



Realizace řídicí jednotky dobíjecí stanice pro elektrovozidla

Diplomová práce

Studijní program:

N2612 Elektrotechnika a informatika

Studijní obor:

Mechatronika

Autor práce:

Bc. Miroslav Eichler

Vedoucí práce:

Ing. Petr Bílek, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Konzultant práce:

Ing. Pavel Jandura, Ph.D.

Ústav mechatroniky a technické informatiky





Zadání diplomové práce

Realizace řídicí jednotky dobíjecí stanice pro elektrovozidla

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav Eichler**
Osobní číslo: M18000162
Studijní program: N2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Mechatronika
Zadávací katedra: Ústav mechatroniky a technické informatiky
Akademický rok: **2019/2020**

Zásady pro vypracování:

1. Sestavené a ověřené jádro zařízení v semestrálním projektu dopracujte do úplného schématu (volba dalších komponent, blokové schéma, vývojový diagram).
2. Zvolte algoritmus pro distribuci omezeného dobíjecího proudu dalším dobíjecím stanicím v lokalitě (např. v rámci parkoviště) a implementujte do vyvinuté nadřazené řídicí jednotky. Zvolte vhodný typ datové komunikace mezi dobíjecími stanicemi.
3. Sestavte hardware podle schématu a oživte celé zařízení s příslušným firmware.
4. Upravte komerční skříňku pro zabudování zařízení.
5. Otestujte zařízení v simulovaných podmínkách celého parkoviště a více dobíjených elektrovozidel a zhodnoťte dosažené parametry.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace
40–50 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] EMADI, Ali, ed. *Advanced electric drive vehicles*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. Energy, power electronics, and machines. ISBN 978-1-138-07285-5.
- [2] VELECHOVSKÝ, Ondřej. *Návrh silové části veřejné dobíjecí stanice pro elektromobily*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. 40 s.
- [3] MA, Zhongjing. *Decentralized Charging Coordination of Large-scale Plug-in Electric Vehicles in Power Systems*. Springer; 1st ed. 2020 edition (April 13, 2019). 238 s. ISBN: 978-9811376511.
- [4] Datasheety vybraných obvodů.

Vedoucí práce:

Ing. Petr Bílek, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Konzultant práce:

Ing. Pavel Jandura, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce:

10. října 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

18. května 2020

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, 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 nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

2. června 2020

Bc. Miroslav Eichler

Abstrakt

Náplní diplomové práce byl vývoj řídicí jednotky dobíjecí stanice pro elektrovozidla. Nejprve byla dobíjecí stanice sestavena ze silových komponent a nabíjecího modulu, které zajišťují funkci nabíjení. Poté byla navržena nadřazená řídicí jednotka, která komunikuje s nabíjecími moduly přes rozhraní RS485 a pomocí vytvořeného algoritmu umožňuje ovládání stanice, výběr nabíjecího proudu a jeho inteligentní rozdělování mezi více podružných stanic. Konektivitu dobíjecí stanice obstarává GSM/GPRS, Ethernet a RFID čtečka karet. Uživatelské rozhraní zajišťuje klávesnice a LCD displej. Řídicí jednotka byla realizována na DPS a společně se silovými komponentami a nabíjecím modulem byla vestavěna do nástěnné skříňky. Vznikla tak nabíjecí stanice opatřená nadřazenou řídicí jednotkou, která byla úspěšně otestována na elektromobilu.

Klíčová slova:

EVSE, Wallbox, dobíjecí stanice, elektromobilita

Abstract

The content of the master thesis was the development of a control unit for a charging station for electric cars. The charging station was first assembled from power components and a charging module, which provide the charging function. Then a master control unit was designed to communicate with the charging modules via the RS485 interface. Using the created algorithm, it allows control of the station, selection of charging current and its intelligent distribution to several slave stations. The connectivity of the charging station is provided by a GSM/GPRS, Ethernet and RFID card reader. The user interface is provided by a keyboard and LCD display. The control unit was implemented on a PCB and together with the power components and the charging module was built into the wall box. This created a charging station equipped with a superior control unit, which was successfully tested on an electric car.

Keywords:

EVSE, Wallbox, charging station, electro mobility

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce, panu Ing. Petru Bílkovi, Ph.D., za zapůjčené komponenty, cenné informace a rady, které byly poskytnuty v rámci konzultací a především za ochotu a vstřícnost, kterou mi v průběhu zpracování diplomové práce věnoval. Dále bych rád poděkoval panu Lukáši Kettnerovi za financování projektu a Ing. Ondřeji Machovi za pomoc při návrhu plošného spoje. Poděkování patří také rodině za podporu při studiích.

Tato práce byla podpořena Studentskou grantovou soutěží
Technické univerzity v Liberci v rámci projektu č. SGS-2020-3042.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Seznam obrázků | 10 |
| Seznam tabulek | 11 |
| Seznam zkratk | 12 |
| Předmluva | 13 |
| Úvod | 14 |
| 1 Nabíjecí stanice pro elektrovozidla | 15 |
| 1.1 Rozdělení režimů nabíjení | 16 |
| 1.2 Komunikace s elektromobilem | 17 |
| 1.3 Doplnkové funkce Wallboxu | 20 |
| 2 Stávající stav nabíjecích stanic | 21 |
| 2.1 Schneider Electric | 21 |
| 2.1.1 Řízení energie nabíjecích stanic | 21 |
| 2.2 Stegen Electronics | 24 |
| 2.3 Cenové přiblížení stávajícího řešení | 24 |
| 3 Realizace nabíjecí stanice | 26 |
| 3.1 Výběr silové a řídicí elektroniky | 26 |
| 3.2 Popis klíčových komponent | 27 |
| 3.3 Rozšíření nabíjecí stanice o doplňkové funkce | 28 |
| 3.3.1 Popis doplňkových funkcí | 29 |
| 3.3.2 Obsluha více nabíjecích stanic | 31 |
| 3.4 Návrh DPS | 34 |
| 3.5 Popis schématu | 37 |
| 4 Popis programové části | 44 |
| 4.1 Procesy na pozadí | 44 |
| 4.2 Uživatelské prostředí | 45 |
| 4.3 Editace uživatelů | 46 |
| 4.4 Dynamické rozdělování dobíjecího proudu | 48 |
| 4.4.1 Běžný uživatel | 48 |
| 4.4.2 Prioritní uživatel | 49 |

| | |
|---|-----------|
| 5 Zástavba a testování | 51 |
| 5.1 Zástavba zařízení do nástěnné skříňky | 52 |
| 5.2 Testování | 54 |
| 6 Zhodnocení výsledků | 59 |
| 6.1 Možnosti dalšího vývoje | 59 |
| 6.2 Dosažené výsledky | 60 |
| 6.3 Cenová kalkulace | 60 |
| 7 Závěr | 62 |
| Literatura | 64 |
| Přílohy | 65 |
| A Obsah přiloženého CD | 65 |
| B Schéma nadřazené řídicí jednotky | 66 |

Seznam obrázků

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Rozdělení stupňů ochrany nabíjení elektromobilu | 16 |
| 1.2 | Schéma generátoru signálu EVSE (vlevo) a komunikační části ve vozidle (vpravo)[12] | 18 |
| 1.3 | Statusy nabíjení generované pinem CP[11] | 18 |
| 1.4 | Připojení komunikačních a napájecích vodičů mezi EVSE a nabíjecím kabelem[8] | 19 |
| 2.1 | Nabídka Wallboxů od společnosti Schneider Electric[6] | 22 |
| 2.2 | Struktura řízení výkonu s dynamickou žádanou hodnotou s EVlink LMS[6] | 22 |
| 2.3 | Topologie Wallboxů a řídicí jednotky EVlink LMS[6] | 23 |
| 2.4 | Smart EVSE (vlevo), Sensorbox (uprostřed) a proudový transformátor (vpravo)[10] | 24 |
| 3.1 | Blokové schéma klíčových komponent Wallboxu | 26 |
| 3.2 | Schéma zapojení EVSE Wallbox k distribuční síti[8] | 27 |
| 3.3 | Klíčové komponenty dobíjecí stanice | 28 |
| 3.4 | Blokové schéma nabíjecí stanice rozšířené o doplňkové funkce (Master stanice) | 31 |
| 3.5 | Obsluha více dobíjecích stanic z jedné nadřazené řídicí jednotky | 32 |
| 3.6 | Blokové schéma nabíjecí stanice složené z klíčových komponent doplněných o elektroměr (Slave stanice) | 32 |
| 3.7 | Návrh na nepájivém poli založený na vývojovém kitu Arduino Mega | 34 |
| 3.8 | Osazená DPS | 35 |
| 3.9 | Návrh plošného spoje v softwaru EAGLE ve vrstvě top (nahore) a bottom (dole) | 36 |
| 3.10 | Schéma napájecího napětí 5 V a 3,3 V | 37 |
| 3.11 | Schéma GSM/GPRS modulu se stabilizátorem | 38 |
| 3.12 | Schéma Ethernet modulu | 39 |
| 3.13 | Schéma izolovaného převodníku z RS485 na TTL | 40 |
| 3.14 | Schéma modulu SD karty[16] | 41 |
| 3.15 | Schéma modulu reálného času | 41 |
| 3.16 | Schéma galvanicky oddělených vstupů | 42 |
| 3.17 | Schéma ošetření vstupů z klávesnice | 43 |
| 3.18 | Schéma zapojení programovacího konektoru | 43 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.1 | Vývojový diagram programu | 44 |
| 4.2 | Vizualizace volby proudu na LCD | 45 |
| 4.3 | Vizualizace průběhu nabíjení na LCD | 46 |
| 4.4 | Editace uživatele pomocí SMS | 47 |
| 4.5 | Ukázka textového souboru s uživateli | 47 |
| 4.6 | Omezení proudu pro běžné uživatele se zachováním proudu pro prioritního uživatele | 49 |
| 4.7 | Vývojový diagram proudového omezení | 50 |
| 5.1 | Master nabíjecí stanice v nástěnné skříňce | 51 |
| 5.2 | Nadřazená řídicí jednotka v šestimodulové přístrojové krabici | 52 |
| 5.3 | Komponenty uvnitř Master nabíjecí stanice | 53 |
| 5.4 | Master stanice se simulovanou Slave stanicí | 54 |
| 5.5 | Testovací elektromobil Škoda Citigo iV | 55 |
| 5.6 | Průběh signálu na osciloskopu odpovídající proudu 16 A (vlevo), okamžitý příkon měřený elektroměrem (vpravo nahoře) a údaj o zbývajícím čase nabíjení z přístrojové desky vozidla (vpravo dole) | 55 |
| 5.7 | Průběh signálu na osciloskopu odpovídající proudu 6 A (vlevo), okamžitý příkon měřený elektroměrem (vpravo nahoře) a údaj o zbývajícím čase nabíjení z přístrojové desky vozidla (vpravo dole) | 56 |
| 5.8 | Průběh signálu na osciloskopu odpovídající proudu 10 A (vlevo), okamžitý příkon měřený elektroměrem (vpravo nahoře) a údaj o zbývajícím čase nabíjení z přístrojové desky vozidla (vpravo dole) | 57 |
| 5.9 | Zaslané SMS uživateli (vlevo) a hrubá data z databáze Google Docs (hodnota 0 signalizuje nepřipojený elektroměr na Slave stanicí) (vpravo) | 58 |
| 5.10 | Informace o nabíjení vykreslené do grafů | 58 |

