnosti vývoje navrženého subsystému.

Subsystém byl realizováno pro experimentální účely VŠB – Technické univerzity Ostrava.

1 Nabíjecí stanice elektromobilu

Nabíjecí stanice elektromobilu slouží k nabití elektromobilu. Existují dva typy nabíjení, buď střídavým, nebo stejnosměrným proudem. Střídavé nabíjení se dále dělí na tři typy podle výkonu (maximální proud dodaný ze zdroje elektrické energie). Stejnosměrné nabíjení se dělí dle komunikačních standardů, které jsou v současné době dva.

1.1 Popis nabíjení elektromobilu

Baterie elektromobilu se výhradně nabíjejí stejnosměrným proudem. Běžně dostupná elektrická energie je střídavá. Takže se tato energie musí usměrnit. Usměrnění probíhá v nabíječce. Buď se využije palubní nabíječka v elektromobilu, anebo externí (nabíjecí stojan pro elektromobil). Nabíječka obsahuje spínaný zdroj. Jeho výstupní napětí a proud se upravuje dle potřeb baterie, na základě komunikace.

1.2 Využití vybíjecí stanice elektromobilu

S velkým počtem elektromobilů roste i spotřeba elektrické energie. Příklad můžeme vidět v Norsku. Kde elektromobilita je velmi rozšířená. V distribuční soustavě tam vznikají velké proudové rázy a tím pádem i kolísání napětí. [1]

1.2.1 Vehicle-to-Grid (V2G)

Technologie vehicle to grid pomáhá vyrovnat stabilitu v distribuční síti tak, aby nedocházelo ke kolísání napětí v síti nad povolenou toleranci $230V \pm 10\%$.

Jako příklad uvedu modelovou situaci. Připojíme do sítě deset tisíc elektromobilů, které budeme nabíjet výkonem 50kW, tj. příkon by byl až 500 000kW, což zhruba odpovídá jednomu bloku v jaderné elektrárně Dukovany. Nabitích těchto elektromobilů by trvalo čtyřicet až šedesát minut z 20 % na 80 % při kapacitě baterie 40kWh, tj. 333MWh až 500MWh (tato spotřeba není reálná, protože příkon po celou dobu nabíjení není konstantní, ale zjednoduší pozdější srovnání). [2] [3]

Předpokládejme, že v jednu chvíli bude připojen stejný počet elektromobilů, ale 50 % jich bylo nabitých již na 100 % (40kWh) a měli by nastaveno, že jim stačí mít baterii nabitou na 60 % (24kWh). Příkon zbytku elektromobilů by byl 250 000kW tj. 166,5MWh až 250MWh. Kdybychom jsme využili připojených elektromobilů přes vybíjecí stanici, která umožní zpětné dodávky energie do sítě dle potřeby, snížil by se potřebný příkon na 86,5MWh až 170MWh při 100% účinnosti vybíjecí stanice. Pokud tuto modelovou situaci použijeme ne na 50 % nabitých elektromobilů, ale na 75 %, tak příkon dvou a půl tisíce elektromobilů by byl 5 000kW, což je stokrát méně než v situaci, kdy se deset tisíc majitelů elektromobilů rozhodne ve stejnou chvíli nabít auto.

1.2.2 Vehicle-to-Home (V2H)

Slouží k využití elektromobilu jako záložní zdroj energie v rodinném domě. Pomocí vybíjecí stanice připojíme elektromobil do domácí sítě. Při výpadku energie, začne elektromobil dodávat energii do potřebných míst v domě či celého domu. [4]

1.3 Možnosti nabíjení elektromobilu

K nabití baterie elektromobilu můžeme využít dva druhy elektrické energie AC, nebo DC proud. AC nabíjení se dále dělí na 3 typy režimy nabíjení. DC (režim 4) na další dva podle konektoru. [5]

1.3.1 Režim nabíjení 1

Nabíjení elektromobilu je uskutečněno střídavým proudem ze standardní domovní zásuvky. Neprobíhá zde žádná komunikace, proud se pohybuje v rozmezí 8–16 A dle typu elektromobilu. Toto nabíjení je nejméně bezpečné a také nejpomalejší. Standardní domovní zásuvka není uzpůsobená na trvalý odběr 16 A po dobu více jak hodinu. [5] [6]

1.3.2 Režim nabíjení 2

Elektromobil je nabíjen střídavým proudem ze standardní domovní zásuvky, ale elektromobil je připojen pomocí speciálního kabelu, který je vybaven přístrojem ICCPD (In-Cable-Control-and-Protective-Device). Přístroj komunikuje s elektromobilem a řídí proces nabíjení. Zároveň hlídá bezpečnost nabíjení (chybové proudy a oteplení kabelu) a umožňuje nastavení maximálního proudu. Proud dosahuje až 32 A. [5] [6]

1.3.3 Režim nabíjení 3

Nabíjení elektromobilu je uskutečněno střídavým proudem 63 A, které probíhá u nabíjecí stanice, nebo wallboxu. Tato zařízení jsou vybavena proudovým ochranným prvkem a zároveň zajišťují komunikaci s elektromobilem. Jsou vybavena buď kabelem se speciálním konektorem, nebo jen speciální zásuvkou. [5] [6]

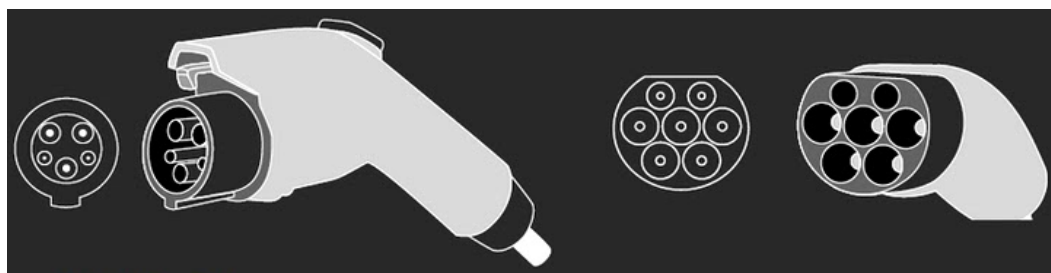
1.3.4 Režim nabíjení 4

Nabíjení elektromobilu je stejnosměrným proudem. Označuje se většinou jako rychlonabíjení. Toto nabíjení umožňuje přenést výkon až 250kW a při použití chlazení až 400kW. Připravuje se standart CHAdeMO 3.0, umožňující výkon 900kW. Kvůli těmto vysokým výkonům vyšší požadavek na bezpečnost. Připojovací kabel je výhradně pevně připojen k nabíjecí stanici a speciální zásuvka je jen na straně vozidla. [5] [6] [7]

1.3.5 Konektory AC

Konektor Yazaki umožňuje nabíjení střídavým proudem až 32 A o napětí 230 V (7,2kW).

Konektor Mennekes umožňuje nabíjení střídavým proudem až 63 A o napětí 400 V (43kW). Tento konektor je část konektoru CCS kombo, který umožňuje stejnosměrné nabíjení. [6]



Obrázek 1 Používané AC konektory v Česku. Vlevo Yazaki (typ 1) a vpravo Mennekes (typ 2) [8]

1.3.6 Konektory DC

Konektor CCS kombo 2 umožňuje nabíjení výkonem až 350kW. [9]

Konektor CHAdeMO v současné době umožňuje nabíjení výkonem až 400kW. [7]



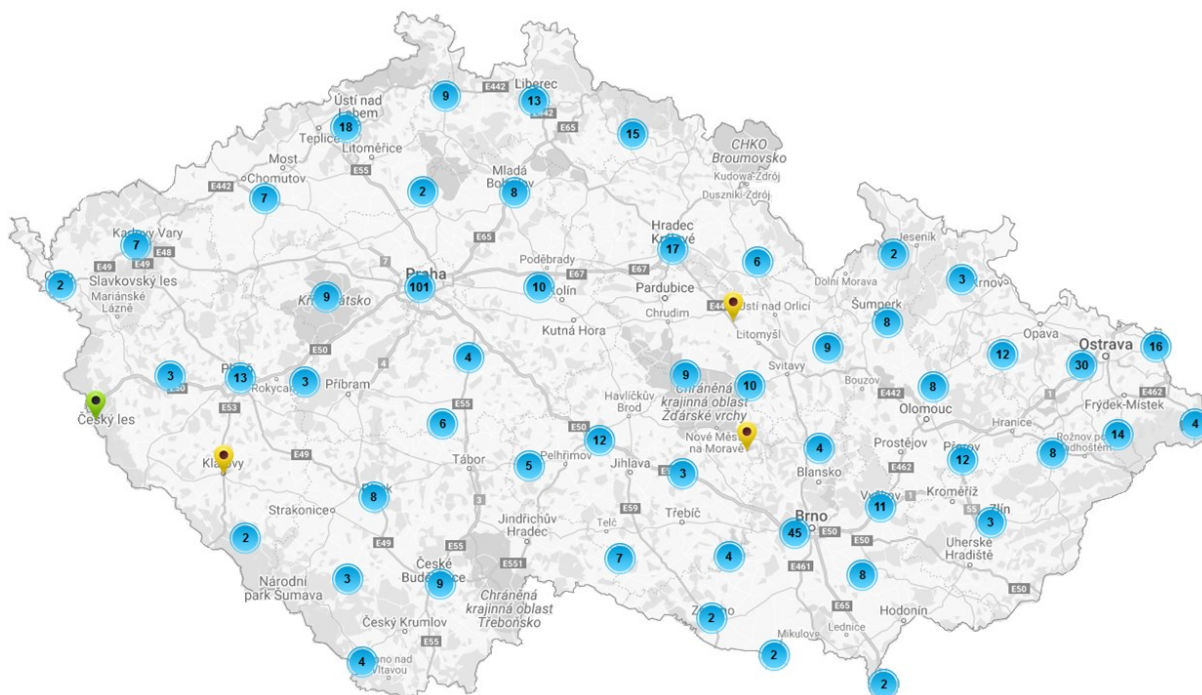
Obrázek 2 Používané DC konektory v Česku. Vlevo CCS combo 2 a vpravo CHAdeMO [8]

1.4 Mapa nabíjecích stanic elektromobilu

V České republice je nyní 536 nabíjecích míst dle webu evmapa.cz. Tento web zobrazuje všechny nabíjecí stanice i které jsou dostupné pro veřejnost ve vlastnictví soukromníků. [10]

Přehled jednotlivých stanic v České republice:

- | | | | |
|------------|-----|------------|-----|
| • 16A 230V | 179 | • CCS | 137 |
| • 16A 400V | 56 | • Yazaki | 13 |
| • 32A 400V | 80 | • Mennekes | 411 |
| • CHAdeMO | 158 | | |



Obrázek 3 Mapa nabíjecích stanic v České republice [10]

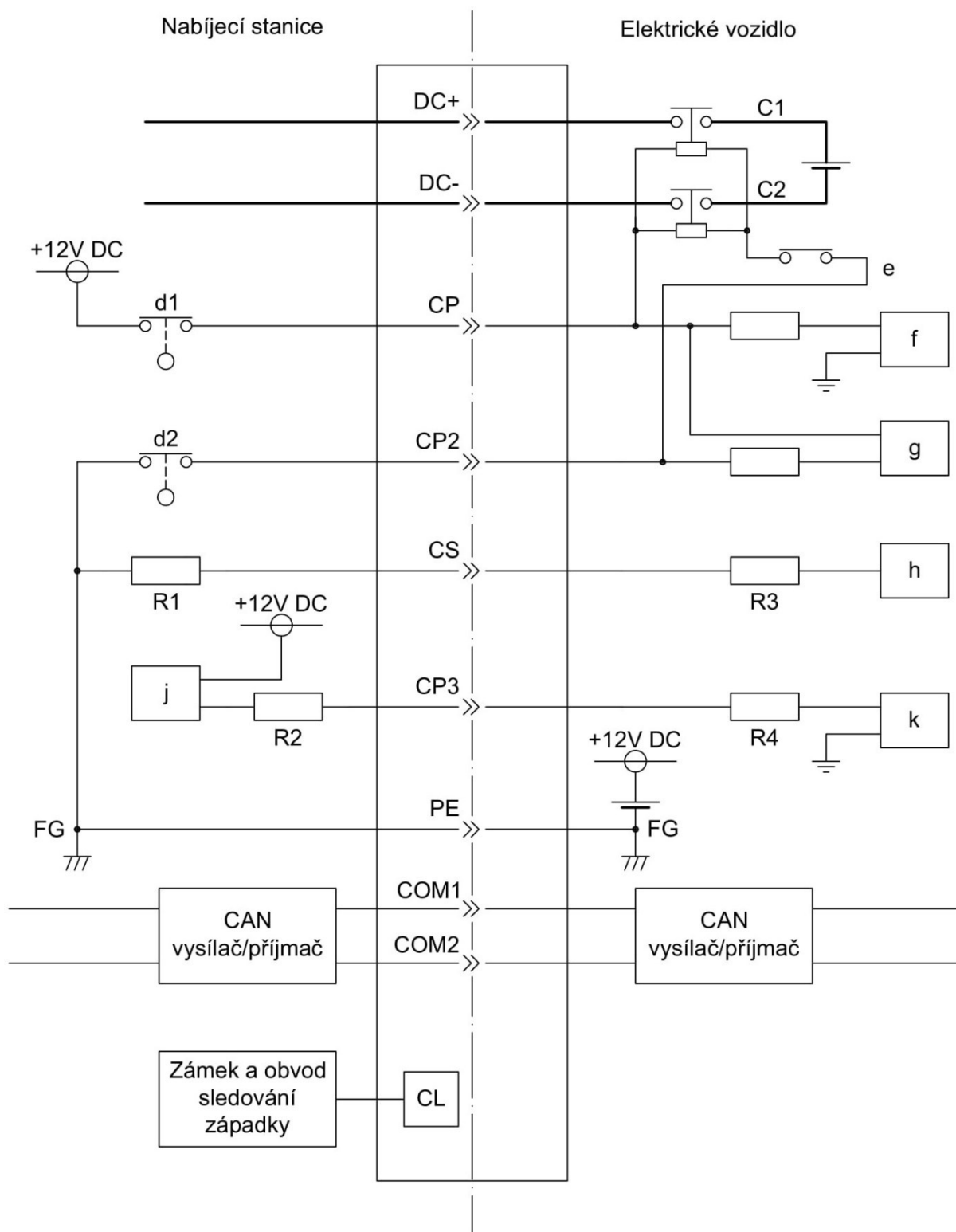
1.5 Základní funkce DC nabíječky se standardem CHAdeMO