Seznam tabulek

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Orientační doba nabíjení baterie o kapacitě 36,8 kWh pro režim AC i DC [13] | 15 |
| 1.2 | Závislost střídavy PWM signálu na velikosti proudu | 17 |
| 2.1 | Cenová kalkulace od firmy Schneider Electric | 25 |
| 2.2 | Cenová kalkulace od firmy Stegen Electronics | 25 |
| 5.1 | Pořadí obsazení obou nabíjecích stanic jednotlivými uživateli s příslušnými nabíjecími proudy a střídou PWM signálu nabíjeného vozidla, aktuálním příkonem a časem do konce nabíjení | 57 |
| 6.1 | Odhad cenové kalkulace sestavené Master stanice | 61 |
| 6.2 | Odhad cenové kalkulace nabíjecí stanice pro 4 elektrovozidla | 61 |
| 6.3 | Porovnání cen nabíjecích stanic pro 4 elektrovozidla | 61 |

Seznam zkratek

| | |
|-----------------|--|
| 1f/2f/3f | jedno/dvou/tří fázový |
| AC | Alternating Current (střídavý proud) |
| A/D | Analogově-Digitální |
| CP | Control Pilot („signál řídicí nabíjecí proces“) |
| DIN | Deutsches Institut für Normung (německý institut pro normalizaci) |
| ČSN | České Technické Normy |
| DC | Direct Current (stejnoseměrný proud) |
| DPS | Deska Plošného Spoje |
| EAGLE | Einfach Anzuwendender Grafischer Layout Editor („grafický editor“) |
| EEPROM | Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (elektronicky vymazatelná paměť pouze pro čtení) |
| EVSE | Electric Vehicle Supply Equipment („zařízení pro dobíjení elektrických vozidel“) |
| GPRS | General Packet Radio Service („obecná paketová rádiová služba“) |
| GSM | Groupe Spécial Mobile („mobilní speciální skupina“) |
| IC-CPD | In-Cable Control-and Protection Device (zařízení pro ovládání a ochranu umístěné v kabelu) |
| I2C | Inter-Integrated Circuit („vnitřně integrovaný obvod“) |
| ICSP | In Circuit Serial Programming („seriově programovatelný obvod“) |
| LCD | Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů) |
| LED | Light-Emitting Diode (světlo vyzařující dioda) |
| LMS | Load Management System (systém řízení zátěže) |
| PC | Personal Computer (osobní počítač) |
| PLC | Programmable Logic Controller (programovatelný logický automat) |
| PP | Proximity Pilot („signál indikující zasunutí nabíjecího konektoru“) |
| PWM | Pulse Width Modulation (pulzně šířková modulace) |
| RFID | Radio Frequency Identification (identifikace na rádiové frekvenci) |
| RISC | Reduced Instruction Set Computer (redukovaná instrukční sada) |
| RTC | Real Time Clock (modul reálného času) |
| SD | Secure Digital („paměťová karta“) |
| SIM | Subscriber Identity Module (účastnická identifikační karta) |
| SMD | Surface Mount Device (součástka pro povrchovou montáž) |
| SMS | Short Message Service („krátká textová zpráva“) |
| SPI | Serial Peripheral Interface (sériové periferní rozhraní) |
| SRAM | Static Random Access Memory (statická paměť) |
| THT | Through-Hole Technology („technika skrz otvor“) |
| TTL | Transistor Transistor Logic (tranzistorově tranzistorová logika) |
| UART | Universal Asynchronous Receiver-Transmitter („universální asynchronní přijímač-vysílač“) |
| USA | United States of America (spojené státy americké) |
| Wi-Fi | Wireless Fidelity („bezdrátová věrnost“) |
| μP | Mikroprocesor |

Předmluva

V dnešní době stále více řidičů zvažuje koupi elektrovozidla. S tím se pojí problémy, které nemusí uživatel vozidla se spalovacím motorem řešit. Jedná se především o nabíjení doma případně ve firmě. Doplnění energie pro vozidla se spalovacími motory je snadné a rychlé. Řidič zastaví u čerpací stanici a doplnění paliva na několik set kilometrů mu trvá v řádu několika minut i s platbou.

Pokud řidič přejde na elektrovozidlo, stane se největším problémem právě doplňování energie a s tím spojený akční rádius elektrovozidla. Dobíjení energie bude trvat, alespoň zatím, podstatně déle, než tankování paliva. Řidič bude i nadále čerpat energii u veřejných dobíjecích stanic, ale už jen minimálně, především při delších cestách. Největší procento nabíjení bude uskutečněno právě u uživatele doma, nebo v zaměstnání. A právě z tohoto důvodu bude muset budoucí majitel elektromobilu dříve, či později řešit nabíjecí stanici doma pro vlastní potřeby, nebo ve firmě pro své zaměstnance. Pokud však bude nabíjecích stanovišť více, bude muset být vyřešena dynamická distribuce proudu mezi nimi, pro zajištění optimální funkce nabíjecí stanice.

Úvod

Diplomová práce se věnuje realizaci řídicí jednotky dobíjecí stanice pro elektrovozidla. Vychází z ročníkového projektu, ve kterém byl navrhnut funkční základ dobíjecí stanice, který umožňuje dobíjení elektromobilu. Pokud je však dobíjecí stanice vybavena více stanovišti, tak je nutné mezi ně distribuovat omezený dobíjecí proud, který je limitován rezervovaným příkonem pro nabíjecí stanice.

Náplní diplomové práce bylo tedy doplnění dobíjecí stanice o nadřazenou řídicí jednotku, která ovládá více nabíjecích stanovišť, komunikuje s nimi přes rozhraní RS485 za pomoci protokolu Modbus a pomocí algoritmu mezi ně dynamicky rozděljuje proud. Dále zajišťuje funkce, jako je např. identifikace uživatele, výběr proudového omezení, odesílání textových zpráv a editaci uživatelů pomocí nich, komunikaci s webovou databází pomocí GPRS, nebo Ethernet, informování o průběhu a ukončení nabíjení atd.

Program byl napsán tak, aby uživateli poskytoval instrukce potřebné k připojení elektromobilu a výběru nabíjecího proudu na zvoleném stanovišti, prostřednictvím displeje. Zároveň informuje majitele dobíjecí stanice o jejím využívání.

Řídicí jednotka byla navržena a následně realizována na desce plošného spoje umístěného v přístrojové krabici. Následně byla provedena zástavba do nástěnné skříňky společně se silovými komponentami a nabíjecím kabelem, čímž vznikla nabíjecí stanice rozšiřitelná o další podružné stanice.

1 Nabíjecí stanice pro elektrovozidla

Elektrovozidlo (také elektromobil) lze nabíjet buďto střídavým proudem (AC), což je pomalejší režim nabíjení, nebo stejnosměrným proudem (DC), který dodá energii do elektromobilu podstatně rychleji. Přičemž u AC nabíjecí stanice se o nabíječe, jako takové nedá hovořit, protože toto zařízení slouží pouze k přivedení střídavého proudu do palubní nabíječky elektromobilu. Oproti tomu DC nabíjecí stanice přivádí do vozidla již usměrněný proud, který překlene palubní nabíječku a je přiveden „přímo“ do baterie.[5]

Limitujícím faktorem pro střídavé nabíjení je především výkon palubní nabíječky ve vozidle, která usměrňuje střídavé napětí přivedené do vozidla nabíjecím kabelem a reguluje příkon. Hlavním důvodem, proč nejsou elektromobily osazeny výkonnějšími nabíječkami je hmotnost palubní nabíječky, která roste úměrně s hodnotou jejího výkonu. Oproti tomu u režimu stejnosměrného nabíjení je do vozidla přiveden stejnosměrný proud přímo z DC nabíjecí stanice.[5]

Orientační časy nabíjení vybité baterie elektromobilu Škoda Citigo iV, které je vybaveno baterií o kapacitě 36,8 kWh, pro režim AC i DC jsou uvedeny v tab. 1.1.[13]

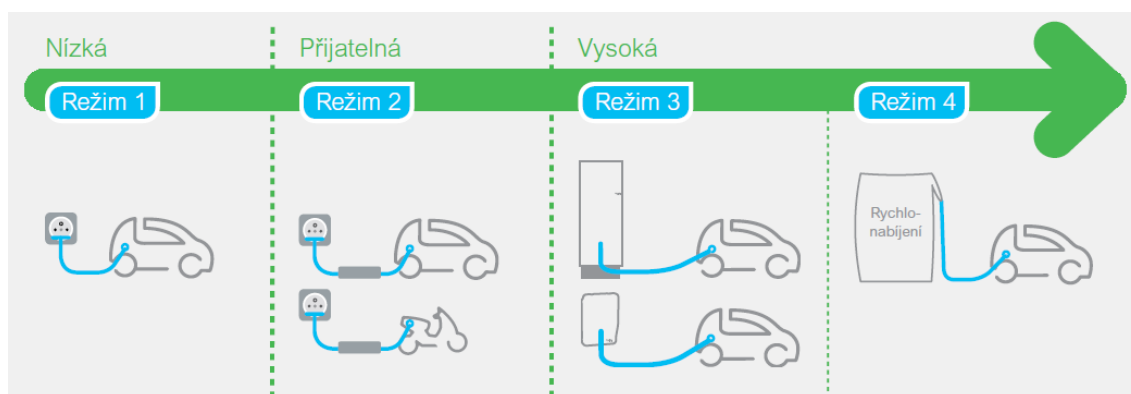
| <i>Doba nabíjení do 100 % [hod]</i> | <i>Napájení</i> | <i>U</i> | <i>I_{MAX} [A]</i> |
|-------------------------------------|-----------------|---------------|----------------------------|
| 15 | 1f - 2,3 kW | 230V/AC | 10 |
| 12 - 13 | 2f - 2,8 kW | 230V/AC | 6 |
| 7 - 8 | 2f - 4,6 kW | 230V/AC | 10 |
| 5 | 2f - 7,2 kW | 230V/AC | 16 |
| 2 | 40 kW | 300 - 400V/DC | 100 - 125 |
| 1 (do 80 %) | 40 kW | 300 - 400V/DC | 100 - 125 |

Tabulka 1.1: Orientační doba nabíjení baterie o kapacitě 36,8 kWh pro režim AC i DC [13]

V praxi rozlišujeme 4 režimy nabíjení, zobrazeny na obr. 1.1 na str. 16 a popsány v kapitole 1.1, které jsou určeny stupněm ochrany.[6][7]

1.1 Rozdělení režimů nabíjení

- **Režim 1** – Elektrovozidlo je připojeno jednoduchým kabelem přímo do standardní domovní zásuvky, která není primárně vyhrazena pro nabíjení elektromobilů. V tomto režimu může vozidlo odebírat maximální proud 16 A na jednu fázi (výkon 3,7 kW až 11 kW).[9]
- **Režim 2** – Využívá také standardní domovní zásuvku, avšak k napájení vozidla slouží kabel se systémem IC-CPD, který je vybaven ovládáním, komunikačním rozhraním a ochranným přístrojem. Režim 2 již umožňuje, díky probíhající komunikaci s vozidlem, volbu proudu do 32 A (výkon 7,4 kW až 22 kW). Vzhledem k miniaturizaci celého zařízení vloženého v malé krabičce, které je součástí nabíjecího kabelu, je toto řešení velice nákladné.[9]
- **Režim 3** – Elektromobil je připojen speciálním kabelem a zástrčkou do zásuvky vyhrazené pro nabíjení elektrovozidel. Napájení probíhá z jednoúčelového zařízení, do kterého jsou trvale zabudovány ovládací a ochranné funkce. V tomto režimu je již možné odebírat proud o velikosti 64 A na fázi (výkon 14,8 kW až 44 kW).[9]
- **Režim 4** – Jedná se o DC nabíjení, kdy je elektromobil spojen vyhrazeným kabelem s externím nabíječem. V zařízení jsou trvale zabudovány funkce ovládání a ochrany společně s nabíjecím kabelem, obsahující komunikační rozhraní. Proud je na rozdíl od předchozích řešení usměrněn v nabíjecí stanici a hodnota napětí je upravena přímo pro konkrétní elektromobil. Nabíjecí výkon začínal u DC stanic na 24 kW, nyní jsou běžné 50 až 150kW, přičemž se stále vyvíjí nové nabíjecí stanice s vyššími výkony.[9]



Obrázek 1.1: Rozdělení stupňů ochrany nabíjení elektromobilu [6]

Nabíjení v režimu 3:

V této práci se zaměříme na nabíjení v režimu 3 střídavým proudem z vyhrazené domovní zásuvky, která je osazena ovládacími a ochrannými obvody.

Jedná se o zařízení, které se v praxi nazývá „Wallbox“, nebo také AC nabíjecí stanice. Toto zařízení umožňuje bezpečné nabíjení podle ČSN EN 61851-1. Režim 3 je bezpečnější oproti Režimu 1, který je třeba v USA zakázaný. Vyšší bezpečnosti je dosaženo díky několika opatřením, které se uskuteční ještě před zahájením nabíjení. Wallbox kontroluje, zda je elektromobil správně připojen k nabíjecí stanici a jeho zemnicí systém je dobře připojen k ochrannému obvodu. Dále poskytuje řídicí jednotce nabíjení v elektromobilu informace o maximálním proudu, na který je kabel dimenzován. Hlavní výhodou Wallboxu pro uživatele je možnost stanovení maximálního nabíjecího proudu podle domovního jističe, který bude alokován pro elektromobil.[3][5]

Veškerá kontrola a komunikace mezi elektrovozidlem a nabíjecí stanicí je zajištěna pomocí pilotních (řídicích) vodičů, které definuje norma ČSN EN 61851-1 a probíhá pomocí pinů *PP* (proximity pilot) a *CP* (control pilot).

Další výhodou nabíjecí stanice je, že může řídit dobu nabíjení elektromobilu a optimalizovat tak spotřebu energie na základě uživatelských požadavků, nebo ze strany distributora elektrické energie (inteligentní síť – „smart grid“).

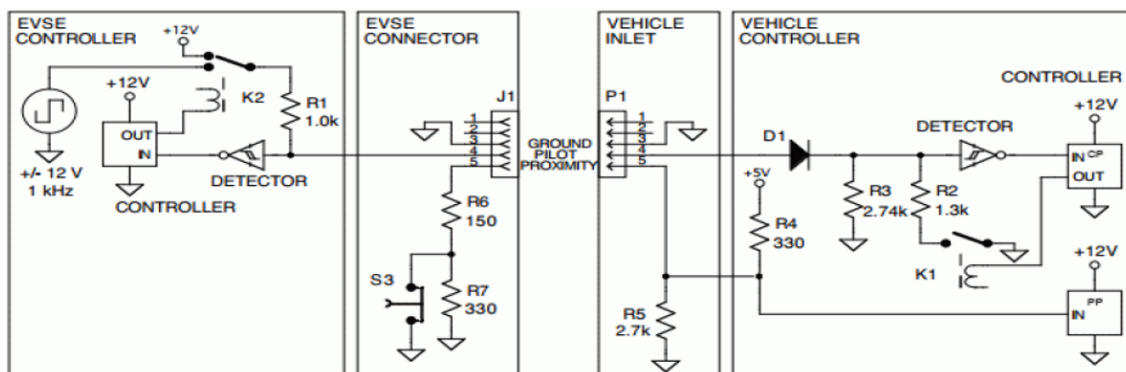
Díky tomu všemu je Režim 3 nejideálnější volbou pro nabíjení elektromobilu.[3]

1.2 Komunikace s elektromobilem

Komunikace mezi dobíjecí stanicí a elektromobilem, která je určena ČSN EN 61851-1 probíhá výhradně pomocí dvou pilotních vodičů *PP* a *CP*. Řídicí jednotka nabíjení (EVSE) generuje na pinu *CP* 12V signál o vysoké vnitřní impedanci. Připojené elektrovozidlo snižuje jeho hodnotu napětí, připojováním daných hodnot rezistorů R_{pp} k diodě, a vozidlo tak dává najevo svůj status. Pokud je elektrovozidlo připojeno nabíjecím kabelem, tak je EVSE modulem generován PWM signál o frekvenci 1 kHz, ve kterém je pomocí velikosti střídy zamodulován maximální proud, který může nabíječka ve vozidle odebírat. Hodnoty jsou uvedeny v tab. 1.2. Generátor obdélníkového signálu na straně EVSE je patrný v levé části schématu na obr. 1.2 na str. 18 a komunikční část ve vozidle je patrná v pravé části stejného schématu. Tato komunikace je velmi jednoduchá, spolehlivá a dostatečně robustní. [4][3]

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Střída PWM [%]</i> | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 66 | 80 | 90 | 94 | 96 |
| <i>Proud [A]</i> | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 40 | 48 | 65 | 75 | 80 |

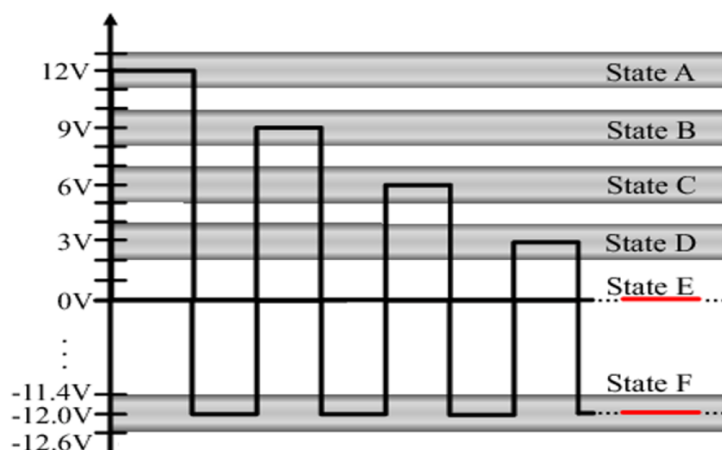
Tabulka 1.2: Závislost střídy PWM signálu na velikosti proudu



Obrázek 1.2: Schéma generátoru signálu EVSE (vlevo) a komunikační části ve vozidle (vpravo)[12]

Pin CP – signál je určen následujícími statusy patrnými na obr. 1.3:

- **Status A** – Hodnota napětí stejnosměrného signálu je 12 V, což znamená, že žádné vozidlo není připojeno.
- **Status B1** – Napětí je sníženo na 9 V, což znamená, že je vozidlo připojeno, ale ještě není připravené na nabíjení. ($R_{pp} = 2,7 \text{ k}\Omega$)
- **Status B2** – Jakmile je vozidlo připravené na nabíjení, stane se ze stejnosměrného signálu 9 V signál PWM o hodnotách $U_{MAX} = 9 \text{ V}$, $U_{MIN} = -12 \text{ V}$. Pořád však nedochází k nabíjení.
- **Status C** – Klesne-li hodnota PWM signálu na $U_{MAX} = 6 \text{ V}$, $U_{MIN} = -12 \text{ V}$, EVSE sepne stykač a nabíjení se zahájí. ($R_{pp} = 1,3 \text{ k}\Omega$)
- **Status D** – Pokud klesne hodnota PWM signálu až na $U_{MAX} = 3 \text{ V}$, $U_{MIN} = -12 \text{ V}$, znamená to, že vozidlo má olověné baterie a je vyžadována ventilace. ($R_{pp} = 330 \Omega$)[4][3]