- a. Potvrzení připojení (detekce vzdálenosti): Nabíječka i vozidlo musí být vybaveny prostředky, které potvrzují, že během nabíjení zůstávají navzájem propojené.
- b. Odpojení napájení po přerušení komunikace:
 1. Nabíječka musí být vybavena prostředky, které okamžitě zastaví nabíjení v případě, že je přerušena komunikace mezi vozidlem a nabíječkou (přes vedení nebo datové komunikační vedení).
 2. Vedle datové komunikace musí existovat i prostředek, aby vozidlo instruovalo nabíječku, aby zastavilo nabíjení. Když vozidlo zjistí narušení datové komunikace, musí být nabíječka upozorněna, aby přestala nabíjet vozidlo.
- c. Předcházení falešnému pohybu (požadavek na vozidlo): Vozidlo musí být vybaveno prostředky, které zabráňují pohybu vozidla, když je připojen k nabíječce (ať už před, nebo během nabíjení).
- d. Detekce odpojení ochranného vodiče mezi nabíječkou a vozidlem: Když je odpojen ochranný vodič mezi nabíječkou a vozidlem, nabíječka musí okamžitě zastavit nabíjení.
- e. Detekce a ochrana zemního spojení na napájecím obvodu: Během nabíjení musí nabíječka rozpoznat jakoukoliv zemní poruchu v napájecím obvodu stejnosměrného proudu. V případě, že je v obvodu stejnosměrného proudu zjištěna zemní porucha, musí nabíječka zastavit použití stejnosměrného napětí nebo zastavit dodávku stejnosměrného proud do nabíjecího kabelu. Pokud je zařízení vybaveno detekcí poruchy na palubě vozidla, nesmí zasahovat do schopnosti detekce poruchy zemního spojení nabíječky stejnosměrného proudu.
- f. Ochrana proti zkratu: Nabíječka musí být vybavena funkcí ochrany proti zkratu.
- g. Předcházení přepětí na palubních systémech: Nabíječka musí předcházet přepětí na palubních systémech.
- h. Funkce přerušení nabíjecího proudu: Vozidlo musí mít stykače s dostatečnou kapacitou pro přerušení nabíjecího proudu.
- i. Ochrana stykače elektrického vozidla:
 1. Pro ochranu elektrického vozidla stykače musí nabíječka při zastavení napájení řídicího relé elektrického vozidla stykače postupovat následovně: zastavit nabíjecí proud, zastavit napájení stykače elektromobilu a rozepnout kontakty jeho kontakty a provést zkoušku spečených kontaktů stykače elektromobilu. Tento postup musí být dodržen i v případě výpadku střídavého proudu nebo poklesu napětí vstupního střídavého proudu.
 2. Postup pro zastavení řídicího napájecího zdroje (napájení pro stykač elektrického vozidla)
 - i. Zastavte nabíjecí proud.
 - ii. Zastavte napájení řídicího relé EV stykače.
 - iii. Rozepne kontakty stykače elektrického vozidla. Nabíječka musí detekovat spečené kontakty stykače elektrického vozidla.
- j. Návrh hardwaru spojený se signály stop: Signál stop od vozidla k nabíječce nemusí být potřebný. Proces nabíjení se zastaví v případě, že analogový nebo CAN datový signál vyvolá stav "zastavení". Nabíječka musí být vybavena mechanismem zajišťujícím ukončení provozu podle požadavku na zastavení nabíjení.
- k. Měření a kontrola napětí: Nabíječka musí být vybavena měřicím zařízením pro měření napětí napájecího kabelu, aby bylo možné posoudit, zda může být na okruh vozidla použito napětí a zda se může vyjmout nabíjecí konektor.
- l. Funkce záznamu chyb: Nabíječka a vozidlo musí být vybaveny pamětí pro ukládání chybových informací a zjišťování jejich příčiny, pokud dojde k poruchám na druhé straně.

2 Komunikace mezi nabíjecí stanicí a elektromobilem

Principy komunikace byla čerpána z českých norem ČSN EN 61851-23 (vycházející z evropské normy EN 61851-23:2014) a ČSN EN 61851-24 (vycházející z evropské normy EN 61851-24:2014)

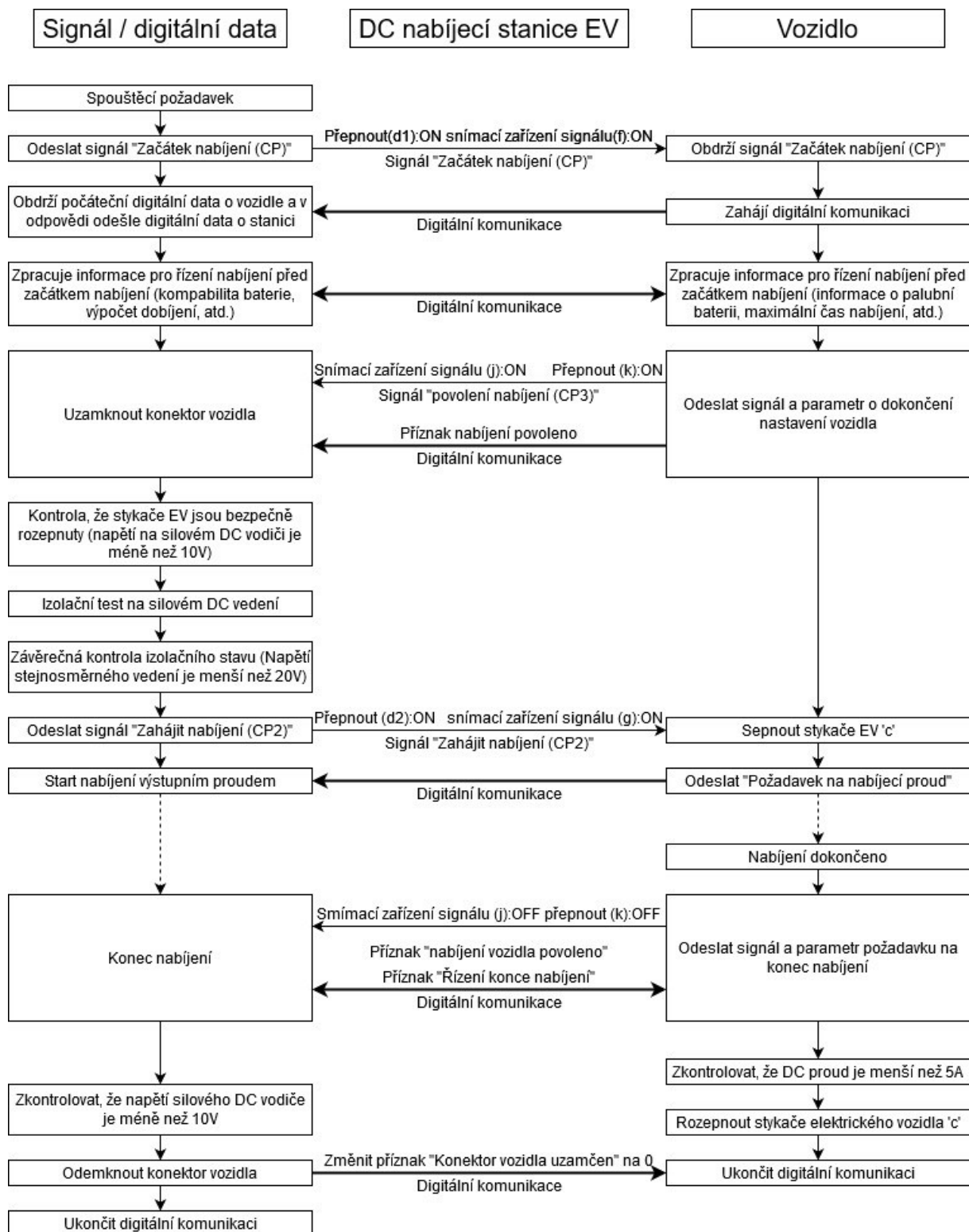
Ve standartu CHAdeMO probíhá komunikace ve dvou úrovních, a to analogové a digitální. Digitální komunikace je pomocí CAN 2.0 active rychlostí 500kbps. Zapojení obvodu rozhraní pro řízení nabíjení je zobrazeno na Obrázek 4. Popisy značek na Obrázek 4 jsou v Tabulka 3. Postup komunikace nabíjení je znázorněn na sekvenčním diagramu Obrázek 5. Diagram stavových přechodů nabíjecí stanice je vyobrazen na Obrázek 6. Popis jednotlivých stavů nabíjecí stanice je v Tabulka 2.



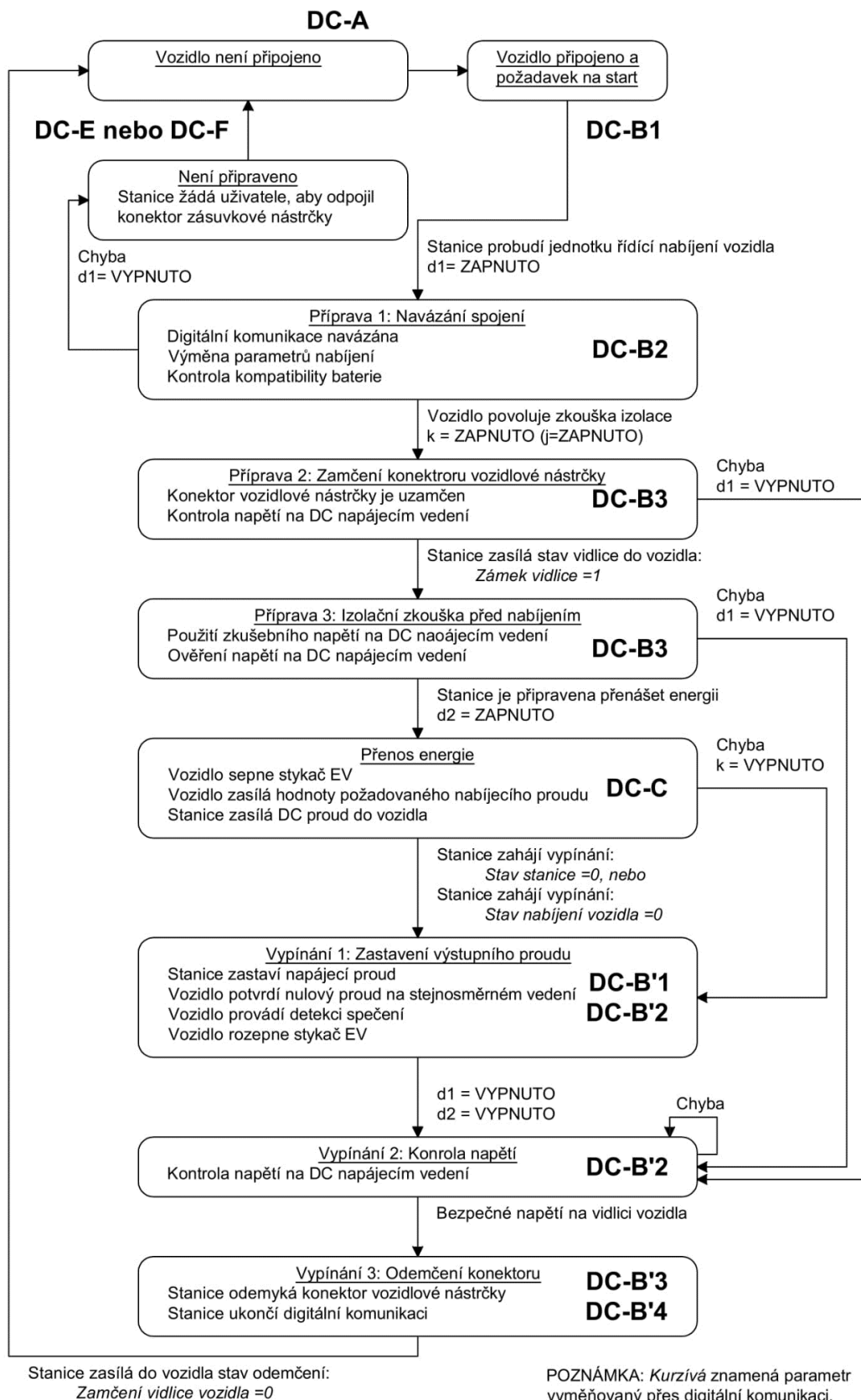
Obrázek 4 Obvod rozhraní pro řízení nabíjení [11] [12]

Tabulka 1 Definice značek na Obrázek 4 [11]

	Značky	Definice
Nabíjecí stanice	d1	Spínač na CP pro řízení signálů start/stop nabíjení ze stanice do vozidla
	d2	Spínač na CP pro řízení pilotních signálů start/stop nabíjení ze stanice do vozidla
	j	Zařízení pro detekci signálu, zda je nebo není vozidlo připraveno k nabíjení
	R1	Rezistor
	R2	Rezistor
	+12V DC	Stejnoseměrný zdroj pro ovládání stykačů EV
Elektrické vozidlo	C1, C2	Odpojovací spínač DC napájecího vedená (stykače EV)
	e	Ovládací relé stykačů EV
	f	Detektor pro zjištění stavu signálu d1
	g	Detektor pro zjištění stavu signálu d2
	h	Detektor signálu připojení/odpojení vozidlové spojky
	k	Přepínač pro pokračování / zastavení nabíjení
	R3	Rezistor
	R4	Rezistor
Konektorová nástrčka vozidla	DC+	Stejnoseměrný zdroj (kladný pól)
	DC-	Stejnoseměrný zdroj (záporný pól)
	CP	Řídící signál, který určuje start/stop stav stanice
	CP2	Řídící signál, který určuje start/stop stav stanice
	CS	Řídící vodič, který detekuje stav zásuvkového spojení
	CP3	Řídící signál, který potvrzuje, že vozidlo je připraveno k nabíjení (nabíjení povoleno)
	COM1 COM2	Pár signálních vodičů pro digitální komunikaci
	PE	Ochranný vodič mezi stanicí a elektrickým vozidlem pro detekci první stejnosměrné zemní poruchy
Konektorová nástrčka vozidla	CL	Mechanismus západky a zámku konektoru



Obrázek 5 Sekvenční diagram komunikace řízení DC dobíjecí stanice [12] [13]



Obrázek 6 Diagram přechodových stavů při nabíjecím procesu [11]

Tabulka 2 Stavy nabíjení DC nabíjecí stanice [11]

Stav		Vozidlo připojeno	Stykač vozidla	Nabíjení povoleno	Popis
DC-A	Nepřipojeno	Ne	Rozepnut	Ne	Vozidlo nepřipojeno
DC-B1	Příprava	Ano	Rozepnut	Ne	Vozidlo připojeno / není připraveno přijímat energii / komunikace není navázána / odemčený konektor / rozepnutý stykač vozidla
DC-B2		Ano	Rozepnut	Ne	Vozidlo připojeno / není připraveno přijímat energii / komunikace je navázána / odemčený konektor / rozepnutý stykač vozidla
DC-B3		Ano	Rozepnut	Ne	Vozidlo připojeno / není připraveno přijímat energii / komunikace je navázána / zamčený konektor / rozepnutý stykač / další pomocné procesy nedokončeny
DC-C	Přenos energie	Ano	Sepnut	Ano	Vozidlo připojeno / připraveno přijímat energii / ventilace vnitřního prostoru není vyžadována / komunikace je navázána / zamčený konektor / sepnutý stykač / další pomocné procesy dokončeny
DC-D		Ano	Sepnut	Ano	Vozidlo připojeno / připraveno přijímat energii / ventilace vnitřního prostoru je vyžadována / komunikace je navázána / zamčený konektor / sepnutý stykač / další pomocné procesy dokončeny
DC-B'1	Vypnutí	Ano	Sepnut	Ano	Vozidlo připojeno / nabíjení skončilo / komunikace je udržována / zamčený konektor / sepnutý stykač
DC-B'2		Ano	Rozepnut	Ne	Vozidlo připojeno / nabíjení skončilo / komunikace je udržována / zamčený konektor / rozepnutý stykač / další pomocné procesy dokončeny
DC-B'3		Ano	Rozepnut	Ne	Vozidlo připojeno / nabíjení skončilo / komunikace je udržována / odemčený konektor / rozepnutý stykač
DC-B'4		Ano	Rozepnut	Ne	Vozidlo připojeno / nabíjení skončilo / komunikace skončila / konektor odemčen / rozepnutý stykač vozidla
DC-E	Chyba	Ano	Rozepnut	Ne	DC nabíječka odpojena od vozidla / DC nabíječka odpojena od zdroje, ztratila výkon nebo se řídicí signál zkratoval s referenčním signálem
DC-F	Závada	Ano	Rozepnut	Ne	Jiný problém DC nabíječky

2.1 Specifikace analogové komunikace

Analogová komunikace zajišťuje zvýšení bezpečnosti procesu nabíjení. Ta je vyvedena na konektor CHAdeMO pro připojení elektromobilu. Svorky CP a CP2 slouží k napájení cívky stykače ve vozidle. Svorka CS slouží k identifikaci připojeného elektromobilu k nabíjecí stanici. Svorka CP3 slouží k detekci dokončení nastavení vozidla. Svorka PE slouží k vyrovnaní potenciálu mezi elektromobilem a nabíjecí stanicí.

Jednotlivé charakteristické veličiny na svorkách konektoru jsou popsány v Tabulka 3. Zapojení obvodu analogové komunikace je znázorněno na Obrázek 4, které vychází z normy ČSN EN 61851-23.

Tabulka 3 Parametry a hodnoty obvodu rozhraní z Obrázek 4 [11] [12]

	Svorka / vodič	Parametry	Minimální hodnota	Obvyklá hodnota	Maximální hodnota	Jednotka
Nabíjecí stanice	CP	+12V DC	10,8	12	13,2	V
	CS	Rezistor R1	190	200	210	Ω
	CP3	Rezistor R2	950	1 000	1 050	Ω
	CP	Proudová zatížitelnost spínače d1	2		2 000	mA
	CP2	Proudová zatížitelnost spínače d2	2		2 000	mA
Elektrické vozidlo	CP	Zatěžovací proud (když je d1 sepnutý)	10		2 000	mA
	CP2	Zatěžovací proud (když jsou d1 a d2 sepnuté)	10		2 000	mA
	CS	Rezistor R3	950	1 000	1 050	Ω
		+12V DC	8	12	16	V
	CP3	Rezistor R4	190	200	210	Ω

2.2 Specifikace digitální komunikace

Digitální komunikace je pomocí protokolu CAN 2.0B Active. O standartní délce 11 bitů. Rychlost komunikace je 500 kb/s, čtení linky je v čase 72.5 až 87.5% z celého bitu. Komunikační linka musí být zakončena odporem 120 Ω jak na straně elektromobilu, tak nabíjecí stanice. Rychlost aktualizace dat je 100 ms \pm 10%. Předávané parametry mezi elektromobilem a nabíjecí stanicí jsou popsány v Tabulka 4, Tabulka 5, Tabulka 6, Tabulka 7 a Tabulka 8. [13]

Tabulka 4 Komunikační události a parametry v průběhu řízení nabíjení (1/5) [12] [13]

Parametr	Popis	CAN ID ID.byte (bit)	Zdroj	Cíl	Rychlost aktualizace dat (ms)	Jednotka	Stavový příznak	Rozlišení (rozsah)
Maximální napětí akumulátoru	Maximální hodnota napětí na kontaktech vozidlové přívodky, při které nabíjecí stanice ukončí nabíjení, aby ochránila akumulátor vozidla	H'100.4, H'100.5	EV	Nabíjecí stanice	100	V	–	1 V/bit
Jmenovitá kapacita akumulátoru	Jmenovitá kapacita akumulátoru	H'101.5, H'101.6	EV	Nabíjecí stanice	100	kWh	–	0,11 kWg/bit
Koeficient nabíjecího proudu	Pevná hodnota koeficientu, určující maximální nabíjecí proud akumulátoru vozidla (100 %)	H'100.6	EV	Nabíjecí stanice	100	%	–	1 % bit, 100% (pevně)
Maximální doba nabíjení (po 10 s)	Maximální doba nabíjení povolená EV, nastavitelná po 10 s	H'101.1	EV	Nabíjecí stanice	100	s	–	10 s/bit (0 až 2 540 s)
Maximální doba nabíjení (po minutě)	Maximální doba nabíjení povolená elektrickým vozidlem, nastavitelná po minutách	H'101.2	EV	Nabíjecí stanice	–	min	–	1 min/bit (0 až 255 min)
Odhadovaný čas nabíjení	Odhadovaný zbývajících čas do konce nabíjení spočtený EV	H'101.3	EV	Nabíjecí stanice	100	min	–	1 min/bit (0 až 254 min)
Číslo řídicího protokolu	Verze softwarového řídicího protokolu, kterým se řídí EV	H'102.0	EV	Nabíjecí stanice	100	–	–	1/bit (0 až 255)
Cílové napětí akumulátoru	Cílové nabíjecí napětí na kontaktech vozidlové přívodky	H'102.1, H'102.2	EV	Nabíjecí stanice	100	V	–	1 V/bit (0 až 600 V)
Požadavek nabíjecího proudu	Hodnota nabíjecího proudu požadovaná elektrickým vozidlem během nabíjení	H'102.3	EV	Nabíjecí stanice	100	A	–	1 A/bit (0 až 255 A)
Rychlost nabíjení	Rychlost nabíjení akumulátoru vozidla	H'102.6	EV	Nabíjecí stanice	100	%	–	1 %/bit (0 až 100%)

Tabulka 5 Komunikační události a parametry v průběhu řízení nabíjení (2/5) [12] [13]

Parametr	Popis	CAN ID ID.byte (bit)	Zdroj	Cíl	Rychlost aktualizace dat (ms)	Jednotka	Stavový příznak	Rozlišení (rozsah)
Nabíjení vozidla povoleno	Stavový příznak indikující stav povolení nabíjet EV	H'102.5(0)	EV	Nabíjecí stanice	–	–	0: zakázáno, 1: povoleno	
Pozice řadící páky vozidla	Stavový příznak udávající polohu řadící páky	H'102.5(1)	EV	Nabíjecí stanice	–	–	0: pozice "Parking", 1: jiná pozice	
Chyba nabíjecího systému	Stavový příznak indikující závadu způsobenou EV nebo stanicí a detekovanou EV	H'102.5(2)	EV	Nabíjecí stanice	–	–	0: v pořádku 1: chyba	
Stav vozidla	Stavový příznak indikující stav stykače EV	H'102.5(3)	EV	Nabíjecí stanice	–	–	0: stykač EV sepnutí nebo během Detekce spečení kontaktů, 1: stykač EV rozpojen nebo Detekce spečení kontaktů dokončena	
Běžný požadavek na konec nabíjení	Stavový příznak, který znamená, že vozidlo požaduje zastavení nabíjení	H'102.5(4)	EV	Nabíjecí stanice	–	–	0: žádný požadavek 1: požadavek na ukončení	
Přepětí akumulátoru	Stavový příznak indikující, zda-li napětí akumulátoru vozidla nepřekročilo maximální povolený limit udávaný EV	H'102.4(0)	EV	Nabíjecí stanice	–	–	0: v pořádku 1: chyba	

Tabulka 6 Komunikační události a parametry v průběhu řízení nabíjení (3/5) [12] [13]