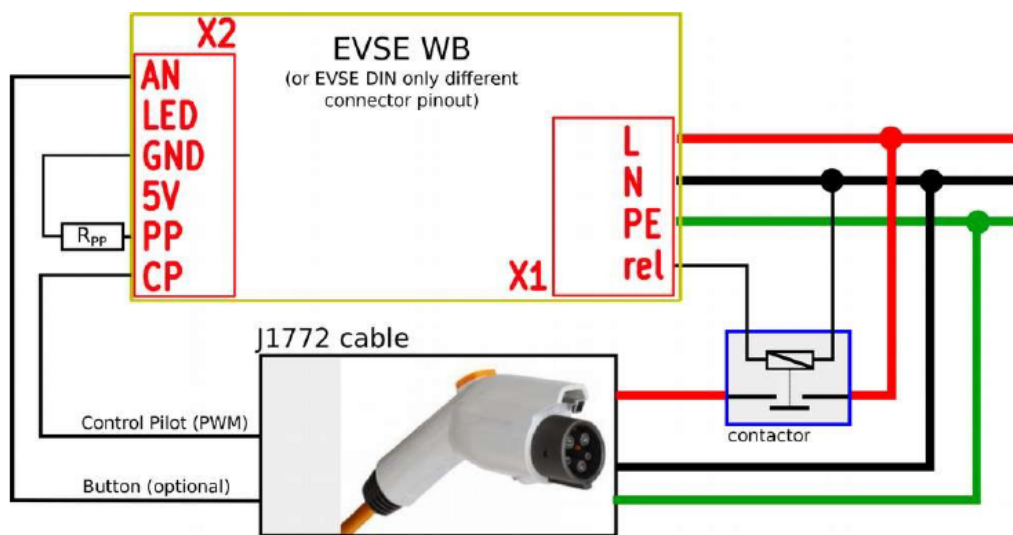


Obrázek 1.3: Statusy nabíjení generované pinem CP[11]

Po ukončení nabíjení vzroste maximální hodnota napětí PWM signálu na 9 V, čímž signál *CP* přejde opět do statusu *B2*. Na pinu *CP* se mohou objevit ještě další statusy *E* a *F*, které značí poruchu.[4]

Pin PP

K určení proudového omezení slouží právě pin *PP*. V zástrčce (na kabelu k vozidlu) je mezi piny *PP* a *PE* (spojeno s *GND*) připojen rezistor R_{pp} patrný na obr. 1.4, který určuje velikost limitního proudu. Slouží k ochraně kabelu před vyšším proudem, než na který je dimenzován. Tento rezistor lze také použít pro volbu maximální velikosti proudu, kdy je možné mezi rezistory o různé velikosti odporu přepínat a tím proudové omezení měnit. Pin *PP* plní také bezpečnostní funkci. Je-li připojen, tak je vozidlu zamezen jakýkoliv pohyb.[4][5]



Picture 8: J1772 connector - signal and power wires

Obrázek 1.4: Připojení komunikačních a napájecích vodičů mezi EVSE a nabíjecím kabelem[8]

1.3 Doplnkové funkce Wallboxu

Kromě klíčových komponent Wallboxu, kterými jsou: proudový chránič, stykač, kabel k elektromobilu a řídicí jednotka EVSE, může obsahovat nepřeberné množství doplňkových funkcí, které ovládá nadřazená řídicí jednotka. Díky tomu se odlišují klasické Wallboxy od těch inteligentních. V dnešní době nabízejí výrobci různé doplňkové funkce, kterými jsou nabíjecí stanice doplněny. Zároveň může být řídicí jednotka doplněna funkcí dynamického rozdělování proudu mezi více nabíjecích stanic. Záleží už jen na zákazníkovi, jakému typu dá přednost s ohledem na využití.

Výčet některých doplňkových funkcí inteligentních Wallboxů:

- **Elektroměr** – Měření spotřebované energie pro kontrolní, nebo fakturační potřeby.
- **Čtečka čipových karet** – Identifikace firemních zaměstnanců, nebo tarifních uživatelů. Slouží pro přihlášení k nabíjecí stanici.
- **Rozhraní Wi-Fi/Ethernet/Bluetooth** – Odesílání údajů o odebrané energii, případně komunikace s aplikací v mobilním telefonu.
- **GPRS** – Alternativa pro připojení k internetu v místě bez pokrytí Wi-Fi, nebo kabelové sítě.
- **GSM** – Možnost zaslání SMS uživateli po dokončení nabíjení, nebo editace nových uživatelů pomocí zaslání SMS do nabíjecí stanice.
- **Platební terminál** – Umožnění plateb uživatelům, kteří nemají tarif.
- **Klávesnice** – Jednoduché ovládání Wallboxu. Výběr proudu a nabíjecího stanoviště.
- **Displej/dotykový panel** – Vizualizace informace o nabíjení a pohybu v menu. V případě složitějšího menu, nebo potřeby lepší grafiky může klávesnici a displej zastoupit dotykový panel.
- **Nadřazená řídicí jednotka** – Dynamická distribuce omezeného dobíjecího proudu mezi více nabíjecích stanic a ovládání výše uvedených doplňkových funkcí.

Všechny tyto funkce jsou již na trhu dostupné, avšak pouze v předem určených kombinacích. Žádný výrobce nenabízí typ Wallboxu, který obsahuje všechny výše zmíněné funkce, nebo kombinaci funkcí podle přání zákazníka. Proto bylo zadáním projektu vytvořit nabíjecí stanici, kterou by bylo možné dle potřeby rozšířit o zmíněné funkce, čímž by vznikla inteligentní nabíjecí stanice s nadřazenou řídicí jednotkou umožňující dynamicky rozdělovat proud mezi více stanic.

2 Stávající stav nabíjecích stanic

Při koupi elektromobilu nastává zásadní změna v doplňování energie. Uživatel bude nejčastěji nabíjet elektromobil doma.

Ze standardní domovní zásuvky dostane elektromobil z jedné fáze, při proudu 16 A, příkon 3,7 kW, potažmo ze třífázového rozvodu příkon 11 kW. To je pro většinu dnešních elektromobilů dostatečné, neboť 11kW nabíječka je standardní pro vozidla střední třídy. Najdou se ale i tací výrobci, kteří nabízí ve svých elektromobilech dvě 11kW palubní nabíječky o celkovém výkonu 22 kW, příkladem je Audi e-tron, nebo Tesla model S.[14] Takový příkon už elektromobil ze standardní domovní zásuvky, bez použití Wallboxu, nezíská.

Jelikož narůstá trend stále větších vozidel, s nimiž se i úzce váže jejich rostoucí spotřeba el. energie a velikost baterie, tak je možné, že 22kW palubní nabíječka se brzy stane standardem u větších vozidel.

Pakliže se zákazník nespokojí s pomalým nabíjením v Režimu 1, kdy je bez použití ovládacího a ochranného přístroje legislativně povolen maximální proud 16 A, tak musí sáhnout po jiném řešení. Ideální variantou je Wallbox (Režim 3) pro nabíjení doma, nebo nabíjecí kabel (Režim 2) pro nabíjení na cestách. Dalším důvodem a výhodou pro volbu Wallboxu může být možnost přístupu pomocí čipové karty a nabíjení více vozidel najednou s využitím regulace proudu v průběhu nabíjení. Stejně tak uživatel jistě ocení měření spotřebované energie, s níž se váže možnost monitorování zákazníků a případné vyúčtování ceny za nabíjení.

2.1 Schneider Electric

Na trhu je více výrobců, kteří již zmíněná řešení nabízí a zde se zaměříme nejprve na firmu Schneider Electric, jejichž nabídka patří mezi nejobsáhlejší na trhu v ČR. Mezi portfolio nabízených výrobků řady EVlink patří standardní (EVlink Wallbox) a inteligentní Wallboxy (EVlink Smart Wallbox), Wallbox pro parkoviště (EVlink Parking) se dvěma nabíjecími kabely a rychlonabíjecí stanice (EVlink Fast charge).[6]

2.1.1 Řízení energie nabíjecích stanic

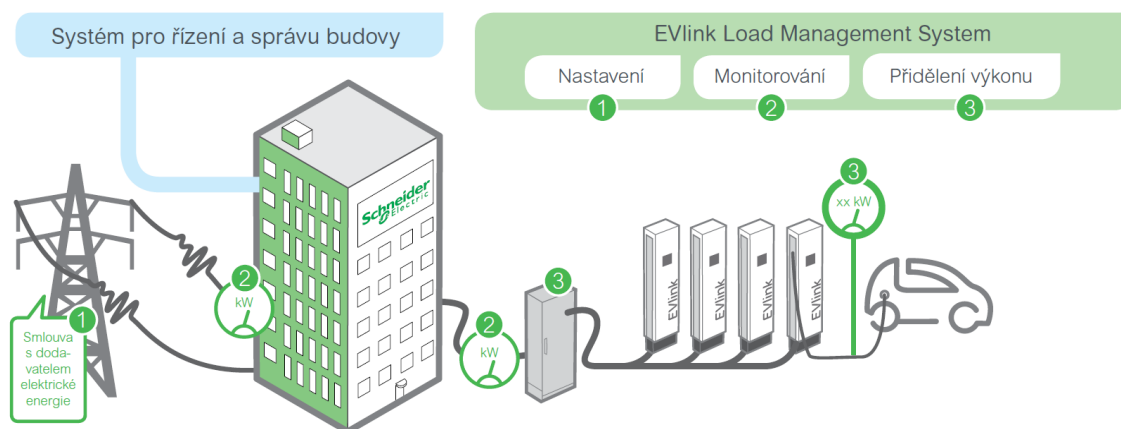
Společnost Schneider Electric používá k monitoringu, správě a řízení energie nabíjecích stanic nadřazenou řídicí jednotku EVlink LMS (Load Management System),

kteřá využívá dynamické řízení energie a má širokou škálu využití. Dynamické řízení energie se dělí podle řízení s dynamickou a statickou žádanou hodnotou.[6]



Obrázek 2.1: Nabídka Wallboxů od společnosti Schneider Electric[6]

Dynamické řízení energie s dynamickou žádanou hodnotou je výhodné z důvodu měření příkonu na patě budovy, kdy podle její aktuální spotřeby může být omezen nabíjecí proud elektromobilům. Díky tomu nedojde k překročení rezervovaného příkonu objektu a nebude docházet k výpadkům elektřiny, případně k přerušení provozu objektu, z čehož plynou provozní ztráty. Toto řešení je výhodné použít všude tam, kde je výkon nabíjecích stanic velký v porovnání se spotřebou budovy. Pokud by se celková spotřeba objektu přiblížila mezní hodnotě stanovené dodavatelem el. energie (rezervovaný příkon), systém EVlink LMS zajistí snížení výkonu nabíjecích stanic.[6]



Obrázek 2.2: Struktura řízení výkonu s dynamickou žádanou hodnotou s EVlink LMS[6]

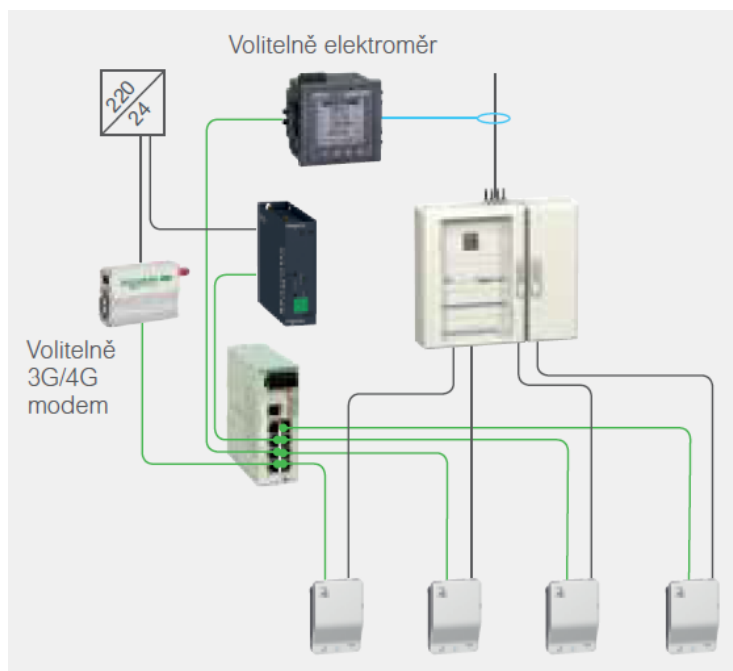
Není-li měřena energie celého objektu na patě budovy, jedná se také o dynamické řízení výkonu nabíjecích stanic, avšak se statickou žádanou hodnotou.