Parametr	Popis	CAN ID ID.byte (bit)	Zdroj	Cíl	Rychlost aktualizace dat (ms)	Jednotka	Stavový příznak	Rozlišení (rozsah)
Podpětí akumulátoru	Stavový příznak indikující zda-li napětí akumulátoru vozidla není pod dolním limitem udávaným EV	H'102.4(1)	EV	Nabíjecí stanice	–	–	0: v pořádku 1: chyba	
Chyba odchylky proudu akumulátoru	Stavový příznak indikující zda-li se výstupní proud odlišuje od proudu požadovaného EV	H'102.4(2)	EV	Nabíjecí stanice	–	–	0: v pořádku 1: chyba	
Vysoká teplota akumulátoru	Stavový příznak indikující zda-li se výstupní proud odlišuje od proudu požadovaného EV	H'102.4(3)	EV	Nabíjecí stanice	–	–	0: v pořádku 1: chyba	
Chyba odchylky napětí akumulátoru	Stavový příznak indikující zda-li se napětí akumulátoru vozidla odlišuje od výstupního napětí měřeného nabíjecí stanicí	H'102.4(4)	EV	Nabíjecí stanice	–	–	0: v pořádku 1: chyba	
Identifikátor podpory detekce spečení kontaktů stykačů EV	Identifikátor indikující zda-li se nabíjecí stanice zabývá detekcí spečení stykače EV	H'108.0	Nabíjecí stanice	EV	100	–	0: nepodporuje detekci spečení stykače, 1 nebo více: podporuje detekci spečení stykače	
Dostupné výstupní napětí	Maximální hodnota výstupního napětí na kontaktech vozidlové nástrčky	H'108.1, H'108.2	Nabíjecí stanice	EV	100	V	–	1 V/bit (0 až 600 V)

Tabulka 7 Komunikační události a parametry v průběhu řízení nabíjení (4/5) [12] [13]

Parametr	Popis	CAN ID ID.byte (bit)	Zdroj	Cíl	Rychlost aktualizace dat (ms)	Jednotka	Stavový příznak	Rozlišení (rozsah)
Dostupný výstupní proud	Maximální hodnota výstupního proudu nabíjecí stanice	H'108.3	Nabíjecí stanice	EV	100	A	–	1 A/bit (0 až 255 A)
Prahové napětí	Prahové napětí pro ukončení nabíjecího procesu za účelem ochrany akumulátoru vozidla	H'108.4, H'108.5	Nabíjecí stanice	EV	100	V	–	1 V/bit (0 až 600 V)
Číslo řídicího protokolu	Číslo softwarového verze řídicího protokolu nebo nabíjecí sekvence, se kterými nabíjecí stanice pracuje	H'109.0	Nabíjecí stanice	EV	100	–	–	1 / bit (0 až 255)
Výstupní napětí	Hodnota napájecího napětí výstupního obvodu nabíjecí stanice	H'109.1, H'109.2	Nabíjecí stanice	EV	100	V	–	1 V/bit (0 až 600 V)
Výstupní proud	Hodnota napájecího proudu výstupního obvodu nabíjecí stanice	H'109.3	Nabíjecí stanice	EV	100	A	–	1 A/bit (0 až 255 A)
Zbývajcí čas nabíjení (počítáno po 10 s)	Zbývajcí čas do konce nabíjení (počítáno po 10 s)	H'109.6	Nabíjecí stanice	EV	100	s	–	10 s/bit (0 až 2 540 s)
Zbývajcí čas nabíjení (počítáno po minutách)	Zbývajcí čas do konce nabíjení (počítáno po minutách)	H'109.7	Nabíjecí stanice	EV	100	min	–	1 min/bit (0 až 255 min)
Stav stanice	Stavový příznak indikující přenos energie ze stanice	H'109.5(0)	Nabíjecí stanice	EV	100	–	0: v pohotovosti, 1: nabíjení	
Porucha stanice	Stavový příznak indikující poruchu zapříčiněnou nabíjecí stanicí	H'109.5(1)	Nabíjecí stanice	EV	100	–	0: v pořádku, 1: chyba	
Nástrčka vozidla uzamčena	Stavový příznak indikující stav elektromagnetického zámku nástrčky vozidla	H'109.5(2)	Nabíjecí stanice	EV	100	–	0: odemčen, 1: uzamčen	

Tabulka 8 Komunikační události a parametry v průběhu řízení nabíjení (5/5) [12] [13]

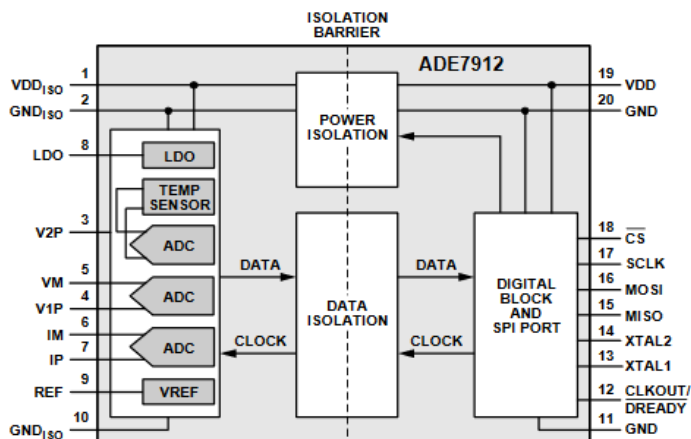
Parametr	Popis	CAN ID ID.byte (bit)	Zdroj	Cíl	Rychlost aktualizace dat (ms)	Jednotka	Stavový příznak	Rozlišení (rozsah)
Nekompatibilita akumulátoru	Stavový příznak indikující kompatibilitu akumulátoru vozidla s výstupním napětím stanice	H'109.5(3)	Nabíjecí stanice	EV	100	–	0: kompatibilní, 1: nekompatibilní	
Porucha nabíjecího systému	Stavový příznak indikující zda-li je zde problém s elektrickým vozidlem, například nevhodné spojení	H'109.5(4)	Nabíjecí stanice	EV	100	–	0: v pořádku, 1: porucha	
Příkaz konce nabíjení	Stavový příznak indikující zda-li se stanice vypíná	H'109.5(5)	Nabíjecí stanice	EV	100	–	0: v pořádku, 1: vypnutí nebo ukončení nabíjení	

3 Měření elektrické energie

Pro měření elektrické energie bylo využito AD převodníku ADE7192 komunikujícího po sběrnici SPI s izolační pevností 5 kV_{RMS} a rozlišením 24bitů. [14]

3.1 Popis AD převodníku ADE7192

ADE7192 je integrovaný obvod v pouzdře SOIC_IC s tříkanálový Σ - Δ AD převodníkem a integrovaným galvanicky odděleným zdrojem napětí. Měření probíhá na všech třech kanálech současně s rozlišením 24bitů. Naměřené hodnoty jsou předávány po komunikační sběrnici SPI. Na tuto sběrnici mohou být připojeny až 4 AD převodníky, kdy mikrokontroler je Master. Délka vysílaných dat je 16bitů. Napájení je 3,3 V pouze na straně komunikace, na straně měření je napájen pomocí vnitřního galvanicky odděleného zdroje. Maximální vstupní hodnota pro měření napětí je ± 500 mV mezi svorkami V1P a VM a mezi svorkami V2P a VM. Maximální vstupní hodnota pro měření proudu je $\pm 31,25$ mV mezi svorkami IP a IM. Vnitřní zapojení integrovaného obvodu ADE7192 je na Obrázek 7. [14]



Obrázek 7 Vnitřní zapojení AD převodníku ADE7192 [14]

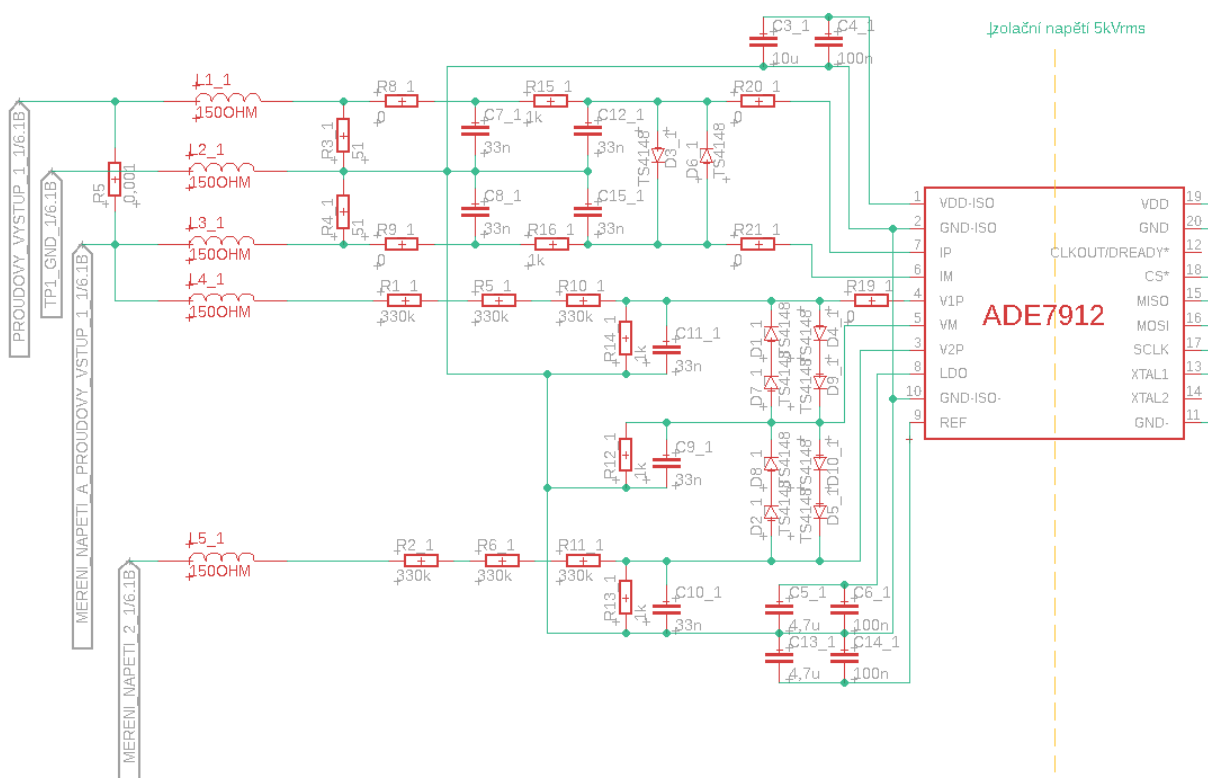
3.2 Zapojení AD převodníku ADE7192

Schématické zapojení dvou AD převodníků ADE7192 je na Obrázek 8 a Obrázek 9. Strana měření je shodná u obou AD převodníků jen za podtržítkem je místo čísla jedna číslo dva. Fotografie praktické realizace je na Obrázek 10.

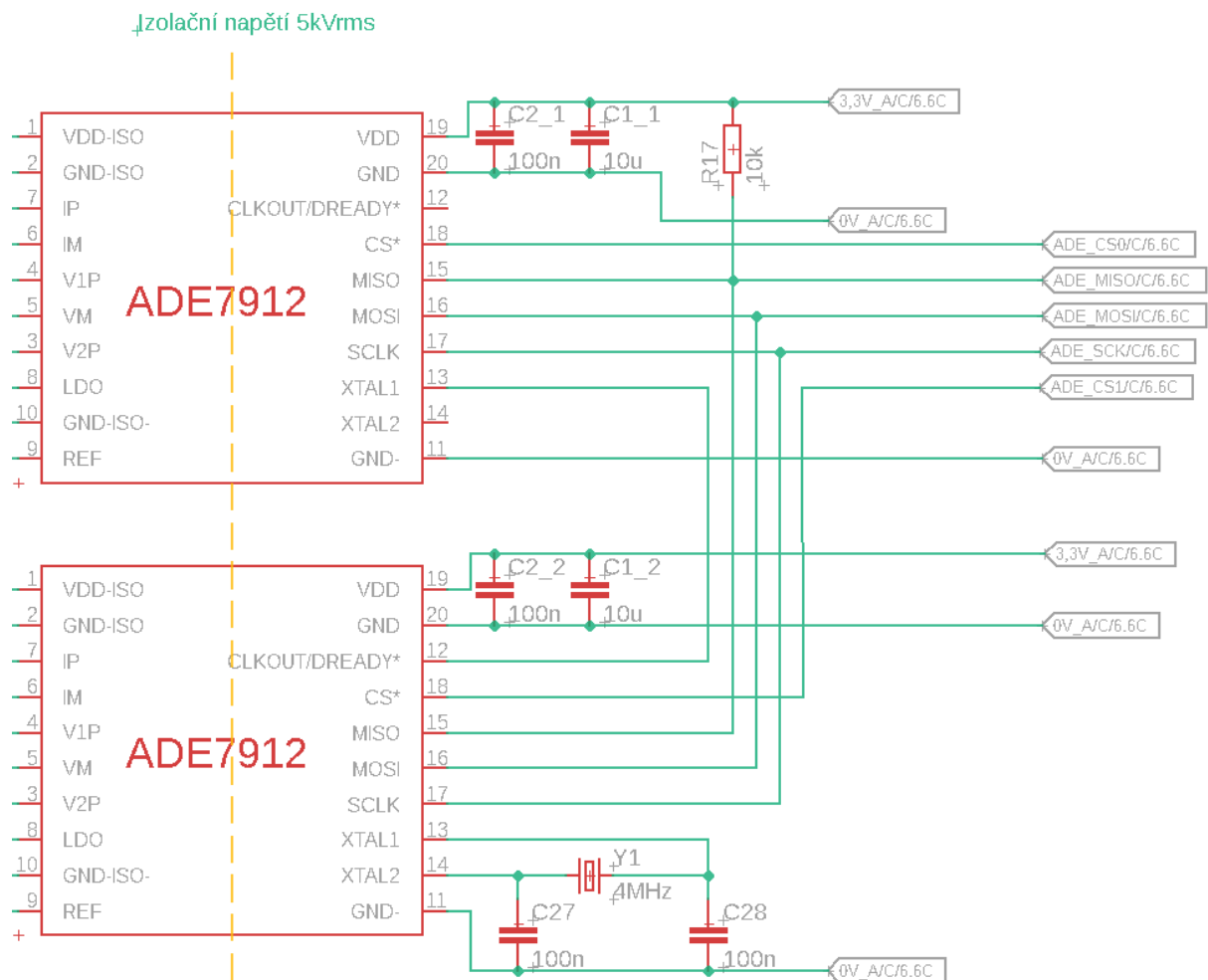
K docílení nepřekročení absolutně maximálních parametrů mezi svorkami V1P a VM a mezi svorkami V2P a VM bylo použito sériové zapojení dvou vysokorychlostních spínacích diod TS4148 (D1_1 a D7_1 pro svorky V1P a VM, D2_1 a D8_1 pro svorky V2P a VM) a paralelně k nim byly připojeny další dvě sériově zapojené vysokorychlostní spínací diody TS4148 (D4_1, D5_1, D9_1 a D10_1). Pro snížení měřeného napětí byly použity tři sériově zapojené rezistory o hodnotě 330 k Ω (R1_1, R5_1, R10_1 pro V1P a pro V2P R2_1, R6_1 a R11_1), které byly spojeny rezistorem o hodnotě 1 k Ω (R13_1 a R14_1) s GND-ISO. Tímto zapojením bylo umožněno bezpečně měřit napětí až 495 V.