Zároveň systém umožňuje současně nabíjet více elektromobilů tak rychle, jak je to možné s ohledem na prioritního uživatele, kterého by se omezení proudu nemělo týkat vůbec, nebo jen minimálně.[6]

Bloky pro řízení energie

Řízení energie může být realizováno spojením jednotlivých bloků, přičemž každý zajišťuje jinou funkci a společně tvoří uzavřený regulační systém.[6]

- **Omezení výkonu** – Řídí se podle smlouvy s dodavatelem el. energie, nebo maximálním dostupným výkonem, který je závislý na průřezu kabelů, nebo parametrech jističů.
- **Měření** – Možnost měření spotřeby el. energie na všech stanovištích a u hlavního přívodu na patě budovy.
- **Regulace** – Zajištění sběru dat z jednotlivých stanovišť pomocí mikrokontroléru a spouštění algoritmů pro řízení celkové spotřeby el. energie a množství celkového příkonu pro nabíjení elektrovozidel.
- **Akční členy** – Řídicí jednotka nabíjení každého elektrovozidla (EVSE), která může trvale omezit nabíjecí proud.



Obrázek 2.3: Topologie Wallboxů a řídicí jednotky EVlink LMS[6]

2.2 Stegen Electronics

Dalším příkladem může být Smart EVSE od firmy Stegen Electronics. Jedná se pouze o řídicí modul pro nabíjení elektromobilu (EVSE), nikoliv o kompletní Wall-box, jako v předchozím případě. Jejich inteligentní EVSE umí dynamicky upravovat maximální proud, kterým je elektromobil nabíjen. O úpravu proudu se stará řídicí modul, tzv. sensorbox, ke kterému mohou být připojeny až 4 moduly Smart EVSE pomocí rozhraní RS485. Při použití sensorboxu lze nastavit rezervovaný příkon pro více nabíjecích stanic a proud je poté rozdělován mezi jednotlivá vozidla tak, aby měli všichni maximum s ohledem na rezervovaný příkon. Pokud se připojí další vozidlo, proud se sníží všem a každé vozidlo bude mít stejné množství proudu. K měření proudu je nutné využít ještě měřící proudové transformátory pro každou fázi zvlášť.[10]



Obrázek 2.4: Smart EVSE (vlevo), Sensorbox (uprostřed) a proudový transformátor (vpravo)[10]

Nabíjecí stanice sestavená z těchto modulů je velice jednoduchá, oproti předchozímu řešení, a najde uplatnění u nenáročných uživatelů, kteří nevyžadují RFID identifikaci, nadstandardní konektivitu a sofistikované řízení proudu.[10]

2.3 Cenové přiblížení stávajícího řešení

Pro názornost, jakým směrem se má ubírat tato práce, zde nastíním kalkulaci ceny stávajícího řešení jak od firmy Schneider Electric, tak i od firmy Stegen Electronics. Jako příklad byly demonstrativně vybrány 4 nabíjecí stanice s nadřazenou řídicí jednotkou. Orientační cena je popsána v tab. 2.1 a 2.2.

Od Schneider Electric byl zvolen typ EVlink Smart Wallbox, přičemž každý z nich má volitelné rozhraní Wi-Fi, Ethernet a GPRS. Dále Wallboxy obsahují čtečku čipových karet (RFID) a elektroměr. Aby mohlo dojít k inteligentnímu rozdělování proudu mezi jednotlivé Wallboxy, tak je nutné jejich doplnění o nadřazenou řídicí jednotku EVlink LMS.

| <i>Schneider Electric</i> | <i>ks</i> | <i>cena za ks [Kč]</i> | <i>cena celkem [Kč]</i> |
|---------------------------|-----------|------------------------|-------------------------|
| Smart Wallbox | 4x | 65000 | 260000 |
| EVlink LMS | 1x | 130000 | 130000 |
| <i>Celková cena</i> | - | - | 390000 |

Tabulka 2.1: Cenová kalkulace od firmy Schneider Electric

Firma Stegen Electronics nabízí jednotlivé komponenty jako samostatně prodejné s uchycením na DIN lištu. Díky tomu si každý může Wallbox poskládat (nakombinovat), podle své potřeby, do vlastní přístrojové skříňky. K tomu je zapotřebí ještě stykač, který spíná síťové napětí do elektromobilu, proudový chránič a nabíjecí kabel.

| <i>Stegen Electronics</i> | <i>ks</i> | <i>cena za ks [Kč]</i> | <i>cena celkem [Kč]</i> |
|-------------------------------------|-----------|------------------------|-------------------------|
| SmartEVSE | 4x | 3800 | 15200 |
| Sensorbox | 1x | 800 | 800 |
| Proudový transformátor | 12x | 270 | 3240 |
| Stykač | 4x | 900 | 3600 |
| Proudový chránič | 4x | 1000 | 4000 |
| Přívodní + nabíjecí kabel (3f/16 A) | 4x | 4000 | 16000 |
| <i>Celková cena</i> | - | - | 42840 |

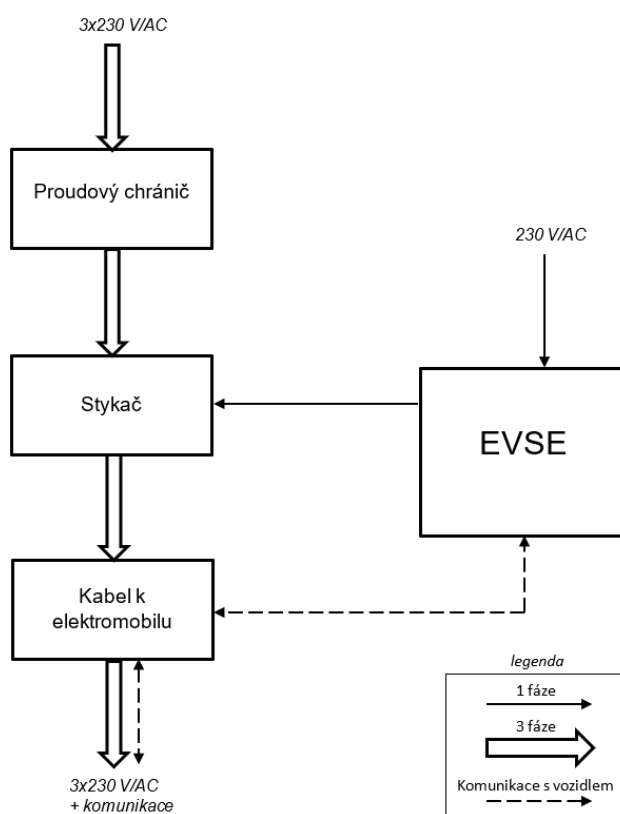
Tabulka 2.2: Cenová kalkulace od firmy Stegen Electronics

Z tabulky 2.2 je jasně patrné, že pokud uživatel hledá jednoduchý systém pro nabíjení několika elektrovozidel, tak si vystačí s řešením od Stegen Electronics, za což zaplatí řádově nižší částku, než u sofistikovanějšího zařízení od Schneider Electric uvedené v tab. 2.1. Každé řešení osloví zcela odlišného zákazníka. U jednoho není optimální cena, u druhého výkonnost. Obojí má své klady i zápor. V tomto projektu by měla vzniknout právě taková nabíjecí stanice, která by svou cenou a výkonností oslovila širší spektrum zákazníků.

3 Realizace nabíjecí stanice

3.1 Výběr silové a řídicí elektroniky

Inteligentní Wallbox se skládá z mnoha komponent, ale „jádro“ každého z nich tvoří klíčové komponenty, které se skládají z modulu komunikujícím s elektromobilem, proudového chrániče, stykače a kabelu k elektromobilu, což je patrné z obr. 3.1. Bez všech těchto částí by Wallbox nemohl legislativně fungovat.



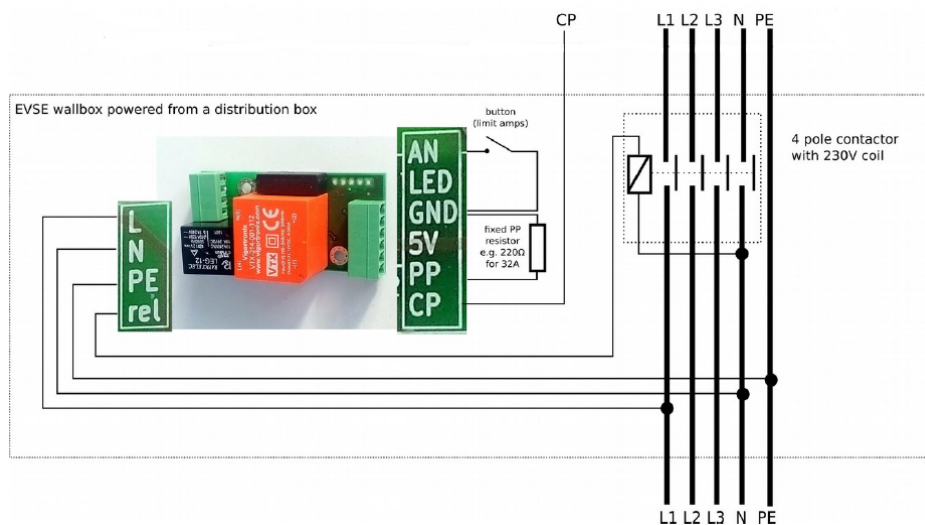
Obrázek 3.1: Blokové schéma klíčových komponent Wallboxu

K realizaci funkčního jádra Wallboxu byly zvoleny klíčové komponenty, které dostačují pro samotnou funkci nabíjení. Poté co bylo „jádro“ Wallboxu zprovozněno, bylo možné jej dále rozšiřovat o doplňkové funkce popsané v kapitole 3.3. Klíčové komponenty použité v tomto projektu nebyly vybírány podle nijak zvláštních kritérií. Postačily takové, které byly k dispozici od zadavatele projektu.