K docílení nepřekročení absolutně maximálních parametrů mezi svorkami IM a IP bylo použito paralelní zapojení dvou vysokorychlostních spínacích diod TS4148 (D3_1 a D6_1). Pro měření proudu byl použit božník o hodnotě 1 m Ω . Tímto zapojením bylo umožněno bezpečně měřit proud až 31,25 A.

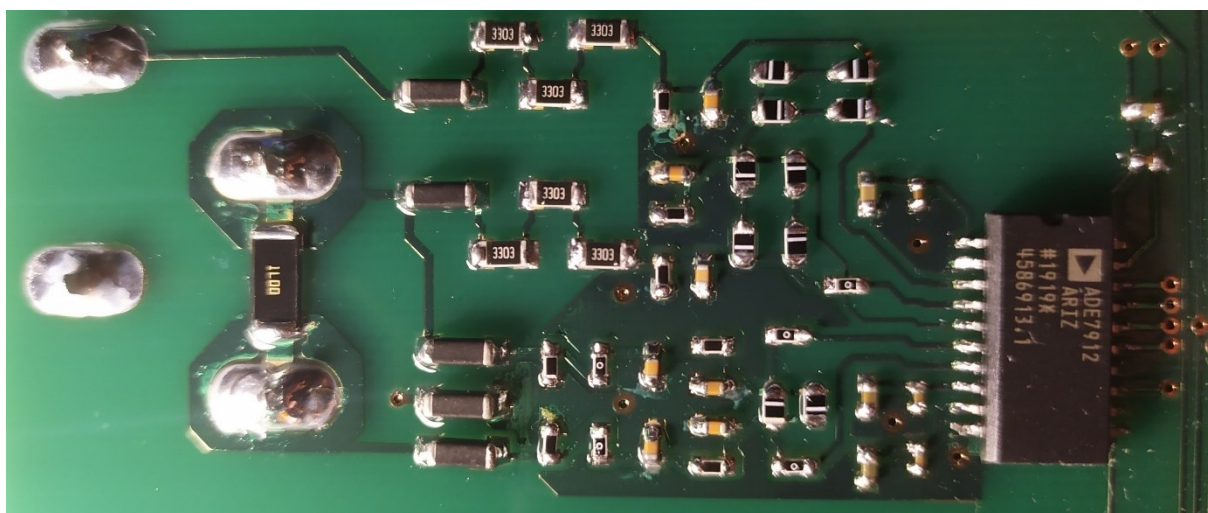
Komunikace s AD převodníkem ADE7912 byla realizována pomocí sběrnice SPI. Minimální a maximální komunikační rychlost je 0,25 až 5,6Mb/s. Rychlost komunikace byla nastavena na 2Mb/s. Pomocí nastavení logické nuly na pinu CS* se vybere zařízení s kterým se komunikuje. Pin SCLK slouží k příjmu hodinového signálu. Po přijmutí binární informace 00000100 na pinu MOSI začne vysílat své naměřené hodnoty na pinu MISO. Na piny XTAL1, XTAL2 se připojuje externí oscilátor 4,096 Mhz, který slouží k synchronímu měření více AD převodníků. Tento signál je generován na pin CLKOUT/DREADY*. [14]



Obrázek 8 Zapojení AD převodníku ADE7912 – strana měření



Obrázek 9 Zapojení AD převodníku ADE7912 – strana komunikace



Obrázek 10 Fotografie praktické realizace AD převodníku ADE7912

4 Řízení elektrické energie

Měření napětí a proudu požadovaného subsystémem z měniče 6RA70 od výrobce Siemens obstarává AD převodník ADE7912. Vyhodnocení naměřených hodnot obstarává mikrokontroler STM32F103RDT6.

4.1 Použitý měnič

K nabíjení elektromobilu byl použit měnič 6RA70 od výrobce Siemens, který je vyobrazen na Obrázek 11. Tento měnič umožňuje nastavit výstupní napětí ve čtyřech rozmezích 24 V až 85 V, 86 V až 250 V, 251 V až 575 V, nebo 575 V až 1000 V. Výstupní proud měniče je až 40 A. Komunikační možnosti měniče jsou CAN, RS485 a RS232.

Pro účely nabíjení bylo vybráno nastavení 251 V až 575 V. Tento výběr se provedl nastavením parametru UR21 na hodnotu 575. Tento parametr byl nastaven přímo na měniči. Komunikace se subsystémem byla pomocí sériové linky RS485, rychlost komunikace 9600 b/s.



Obrázek 11 Měnič 6RA70

4.2 Vyhodnocení skutečných a žádaných hodnot

Odchylka požadovaného proudu nesmí být větší než 2,5 A při požadovaném proudu do 50 A. Při požadovaném proudu větším, než je 50 A je maximální odchylka povolena 5%. Větší odchylka od požadovaného proudu je povolena, pokud dojde ke změně požadovaného proudu. Nesmí však přesáhnout čas 1 s při změně požadovaného proudu menší než 20 A, pokud je změna požadovaného proudu větší než 20 A včetně, nesmí být prodleva větší, než je možná minimální rychlost změny proudu. Například pokud je požadována změna 40 A a minimální rychlost změny proudu měniče je 20 A/s tak výsledná změna proudu nesmí být delší než 2 s.

Po celou dobu nabíjení nesmí překročit výstupní napětí na konektoru maximální hodnotu napětí akumulátoru. Tuto hodnotu zasílá elektromobil.

Konektor nesmí být odemčen, pokud je na výstupu konektoru větší napětí než 60 V.

5 Návrh subsystému pro komunikaci s elektromobilem

Navržené zařízení vychází z normy ČSN EN 61851–23. Subsystém musí zajistit komunikaci s elektromobilem, hlídání izolačního stavu a měření proudu zámku konektoru, komunikaci s nadřazeným systémem, detekci připojeného vozidla a galvanické oddělení od zbytku soustavy. Subsystém byl rozšířen o měření proudu cívky stykače elektromobilu, možnost automatického odpojení elektromobilu a soft start (ovládání externího stykače).

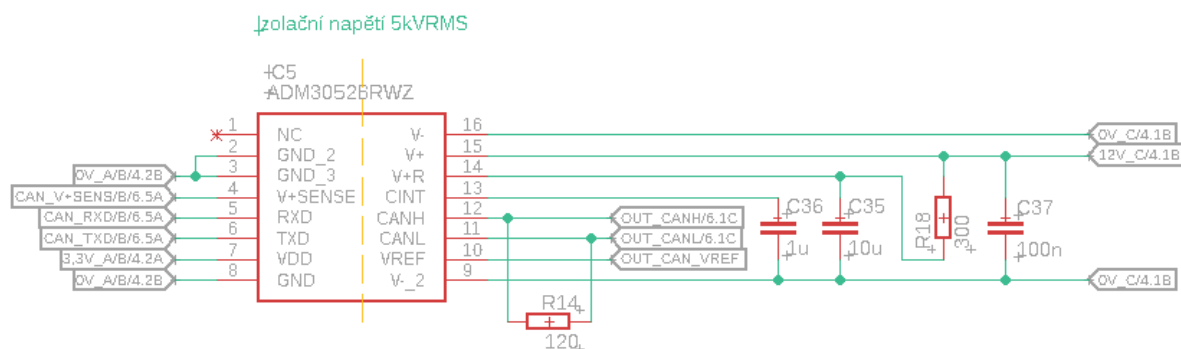
Samotný návrh zapojení byl vytvořen v programu EAGLE 9.6.2 s licencí education. Bylo zde vytvořeno celkem sedm stran schémat, které sloužili k návrhu plošného spoje. Plošný spoj byl rozdělen do třech modulů, které se skládají na sebe a pomocí kolíkových a dutinkových lišt se spojují. První modul obsahuje mikrokontroler a dvě komunikační rozhraní RS485. Druhý modul obsahuje veškeré periferie pro připojení elektromobilu jako jsou relé, optočleny, galvanické oddělení CAN a dále obsahuje relé pro ovládání soft startu a DC-DC měniče napětí. Třetí modul obsahuje měření proudu a napětí pomocí AD převodníku ADE7912.

5.1 Napájení subsystému

Jako společný zdroj napětí pro vnitřní periferie subsystému, které jsou galvanicky propojeny byl zvolen zdroj TMV 2-1203SHI. Tento zdroj zajišťuje galvanické oddělení s izolační pevností 5,2 kV, výstupní napětí 3,3 V a proud 500 mA. Tento zdroj byl zvolen s ohledem na další možnost rozšíření o další modul. Napájení samotného zdroje bylo využito z napájení periferií pro elektromobil, tj. 12 V.

5.2 Komunikace s elektrickým vozidlem

Komunikace s EV byla popsána v kapitole 2.2 Specifikace digitální komunikace. Galvanické oddělení CAN komunikace bylo zajištěno integrovaným obvodem ADM3052BRWZ. Tento integrovaný obvod zajišťuje izolační pevnost 5 kV_{RMS} a rychlosti komunikace až 1Mb/s. Svorka V+SENSE indikuje přítomnost napájení na straně vozidla. Při log0 je přítomno napájení na straně vozidla. Svorka VREF slouží jako výstupní reference napětí, která se pohybuje mezi 2,025 až 3,025 V. Svorka VREF nebyla využita. [15]



Obrázek 12 Schématické zapojení galvanického oddělení CAN komunikace – ADM3052BRWZ

5.3 Hlídač izolačního stavu

Po celou dobu přítomnosti napětí na výstupních svorkách musí být hlídán izolační stav. K tomu to účelu byl použit hlídač izolačního stavu isoEV425+AGH420 splňující normu IEC 61851-23 tím pádem i českou verzi této normy (ČSN EN 61851-23). Přístroj umožňuje hlídat typ sítě IT AC/DC 0 až 793 V a stejnosměrné vedení o napětí až 1100 V, společně s měřením podpětí a přepětí. Při použití nezávislého zdroje napájení přístroj umožňuje monitorovat odpojené vedení. Výstupem jsou dvě programovatelná relé, pracující buď v režimu spínacím, nebo rozpínacím.