3.2 Popis klíčových komponent

EVSE Wallbox: jedná se o modul, komunikující s elektromobilem za pomoci pilotních vodičů. Po připojení nabíjecího kabelu k elektromobilu proběhne nejprve komunikace s vozidlem a až teprve poté, co nabíjecí modul elektromobilu schválí nabíjení, EVSE sepne výstup *rel*, který sepne stykač. Následně má elektromobil k dispozici přímé spojení s domovním rozvodem. Proud je řízen střídou PWM signálu a reguluje jej palubní nabíječkou v elektromobilu. Shora omezen je proud pomocí rezistoru R_{pp} připojeného mezi kontakty *PP* a *PE*, který určuje limitní proud vyhrazený pro elektromobil. Komunikace s elektromobilem byla popsána v kapitole 1.2 na str. 17. Hodnota rezistoru se volí podle průřezu vodičů v nabíjecím kabelu, které udávají limitní proud, který může kabelem protékat s ohledem na oteplení vodičů.

Konkrétně tento EVSE modul nabízí komunikaci s nadřazeným systémem přes rozhraní RS485 za pomoci protokolu MODBUS. Nabíjecí proud lze nastavit v rozmezí 6 – 80 A. Lze využít 1f, 2f, nebo 3f přívod napětí. Kompatibilita s elektromobily je dána ČSN EN 61851-1, takže modul komunikuje téměř se všemi elektromobily na trhu. Cena za takový EVSE modul ve verzi s rozhraním RS485 je 2000 Kč.[8]

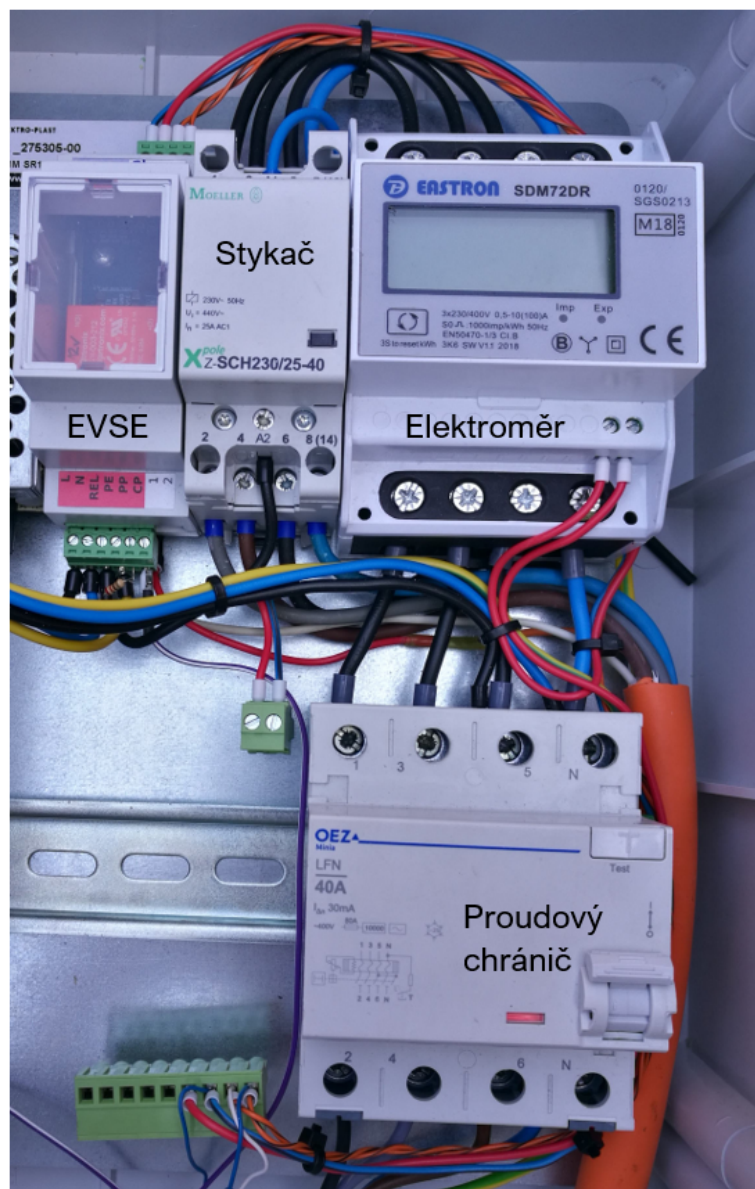


Obrázek 3.2: Schéma zapojení EVSE Wallbox k distribuční síti[8]

Proudový chránič: k ochraně před unikajícím proudem je použit standardní 3f proudový chránič pro domovní instalace do 40 A od firmy OEZ. Reaguje na sinusové střídavé reziduální proudy s citlivostí 30 mA.

Stykač: stejně tak stykač je běžný 3f od firmy Moeller se spínacím proudem 25 A ($P = 17 \text{ kW}$) a cívkou napájenou 230V napětím.

Kabel k elektromobilu: k dispozici je kabel s konektorem typu Mennekes určený pro 3f nabíjení elektromobilu proudem 16 A ($P = 11 \text{ kW}$).



Obrázek 3.3: Klíčové komponenty dobíjecí stanice

3.3 Rozšíření nabíjecí stanice o doplňkové funkce

Poté, co byly zajištěny základní funkce nabíjecí stanice, mohla být připojena nadřazená řídicí jednotka, kterou v tomto případě zajišťuje mikroprocesor od firmy Atmel. Jedná se o typ ATmega 2560-16AU (dále jen μP). μP se nestará o zajištění funkce nabíjení. O to se stará EVSE, což bylo zmíněno výše na str. 27 v kapitole 3.2. Procesor obstarává rozšiřující funkce nabíjecí stanice, které jsou důležité např. pro legitimaci uživatele, dynamické řízení nabíjecího proudu, komunikaci s databází a zálohování dat, odesílání SMS zpráv uživateli, měření odebrané energie, atd.

3.3.1 Popis doplňkových funkcí

Mikroprocesor: Použit byl mikroprocesor ATmega 2560-16AU, který nabízí dostatečný výkon pro tento projekt. Jedná se o 8bitový μ P od firmy Atmel založený na architektuře RISC pracující na frekvenci 16 MHz. K dispozici je 86 univerzálních vstupně/výstupních pinů (z toho 30 přerušovacích pinů), 6 časovačů a 10bitový A/D převodník. Dále nabízí 8kB paměť SRAM a 4kB paměť EEPROM. Ze sběrnic jsou to 4x UART, 5x SPI a I2C.[15]

μ P je nadřazený systém, který zastřešuje komunikaci mezi ostatními zařízeními pomocí vnějších periférií, jak je patrné z blokového schématu na obr. 3.4 na str. 31.

RFID čtečka karet: K identifikaci uživatele a samotnému přístupu k nabíjecí stanici byla použita čtečka čipových karet typu MF RC522, pracující na frekvenci 13,56 MHz. Komunikace je zajištěna pomocí sběrnice SPI. Použita byla bílá čipová karta a modrý přívěšek, které vyhovovaly testování.

Displej: Pro jednoduchost byl použit LCD 16x2, který zobrazuje 32 znaků do dvou řádků. Tento typ displeje byl plně dostačující, neboť zobrazuje pouze text s pokyny a informacemi o stavu nabíjení, nastavení nabíjecího proudu a přístupové údaje. Komunikace s ním je zajištěna pomocí sběrnice I2C. Díky tomu stačí k propojení displeje pouze 4 vodiče, namísto přímého připojení displeje pomocí 12 vodičů. Jako mezičlánek je použit převodník ze sběrnice I2C na paralelní sběrnici pro LCD displej, který je součástí displeje. Je na něm možné nastavit kontrast pomocí trimru.

Klávesnice: K volbě maximální velikosti proudu, výběru stanice a k jednoduchému pohybu v menu slouží membránová klávesnice 4x4 znaků. K μ P je připojena pomocí osmi vodičů (4 pro řádky a 4 pro sloupce).

RTC modul: Modul reálného času byl použit z důvodu měření času nabíjení a k zobrazení aktuálního času na displeji. Po ukončení nabíjení je možné čas ukončení společně s časem nabíjení odeslat jako součást SMS zprávy uživateli.

Externí paměť: Slot na mikro SD karty slouží primárně k zálohování dat o přístupu uživatelů a času nabíjení. Dále jsou v externí paměti uloženi uživatelé, kteří mají přístup k nabíjecí stanici společně s jejich prioritou nabíjení. Tyto údaje se nahrají při prvním spuštění do paměti μ P a slouží k identifikaci uživatelů. Poté je SD karta využita jen k záloze dat o využívání stanic, popřípadě jsou na ni přidáni, nebo odebráni uživatelé.

GSM/GPRS modul: K zasílání SMS zpráv a ke komunikaci s internetovou databází je určen modul SIM800L. Slouží k zaslání SMS zprávy uživateli po ukončení nabíjení a k odeslání informací o nabíjení a uživateli do internetové databáze. Data, která jsou odeslána pomocí SIM modulu jsou zároveň zálohována do externí paměti na mikro SD.