Přístroj isoEV425+AGH420 umožňuje nastavení prodlevy hlášení poruchy, toto nastavení bylo nastaveno na nulový čas. Dále byla nastavena hodnota reakce na hodnotu 50 k Ω . [16]

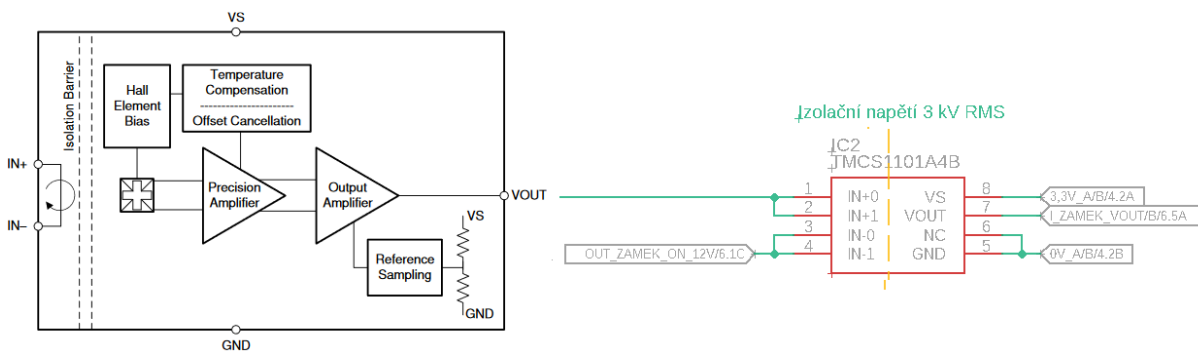


Obrázek 13 Hlídač izolačního stavu isoEV425+AGH420

5.4 Měření proudu zámku konektoru

K měření proudu zámekem konektoru byl použit převodník proudu na napětí s galvanickým oddělením a izolační pevností 3 kV_{RMS} TMCS1101. Převodník je tvořen halovou sondou a operačním zesilovačem viz Obrázek 14 vlevo. Pod označením se skrývají 4 typy převodníků proudu na napětí. Každý převodník má jiné rozlišení. Byl vybrán typ TMCS1101A4U/B s největším rozlišením a to 400 mV/A. Napájení převodníku bylo 3,3 V. Výrobce udává napájecí rozsah od 3 V do 5,5 V. Výstupní napětí při nulovém proudu je polovina napájecího napětí. Rozsah měřeného proudu je $\pm 4,125$ A. [17]

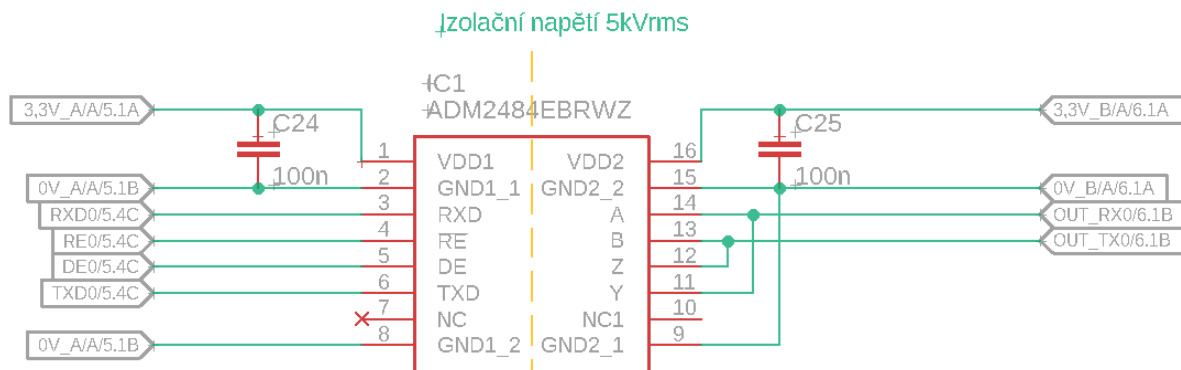
K výstupu integrovaného obvodu TMCS1101 je připojen na analogový vstup mikrokontroleru. Analogové vstupy mikrokontroleru jsou vzorkovány 12 bity.



Obrázek 14 Vlevo vnitřní zapojení převodníku proudu na napětí TMCS1101 a vpravo schématické zapojení převodníku proudu na napětí TMCS1101 [17]

5.5 Komunikace s nadřazeným systémem

Komunikace s nadřazeným systémem probíhá pomocí sériové linky RS485. Tato sériová linka je galvanicky oddělena pomocí integrovaného obvodu ADM2484EBRWZ. Tento integrovaný obvod zajišťuje izolační pevnost 5 kV_{RMS} a maximální rychlost komunikace 500 kb/s . Napájení integrovaného obvodu ADM2484EBRWZ na svorce VDD1 je v rozmezí 3 V až $5,5\text{ V}$ a na svorce VDD2 je v rozmezí 3 V až $3,6\text{ V}$. K napájení výstupní strany byl použit externí zdroj napětí RK-123.3S/H6 s výstupem $3,3\text{ V}$ a proudem 303 mA . Schéma zapojení integrovaného obvodu ADM2484EBRWZ je na Obrázek 15. [18]

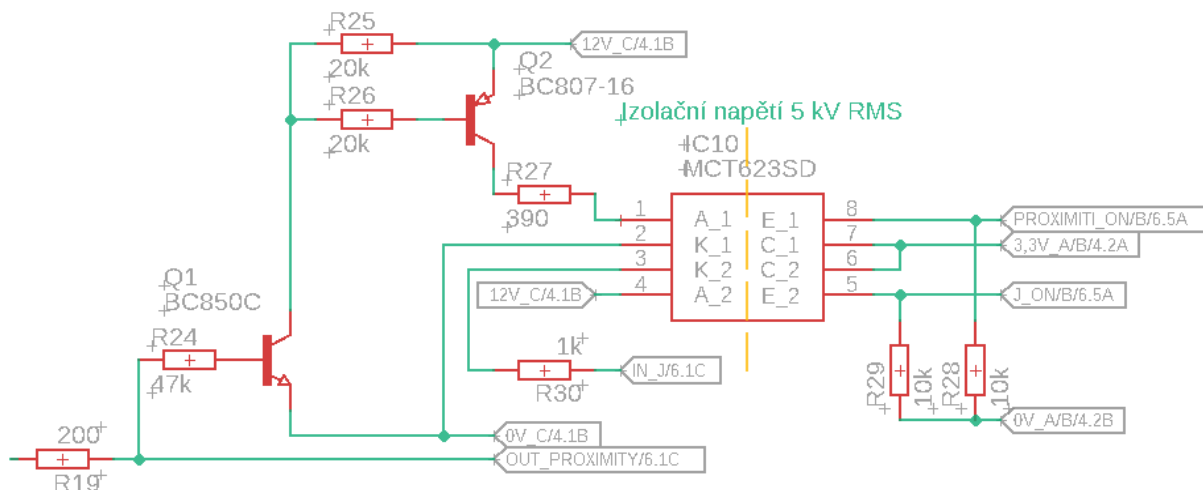


Obrázek 15 Schéma zapojení ADM2484EBRWZ pro galvanické oddělení RS485

5.6 Detekce připojeného vozidla

Rezistor R19 představuje rezistor R1 z Obrázek 4. Na rezistoru R19 je napětí v rozmezí 3 V až 7 V při připojení vozidla. Při odpojení vozidla je na rezistoru napětí nulové. Z důvodu velkého rozmezí snímaných hodnot a pro nejmenší ovlivnění stávajícího obvodu byly použity tranzistory PNP a NPN. Proud rezistorem R24 byl v rozmezí $49\text{ }\mu\text{A}$ až $134\text{ }\mu\text{A}$. Tento proud je z hlediska výrobní tolerance rezistoru R19 pro zařízení zcela zanedbatelný. Tímto proudem byl ovládán tranzistor Q1 se zesílením 520. Pro 100% spolehlivost detekce a velký úbytek napětí na tranzistoru Q1 byl přidán tranzistor Q2, který mohl pracovat ve spínaném režimu. Schéma zapojení je na Obrázek 16.

Galvanické oddělení zajistil dvojitý optočlen MCT623SD s izolačním napětím 5 kV_{RMS} . Jeden kanál byl použit pro detekci připojeného vozidla a druhý jako optočlen „j“. Výstup optočlenu byl zapojen přes srážecí odpor $10\text{ k}\Omega$.



Obrázek 16 Schéma zapojení pro detekci připojeného vozidla.

5.7 Galvanické oddělení od zbytku soustavy

Celý subsystém je navržen tak, že žádná část systému není galvanicky spojena s jinou. Minimální izolační pevnost je 3 kV_{RMS}. Z důvodu zajištění minimální izolační pevnosti 3 kV_{RMS} byla všechna relé ovládána pomocí optočlenů. Díky této skutečnosti může zařízení pracovat s různými zařízeními připojenými do různých napěťových hladin.

5.8 Rozšířené možnosti subsystému

Subsystém byl rozšířen o následující možnosti oproti standartnímu subsystému.

5.8.1 Světelná indikace sepnutých relé

Pro identifikaci sepnutých relé byly použity zelené LED diody zapojené do série s rezistorem 300 Ω a Zenerovou diodou s Zenerovým napětí 7,5 V. Toto zapojení bylo použito pro jednotlivé kontakty relé. Zenerovy diody byly použity z důvodu zamezení bludných proudů přes zařízení elektromobilu. Tento bludný proud začíná na zdroji 12 V, prochází přes LED diodu indikující sepnuté relé D2, dále přes cívku stykače elektromobilu, dále přes LED diodu indikující sepnuté relé D1 a končí zpět ve zdroji.

5.8.2 Možnost automatického odpojení elektromobilu

Subsystém byl rozšířen o možnost odpojení elektromobilu pomocí relé, kdy se přeruší vodič CS. Při přerušení vodiče CS od nulové svorky dojde k detekci připojeného elektromobilu, tento jev je způsoben LED diodou indikující sepnuté relé.

5.8.3 Soft start

Zařízení bylo rozšířeno o soft start, z důvodu vyrovnaní napěťových hladin mezi měničem a elektromobilem. Soft start se používá při každém připojení napětí, tj. při zkoušce izolačního stavu a nabíjení elektromobilu. Do hlavního nabíjecího vedení je zařazen odpor, který slouží k omezení proudové špičky. Při napětí menší než 10 V na rezistoru, se rezistor překlene pomocí stykače. Proudové špičky vznikají z důvodu velké kapacity na výstupu měniče.

Soft start se ovládá pomocí relé K5 1721081-5, maximální proud kontakty je 3 A při napětí 250 V. Galvanické oddělení od mikrokontroleru zajišťuje optočlen FOD817A3SD s izolační schopností 5 kV_{RMS}.

5.8.4 Měření proudu cívky stykače elektromobilu

K měření proudu cívky stykače elektromobilu byl použit převodník proudu na napětí s galvanickým oddělením a izolační pevností 3 kV_{RMS} TMCS1101. Převodník je tvořen halovou sondou a operačním zesilovačem viz Obrázek 14 vlevo. Pod označením se skrývají 4 typy převodníků proudu na napětí. Každý převodník má jiné rozlišení. Byl vybrán typ TMCS1101A4U/B s největším rozlišením a to 400 mV/A. Napájení převodníku bylo 3,3 V. Výrobce udává napájecí rozsah od 3 V do 5,5 V. Výstupní napětí při nulovém proudu je polovina napájecího napětí. Rozsah měřeného proudu je $\pm 4,125$ A. [17]

K výstupu integrovaného obvodu TMCS1101A4U/B je připojen na analogový vstup mikrokontroleru. Analogové vstupy mikrokontroleru jsou vzorkovány 12 bity.

5.9 Mikrokontroler

5.9.1 Výběr mikrokontroleru

Mikrokontroler byl vybírán podle následujících požadavků, musel mít konektivitu s CAN (pro samotnou komunikaci s elektromobilem), dvakrát vstup pro sériové rozhraní RS485 (jeden pro řízení měniče, druhý pro komunikaci s nadřazeným systémem), komunikační rozhraní SPI (pro komunikaci s AD převodníkem proudu a napětí), minimálně dva analogové a digitální vstupy, a deset digitálních výstupů.

Pro řízení subsystému byl vybrán procesor STM32F103RDT6.

5.9.2 Zapojení mikrokontroleru

Schéma zapojení mikrokontroleru bylo využito základní, tj. blokovací kondenzátory na napájení, dva externí krystaly spolu s kondenzátory pro zajištění stabilní frekvence a zapojení pro nahrání programu pomocí rozhraní ST-Link.