Správce nabíjecí stanice může editovat uživatele pomocí zaslání SMS do Wallboxu. Zpráva musí obsahovat klíčové slovo pro danou akci a specifické údaje, pomocí kterých je možné přidat nového uživatele, případně smazat konkrétního uživatele z SD karty i paměti μ P. Forma SMS zprávy je patrná na obr. 4.4 na str. 47

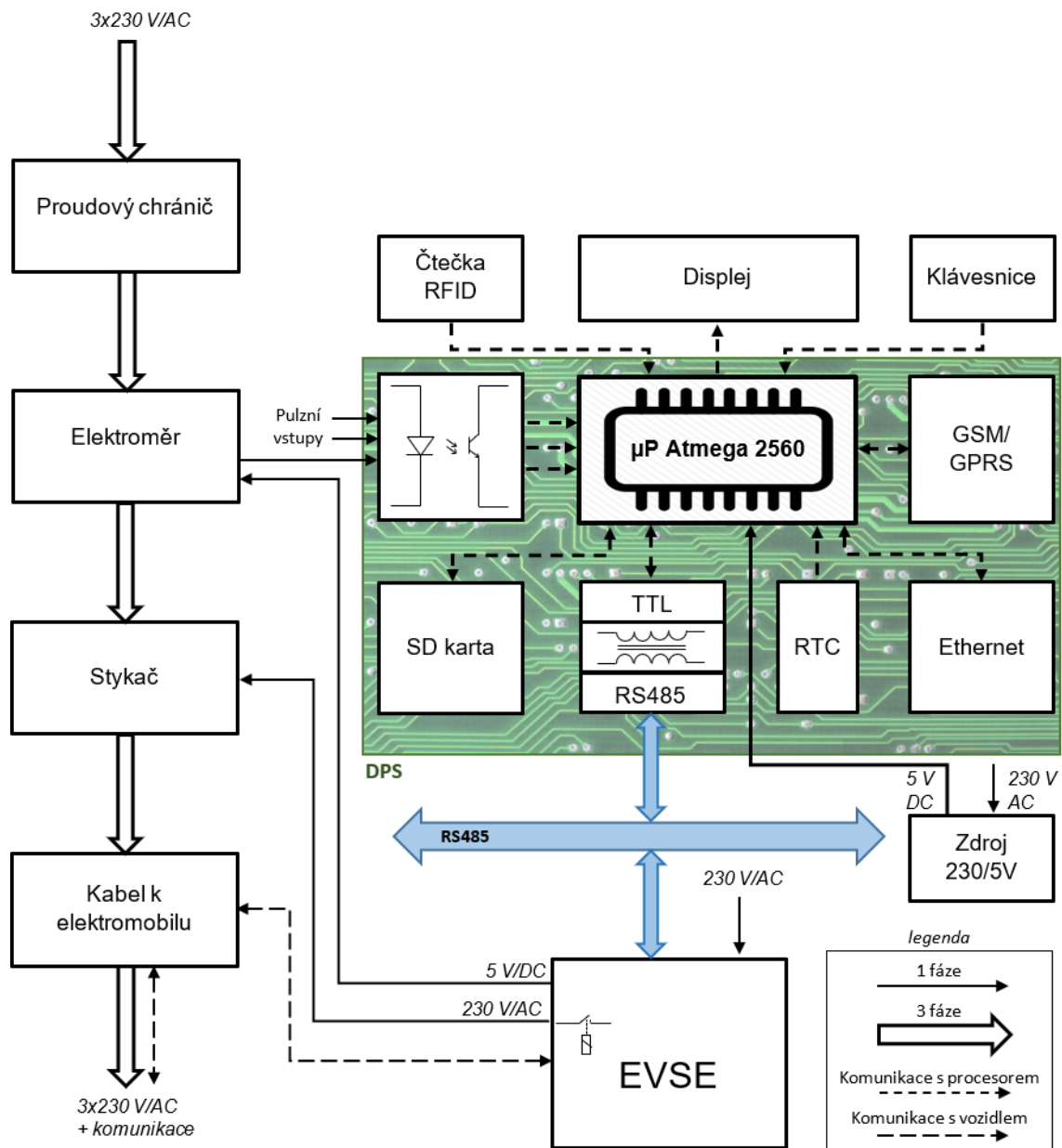
Ethernet: Jako duplicitní komunikace s databází je k GPRS použit Ethernet, který zajišťuje čip W5500. Může být použit v místech, kde je přístup k internetu zajištěn pomocí kabelového rozhraní s protokolem Ethernet a konektorem RJ-45. Typickým příkladem mohou být podzemní garáže. V takových místech může být naopak špatný mobilní signál.

Elektroměr: Pokud má být Wallbox určen pro účtování za odebranou elektřinu, musí být osazen certifikovaným elektroměrem určeným pro tarifní účely. Budou-li Wallboxy umístěny někde ve firmě a elektroměr má sloužit pouze pro kontrolu odebrané energie zaměstnavatelem, tak není třeba, aby byl certifikovaný. To ovšem nemění nic na principu, jakým je odebraná energie měřena. Digitální elektroměr generuje pulzy, přičemž každý jeden pulz je rovný např. 1 Wh odebrané energie (1000 imp/kWh). Zároveň musí být elektroměr napájen stejnosměrným napětím, které poté slouží k napájení pulzního výstupu elektroměru. Pulzní vstup je na DPS nadřazené řídicí jednotky galvanicky oddělen pomocí optronu od μ P. Nedochozí tak k přímé vazbě mezi dlouhým kabelem od Wallboxů a μ P, což je důležité při případném elektromagnetickém rušení. V programové části je pak každý pulz, signalizovaný vyvoláním přerušení, vynásoben příslušnou konstantou odpovídající hodnotě jednoho pulzu.

Zde byl použit třífázový čtyřvodičový elektroměr SDM72DR s bíle podsvíceným LCD displejem. Elektroměr měří a zobrazuje činnou energii v kWh a výkon ve W a pulzní výstup generuje právě 1000 imp/kWh. Hodnota činné energie lze v případě potřeby vymazat.

Použití protokolu MODBUS pro komunikaci: Sériovou komunikaci s EVSE na standardu RS485 zastřešuje protokol MODBUS, pro který je EVSE navržena. Jako mezičlánek je zde použit izolovaný převodník z RS485 na TTL logický signál, který je schopen μ P po sériové lince zpracovat. Díky tomu lze číst z různých registrů, které obsahují např.: povolení nabíjení, status o průběhu nabíjení, maximální nastavený proud, chybové hlášky, atd. Do některých registrů lze také zapisovat. Seznam registrů a jejich adresy jsou uvedeny v příručce od výrobce.[8]

V tomto projektu je využit registr 1002, jenž udává nabíjecí statusy popsané v kapitole 1.2 na str. 17, který je poté zpracován v μ P. Dále je využíván registr 1000, kam je zapisována maximální hodnota nabíjecího proudu. Pomocí registru 2002 lze nabíjení zastavit, a také ho lze použít pro deaktivaci EVSE, díky čemuž nemůže nabíjecí stanicí použít nikdo jiný, než registrovaný uživatel, který se přihlásí platnou čipovou kartou.

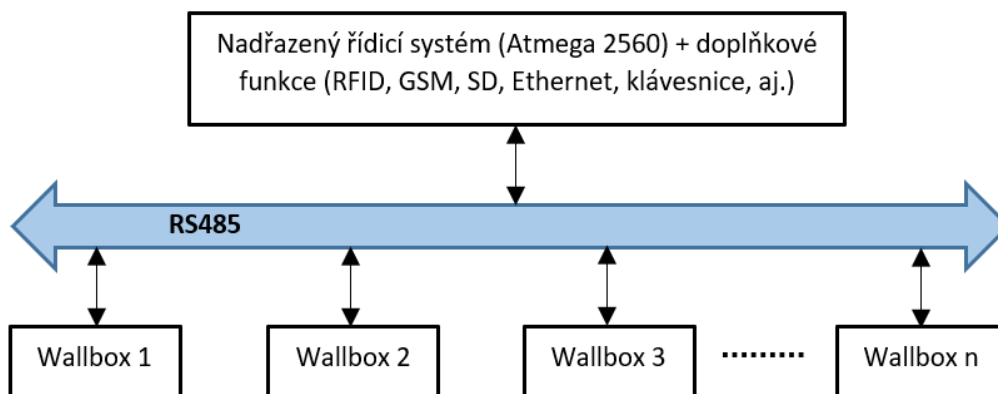


Obrázek 3.4: Blokové schéma nabíjecí stanice rozšířené o doplňkové funkce (Master stanice)

3.3.2 Obsluha více nabíjecích stanic

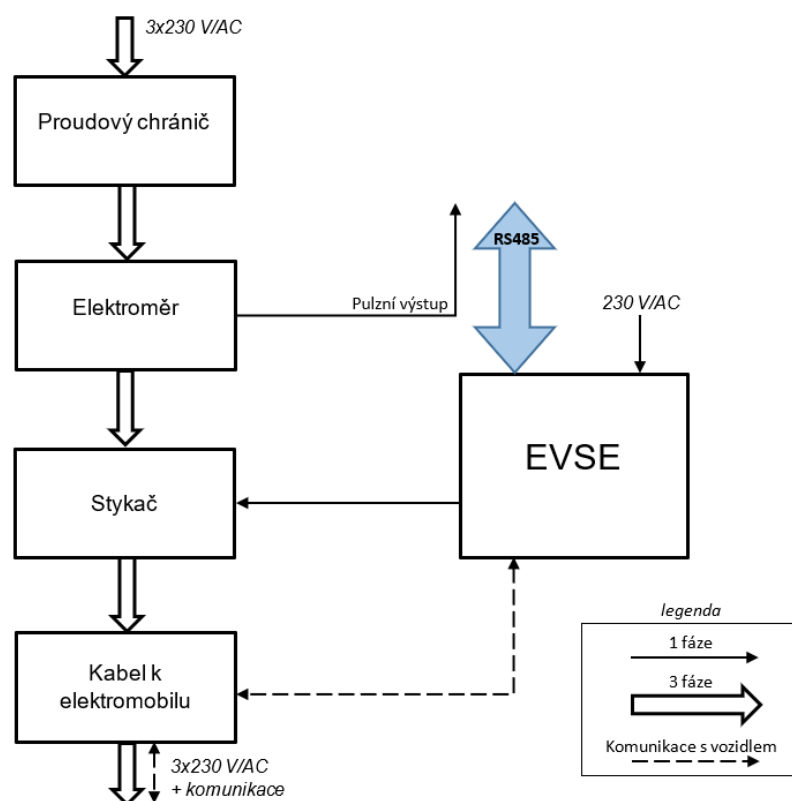
Nadřazená řídicí jednotka je schopna ovládat více nabíjecích stanic tvořených klíčovými komponentami, které byly zmíněny v kapitole 3.2 na str. 27. Takto lze teoreticky ovládat tolik stanic, kolik umožňuje rozhraní RS485, na kterém komunikuje za pomoci protokolu Modbus nadřazená řídicí jednotka s řídicími jednotkami nabíjení (EVSE), jak je vidět na obr. 3.5 na str. 32. V praxi by tedy bylo možné na rozhraní RS485 provozovat 32 zařízení, z čehož by byl 1 Master, který by obsluhoval

zbylých 31 Slave stanic, přičemž Master stanice obsahuje i jeden Slave, což je vidět na obr. 3.4.



Obrázek 3.5: Obsluha více dobíjecích stanic z jedné nadřazené řídicí jednotky

Ostatní Slave stanice jsou tvořeny pouze klíčovými komponentami pro zajištění nabíjení, které mohou být doplněny o elektroměr s pulzním výstupem obr. 3.6. Uživatel si tak může u Master stanice zvolit stanoviště, kde zaparkoval vozidlo a dále postupuje podle instrukcí na displeji.