6 Realizace navrženého zařízení

6.1 Výroba plošného spoje

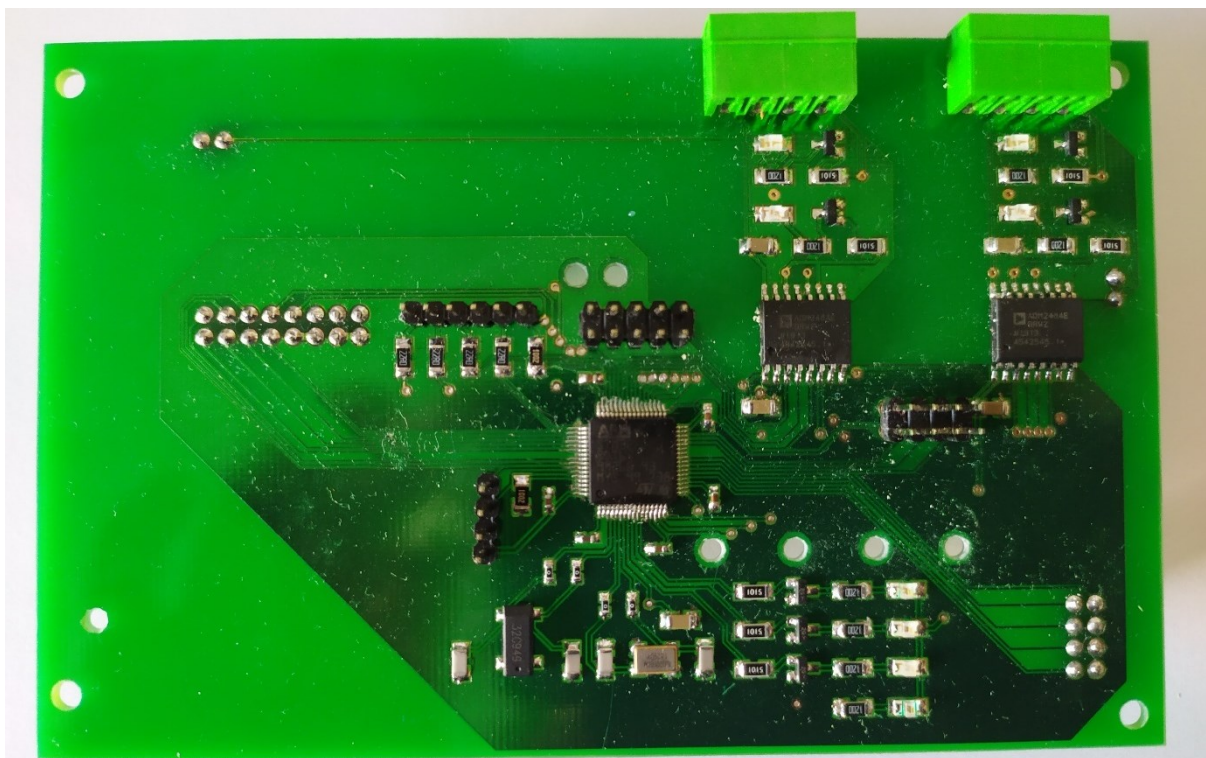
Výrobu plošného spoje zajistila firma PRINTED s.r.o. dle projektové dokumentace. Návrh plošného spoje byl proveden v programu EAGLE 9.6.2 s licencí education. Bylo zapotřebí vyrobit celkem 3 desky plošných spojů ve dvou vrstvách. Nejmenší šířka vodiče byla 0,254 mm. Izolační vzdálenost byla nastavena na 0,2032 mm. Průměr prokovu byl zvolen 0,6096 mm.

6.2 Popis osazování

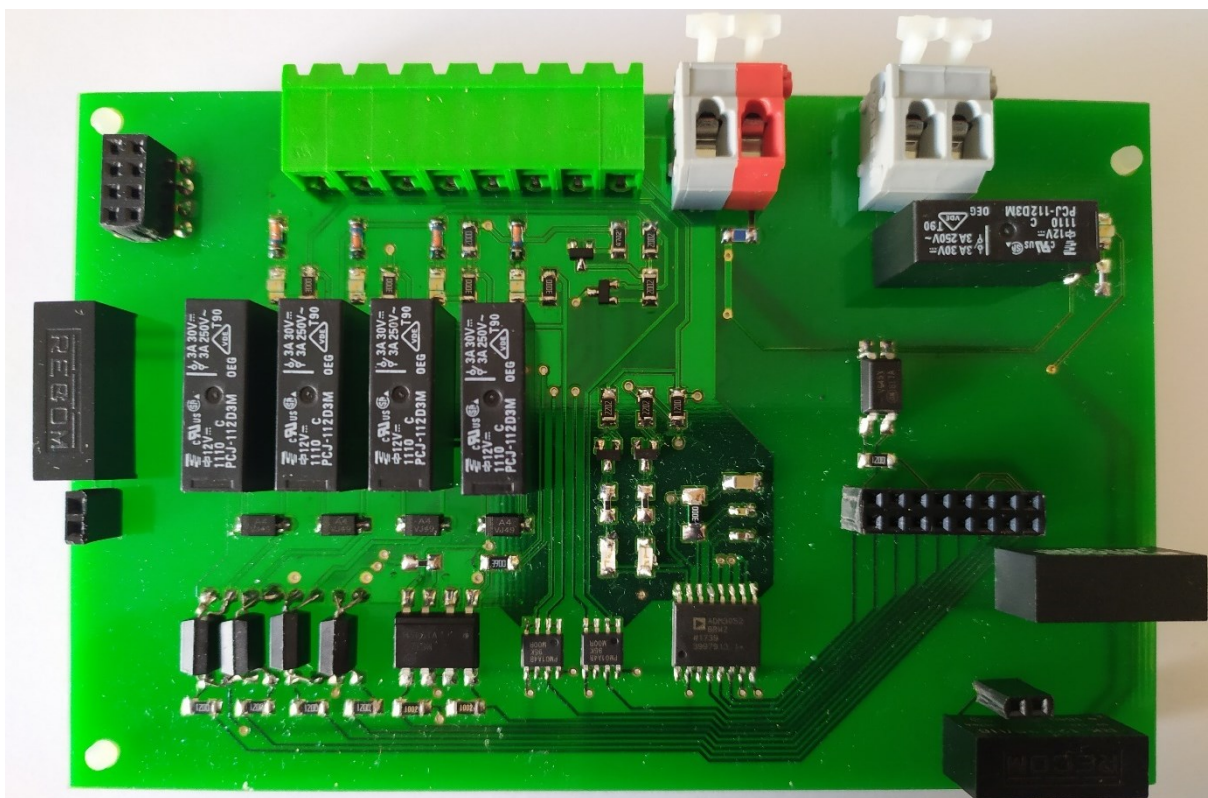
Osazení plošného spoje bylo provedeno za pomoci pájecí stanice ZD-99 a horkovzdušné stanice 852, odsávacího lanka o velikosti 1,5mm, cínové pájky SN60/PB40 o průměru 1 mm, FUTURE HF REWORK JELLY, KONTAKT PCC a izopropylalkoholu. Horkovzdušná stanice 852 byla využita pouze pro osazení mikrokontroleru STM32F103RDT6.

Desky plošných spojů byly očištěny pomocí izopropylalkoholu. Osazení součástek bylo v pořadí od nejnižší po nejvyšší. Osazování probíhalo tak, že se nejprve nanese pájka na jednu pájecí plošku, poté se připájel jeden pin součástky a následně se zapájel zbytek pinů. Následně se odsál cín za použití odsávacího lanka a FUTURE HF REWORK JELLY. Poté co byly zapájeny všechny SMD součástky na desce plošných spojů byla deska očištěna za pomoci čistícího spreje KONTAKT PCC se štětečkem.

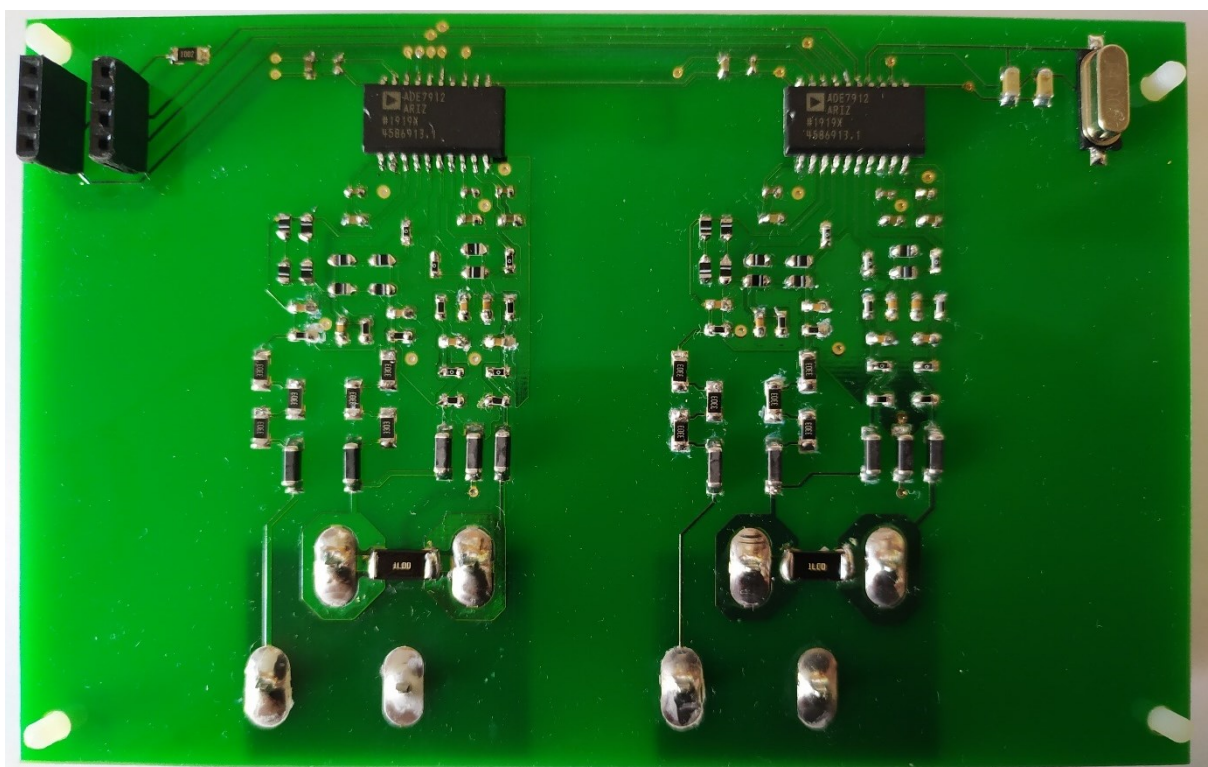
Osazené desky jsou na Obrázek 17, Obrázek 18 a Obrázek 19.



Obrázek 17 Osazená deska plošných spojů A



Obrázek 18 Osazená deska plošných spojů B



Obrázek 19 Osazená deska plošných spojů C

6.3 Ukázky kódů programu mikrokontroleru

Mikrokontroler byl programován ve vývojovém prostředí STM32CubeIDE 1.3.0 v jazyce C s využitím HAL funkcí.

Program v mikrokontroleru vycházel z Diagram přechodových stavů při nabíjecím procesu , který je vyobrazen na Obrázek 6. Měření na AD převodníku ADE7912 probíhalo jednou za milisekundu, stejně jako kontrola měření proudu zámkem konektoru, měření proudu cívky stykače elektromobilu, hlídání připojeného vozidla a vyhodnocení naměřených hodnot.

6.3.1 Popis stavového automatu

Přepínání mezi jednotlivými funkcemi ve switchi řeší samotné funkce.

```
switch (krok_programu) {
case 'DC A':
    if (HAL_GPIO_ReadPin(PROXIMITI_GPIO_Port, PROXIMITI_ON_Pin) == 1) {
        krok_programu = 'DC B';
    }
    break;
case 'DC B1':
    if (Start_nabijeni == 1) {
        HAL_GPIO_WritePin(D1_GPIO_Port, D1_Pin, SET);
        krok_programu = 'DC B';
    }
    break;
case 'DC B2':
    start_CAN = 1;
    if (error_CAN == 1) {
        HAL_GPIO_WritePin(D1_GPIO_Port, D1_Pin, RESET);
        krok_programu = 'DC E';
    }
    kontrola_kompatibility_baterie;
    kontrola_napeti0();
    break;
case 'DC B3':
    if ((HAL_GPIO_ReadPin(GPIOB, J_ON_Pin) == 1)) {
        izolacni_zkouska();
    }
    break;
case 'DC C':
    HAL_GPIO_WritePin(D2_GPIO_Port, D2_Pin, SET);
    prenos_energie();
    break;
case 'DC B11':
    prenos_energie_konec0();
    break;
case 'DC B22':
    prenos_energie_konec1();
    break;
case 'DC B33':
    prenos_energie_konec2();
    break;
case 'DC B44':
    prenos_energie_konec3();
    break;
```



```

case 'DC E':
    chyba_e();
    break;
case 'DC F':
    chyba_f();
    break;
default:
    break;
}

```

6.3.2 Příklad komunikace CAN

Tato funkce se volala každých 100 ms.

```

void TxData_H108(void) {
    CHARGE_Max_output_V_byte0 = (((uint16_t) CHARGE_Max_output_V) >> 8);
    CHARGE_Max_output_V_byte1 = (((uint16_t) CHARGE_Max_output_V));

    CHARGE_Treshold_V_byte0 = (((uint16_t) CHARGE_Treshold_V) >> 8);
    CHARGE_Treshold_V_byte1 = (((uint16_t) CHARGE_Treshold_V));

    TxHeader.StdId = 0x108;
    TxData[0] = CHARGE_Contaktor_welding_support;
    TxData[1] = CHARGE_Max_output_V_byte0;
    TxData[2] = CHARGE_Max_output_V_byte1;
    TxData[3] = CHARGE_Max_output_A;
    TxData[4] = CHARGE_Treshold_V_byte0;
    TxData[5] = CHARGE_Treshold_V_byte1;
    TxData[6] = 0x00;
    TxData[7] = 0x00;

    /*Zapis na linku CANu*/
    if (HAL_CAN_AddTxMessage(&CanHandle, &TxHeader, TxData, &TxMailbox)
        != HAL_CAN_STATE_READY) {
        /* Transmission request Error */
        Error_Handler();
        error_CAN = 1;
    }
}

```

6.4 Poznatky pro vylepšení návrhu desky plošných spojů

Pro opětovnou výrobu by bylo dobré upravit rozteč montážních otvorů. Zaměnit svorkovnice WAGO s vertikálním připojením vodičů za násuvné svorkovnice, z důvodu špatné přístupnosti. Přemístit propojovací svorky C/B o 2,54 mm tak, aby byli v zákrytu při vrstvení jednotlivých modulů na sebe. Zaměnit čtyř kanálový optočlen ILQ55-X009T se schématickým označením IC6 za jiný běžně dostupný čtyř kanálový optočlen s minimální izolační pevností 3 kV_{RMS}.

7 Experimentální ověření

Experimentální testování subsystému proběhlo nejprve v laboratoři a poté s připojeným elektromobilem Nissan LEAF.

7.1 Průběh oživení subsystému

Po připojení napětí byl nahrán do mikrokontroleru program, pomocí kterého byly otestovány vstupy a výstupy mikrokontroleru. Bylo otestováno spínání připojených relé, funkčnost detekce připojeného vozidla, detekce sepnutého optočlenu j, správné vyhodnocení měření proudu převodníky proudu na napětí TMCS1101. Poté byla testována komunikace elektromobilem (CAN komunikace) a AD převodníkem ADE7912 (SPI komunikace). Po otestování komunikace s AD převodníky ADE7912 proběhla zkouška měření proudu pomocí připojeného zdroje napětí s nastavitelnou proudovou limitací, testování napětí bylo dvojí, nejprve s DC laboratorním zdrojem do 30 V a poté s autotransformátorem a čtyřcestným usměrňovačem se stabilizačními kondenzátory.

7.2 Testování subsystému

Testování subsystému bylo provedeno na elektromobilu Nissan LEAF bez připojené zátěže. Testování bylo provedeno v šesti fázích z důvodu otestování jednotlivých kroků nabíjení.

V první fázi testování byl odpojen od subsystému nadřazený systém. Po připojení napájení subsystému se rozblíkala červená LED dioda, která signalizuje subsystém v chybě.

V druhé fázi testování byl odpojen od subsystému měnič a připojen nadřazený systém. Po připojení napájení subsystému. Subsystém navázal komunikaci s nadřazeným systémem. Následně se rozblíkala červená LED dioda, která signalizuje subsystém v chybě a byla odeslána chybová hláška chyba komunikace s měničem.

Ve třetí fázi testování byl odpojen elektromobil a byl připojen k subsystému nadřazený systém a měnič. Po připojení napájení subsystému. Subsystém navázal komunikaci s nadřazeným systémem a měničem. Rozblíkala se zelená LED dioda, která signalizuje připravený subsystém k nabíjení a byla odeslána informace o nepřipojeném elektromobilu. Nadřazený systém odeslal požadavek na zahájení nabíjení. Subsystém tento požadavek odmítl a odeslal hlášku zamítnutí nabíjení.

Ve čtvrté fázi testování byl připojen k subsystému nadřazený systém a měnič, následně byl připojen elektromobil. Po připojení napájení subsystému. Subsystém navázal komunikaci s nadřazeným systémem a měničem. Rozblíkala se zelená LED dioda, která signalizuje připravený subsystém k nabíjení a byla odeslána informace o nepřipojeném elektromobilu. Po připojení elektromobilu byla odeslána informace o připojeném elektromobilu. Byla navázána komunikace s elektromobilem a následně odeslána informace o možnosti zahájení nabíjení. Nadřazený systém odeslal požadavek na zahájení nabíjení. Subsystém tento požadavek přijal rozsvítil zelenou LED diodu a zahájil izolační test. Po ukončení izolačního testu byla předána informace o úspěšnosti testu a bylo zahájeno nabíjení, dle požadavků elektromobilu. Nabíjení bylo nečekaně ukončeno ze strany subsystému, protože nebyla připojena k měniči zátěž – baterie elektromobilu. Subsystém správně vyhodnotil nedosažení požadovaného proudu. Následně se rozblíkala červená LED dioda, která signalizuje subsystém v chybě a byla odeslána chybová hláška chyba požadovaného proudu. Po odpojení elektromobilu se rozblíkala

zelená LED dioda, která signalizuje připravený subsystém k nabíjení a byla odeslána informace o nepřipojeném elektromobilu.

V páté fázi testování byl připojen nadřazený systém a měnič, následně byl připojen elektromobil. Po připojení napájení subsystému. Subsystém navázal komunikaci s nadřazeným systémem a měničem. Rozblikala se zelená LED dioda, která signalizuje připravený subsystém k nabíjení a byla odeslána informace o nepřipojeném elektromobilu. Po připojení elektromobilu byla odeslána informace o připojeném elektromobilu. Byla navázána komunikace s elektromobilem a následně odeslána informace o možnosti zahájení nabíjení. Nadřazený systém odeslal požadavek na zahájení vybíjení elektromobilu. Subsystém tento požadavek přijal rozsvítil zelenou LED diodu a zahájil izolační test. Po ukončení izolačního testu byla předána informace o úspěšnosti testu a bylo zahájeno vybíjení. Vybíjení bylo nečekaně ukončeno ze strany elektromobilu, protože nebyla připojena k měniči zátěž – baterie elektromobilu (byl přijat stavový příznak chyba nabíjecího systému (H'102.5(2))). Elektromobil správně vyhodnotil chybu nabíjení baterie. Následně se rozblikala žlutá LED dioda, která signalizuje chybu nabíjecího systému (H'102.5(2)) a byla odeslána chybová hláška chyba nabíjecího systému. Následně zhasla zelená LED dioda, která signalizuje žádost o odpojení elektromobilu a odeslána žádost o odpojení konektoru elektromobilu. Odpojení konektoru elektromobilu bylo provedeno na základě požadavku nadřazeného systému pomocí impulsu relé, které přeruší vodič CS. Následně se rozblikala zelená LED dioda, která signalizuje připravený subsystém k nabíjení a byla odeslána informace o připojeném elektromobilu.

V šesté fázi testování byl připojen nadřazený systém a měnič, následně byl připojen elektromobil. Po připojení napájení subsystému. Subsystém navázal komunikaci s nadřazeným systémem a měničem. Rozblikala se zelená LED dioda, která signalizuje připravený subsystém k nabíjení a byla odeslána informace o nepřipojeném elektromobilu. Po připojení elektromobilu byla odeslána informace o připojeném elektromobilu. Byla navázána komunikace s elektromobilem a následně odeslána informace o možnosti zahájení nabíjení. Nadřazený systém odeslal požadavek na zahájení nabíjení. Subsystém tento požadavek přijal rozsvítil zelenou LED diodu a zahájil izolační test. Po ukončení izolačního testu byla předána informace o úspěšnosti testu a bylo zahájeno nabíjení, dle požadavků elektromobilu. Nabíjení bylo ukončeno nadřazeným systémem. Bylo zahájeno ukončení nabíjení a odeslána informace o konci nabíjení. Následně zhasla zelená LED dioda, která signalizuje žádost o odpojení elektromobilu a odeslána informace o odpojení konektoru elektromobilu. Po odpojení elektromobilu se rozblikala zelená LED dioda, která signalizuje připravený subsystém k nabíjení a byla odeslána informace o nepřipojeném elektromobilu.

8 Závěr

Experimentální ověření bylo provedeno na elektromobilu Nissan LEAF v šesti fázích. Těchto šest fází úspěšně otestovaly reakce subsystému na nekorektní zapojení a požadavky na subsystém, jako je například nezapojený měnič, nezapojený nadřazený systém, nebo nepřipojený elektromobil a požadavek na zahájení nabíjení. Také byla provedena zkouška komunikace při nabíjení a vybíjení elektromobilu.

Nadřazený systém může představovat jakékoliv zařízení, které komunikuje po sériové lince RS485 a podporuje komunikační protokol Modbus RTU jako je například PLC, Raspberry Pi, nebo počítač s kartou pro sériovou komunikaci. Po použití převodníku RS485 na ethernet, nebo WiFi můžeme subsystém ovládat přes internetový prohlížeč.

Navržený subsystém je možné rozšířit o zařízení komunikující po sběrnici I²C. Například display, který by mohl zobrazovat aktuální hodnoty, nebo právě aktivní cyklus atd. Další možností komunikačního rozšíření je SPI, RS485, nebo RS232. Tyto komunikační sběrnice nebyly galvanicky odděleny od mikrokontroleru. Byly pouze vyvedeny na kolíkové lišty s roztečí 2,54 mm z důvodu možnosti budoucího využití jako digitální vstupy nebo výstupy.

Citovaná literatura

- [1] E.ON ENERGY GLOBE. *Jak e-mobilita ovlivní distribuční síť?* [Online] [Citace: 19. 5 2020.] Dostupné z: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/mrakodrapy-budoucnosti-se-stavi-ze-dreva-nejvyssi-by-mel-vyrust-v-londyne>.
- [2] Skupina ČEZ. *Jaderná elektrárna Dukovany*. [Online] [Citace: 19. 5 2020.] Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/edu>.
- [3] NISSAN. *NISSAN LEAF TECHNICKÁ DATA*. [Online] Dostupné z: https://www-europe.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/cz/brochures/Techdata/Nissan_LEAF_Tech_data_CZ.pdf.
- [4] NISSAN GLOBAL. *Contributing to Realization of Smart Grids*. [Online] [Citace: 19. 5 2020.] Dostupné z: <https://www.nissan-global.com/EN/ZEROEMISSION/APPROACH/COMPREHENSIVE/ECOSYSTEM/>.
- [5] PHOENIX CONTACT. *Režimy nabíjení*. [Online] [Citace: 18. 5 2020.] Dostupné z: https://www.phoenixcontact.com/online/portal/cz?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/czcs/web/main/solutions/subcategory_pages/E_Mobility_charging_methods_charging_modes/a2fad0f3-f69e-442d-af9a-2f81eab201ea.
- [6] CIRCONTROL. *REŽIMY NABÍJENÍ*. [Online] [Citace: 22. 5 2020.] Dostupné z: <https://www.circontrol.cz/technicke-informace/>.
- [7] CHAdEMO. *ASSOCIATION & PROTOCOL*. [Online] [Citace: 24. 5 2020.] Dostupné z: https://www.chademo.com/wp2016/wp-content/uploads/2019/05/2019%20CHAdEMO_Brochure_web.pdf.
- [8] E.ON ENERGY GLOBE. *Průvodce možnostmi nabíjení elektromobilu*. [Online] [Citace: 5. 23 2020.] Dostupné z: <https://www.energyglobe.cz/temata-a-novinky/jak-moc-se-snízuje-dojezd-elektromobilu-v-zime-a-jak-se-da-prodloužit>.
- [9] Horčík, Jan. *HYBRID.CZ. V Evropě se objevují první nabíječky 350 kW CCS Combo*. [Online] 14. 3 2017. [Citace: 24. 5 2020.] Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/v-evrope-se-objevuji-prvni-nabijecky-350-kw-ccs-combo>.
- [10] EVMAPA.cz. *EVMAPA*. [Online] [Citace: 20. 5 2020.] Dostupné z: <https://www.evmapa.cz/stanice>.
- [11] ČSN EN 61851-23: *Nabíjení elektromobilů vodivým propojením - Část 23: Stejnosměrná nabíjecí stanice elektromobilů*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [12] 030.1.1-2015 - *IEEE Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles*. New York, USA : IEEE , 2016. ISBN 0-7381-9999-0. DOI: 10.1109/IEEESTD.2016.7400449.

[13] ČSN EN 61851-24: *Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením - Část 24: Digitální komunikace mezi DC nabíjecí stanicí a elektrickým vozidlem, která řídí stejnosměrné nabíjení*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

[14] Data Sheet ADE7912/ADE7913. IN: *ANALOG DEVICES*. [Online] [Citace: 12. 7 2020.] Dostupné z: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ade7912_7913.pdf.

[15] Data Sheet ADM3052. IN: *ANALOG DEVICES*. [Online] [Citace: 12. 7 2020.] Dostupné z: <https://cz.mouser.com/datasheet/2/609/ADM3052-1503176.pdf>.

[16] isoEV425+AGH420, - Hlídač izolačního stavu. [Online] [Citace: 12. 7 2020.] Dostupné z: <https://www.ghvtrading.cz/elektricka-bezpecnost/isometer/isoev425-agh420.html>

[17] TMCS11011.5% Precision, Basic IsolationHall-EffectCurrentSensorWith ± 600 -VWorkingVoltage. IN: *TEXAS INSTRUMENTS*. [Online] [Citace: 12. 7 2020.] Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tmcs1101.pdf?ts=1594674508752&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMCS1101.

[18] Data Sheet ADM2484E. IN: *ANALOG DEVICES*. [Online] [Citace: 12. 7 2020.] Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adm2484e.pdf>.

Seznam příloh

Příloha A: 2020_MLA0015_BP.zip