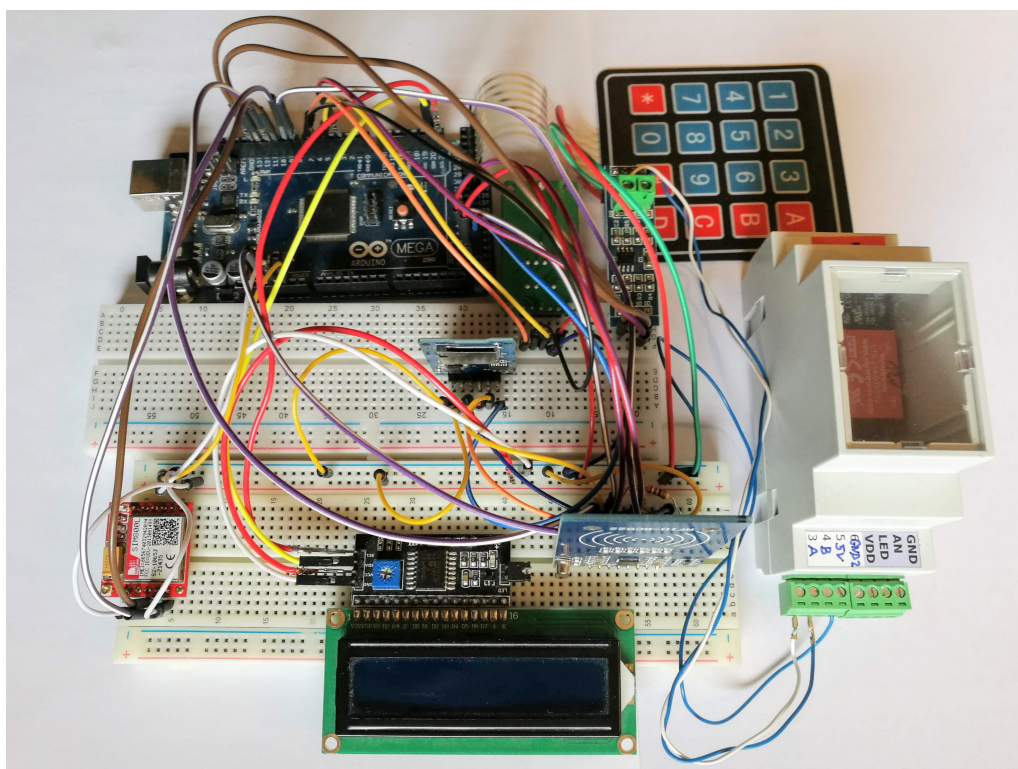
Obrázek 3.6: Blokové schéma nabíjecí stanice složené z klíčových komponent doplněných o elektroměr (Slave stanice)

Pokud by měl majitel požadavek měřit spotřebovanou elektrickou energii, tak je možné osadit Slave stanice certifikovanými elektroměry s pulzním výstupem. Každý pulz znamená odebranou jednotku elektrické energie. Poté se počet Slave stanic snížší na maximální počet přerušovacích vstupů mikroprocesoru, které zpracovávají pulzy za pomoci přerušení a čítají odebranou energii každé stanice. Samozřejmě by bylo možné pulzy zpracovávat i jiným způsobem, jako např. převádět pulzy pomocí převodníku na sériovou sběrnici I2C, čímž by bylo možné měřit energii na všech stanicích. To by ovšem obnášelo zakomponovat převodník I2C do každé Slave stanice, což by se vyplatilo při plném obsazení sběrnice Slave stanicemi, neboť by se ušetřilo místo pro konektory a ochranné součástky na DPS.

Řídicí stanice ovšem není určena k tomu, aby obsluhovala desítky nabíjecích míst. Princip tohoto řešení spočívá spíše v tom, že není nutné, aby měla každá nabíjecí stanice všechny rozšiřující komponenty společně s mikroprocesorem. Výhodné je tedy, aby řídicí stanice neobsluhovala pouze sama sebe, ale aby byla schopna obsloužit více jednodušších, potažmo i lacinějších nabíjecích stanic. Uvažujeme-li že maximální počet stanic bude omezen např. na 10, tak by se čítání pulzů po sběrnici prodražilo a ztrácelo by smysl. 10 stanic je počet, který je možné u tohoto typu mikroprocesoru bez problému obsloužit za pomoci přerušovacích vstupů, kterých μP nabízí 30.

3.4 Návrh DPS

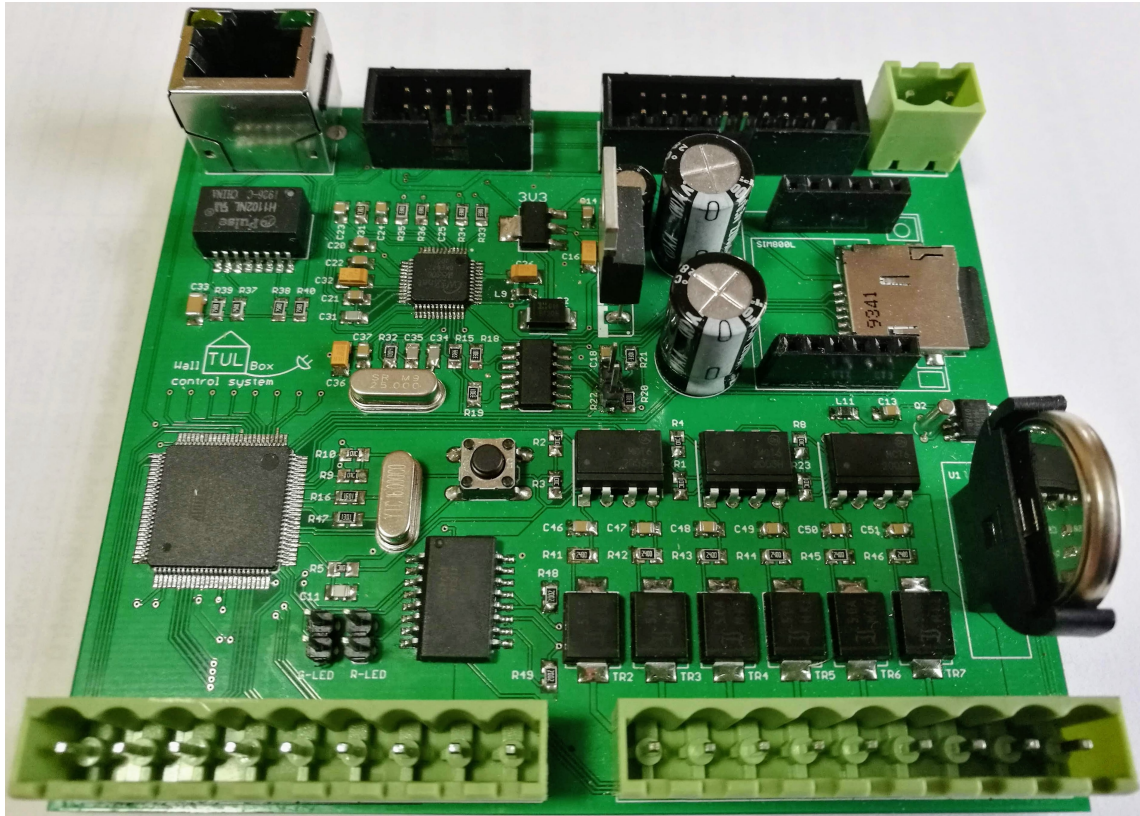
Návrh plošného spoje bylo potřeba nejdříve důkladně otestovat na nepájivém poli a vývojovém kitu Arduino patrně na obr. 3.7. Tato vývojová platforma byla zvolena z důvodu rychlého a snadného ověření navrženého systému, jako předstupeň vývoje vlastní DPS s μ P. Nejprve bylo použito Arduino Uno, později bylo třeba použít Arduino Mega z důvodu většího množství digitálních vstupů, kterých byl nedostatek pro potřeby projektu. Kapacita této platformy již plně vyhovovala potřebám tohoto projektu a nebyl by problém Wallbox dále rozšiřovat podle potřeby o nové funkce. Z toho důvodu byl i zvolen pro návrh DPS stejný μ P, jako má Arduino Mega.



Obrázek 3.7: Návrh na nepájivém poli založený na vývojovém kitu Arduino Mega

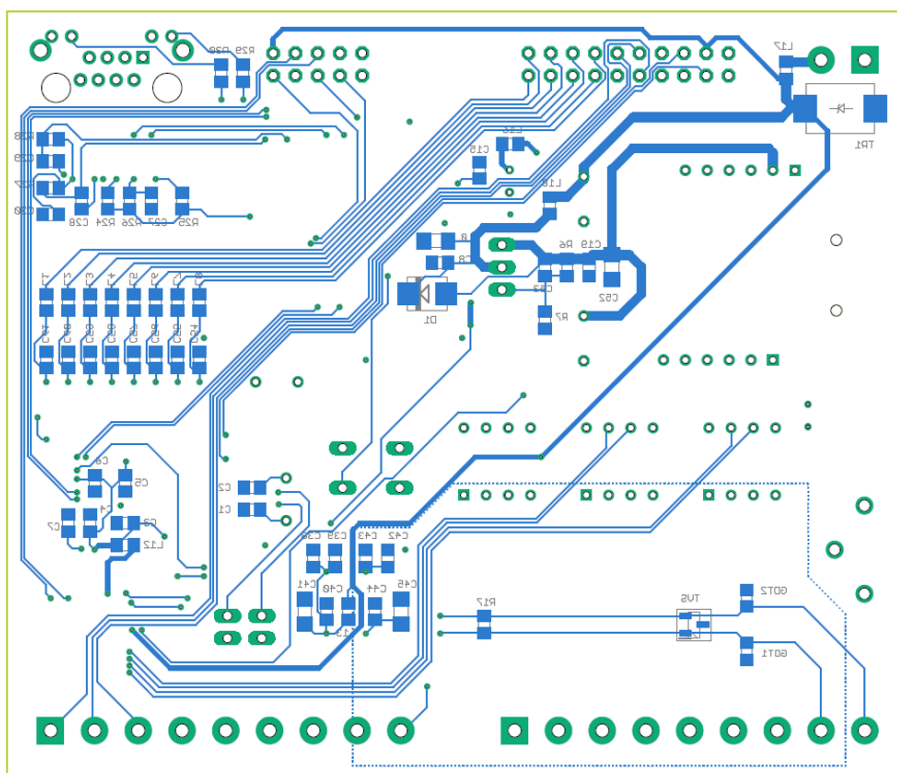
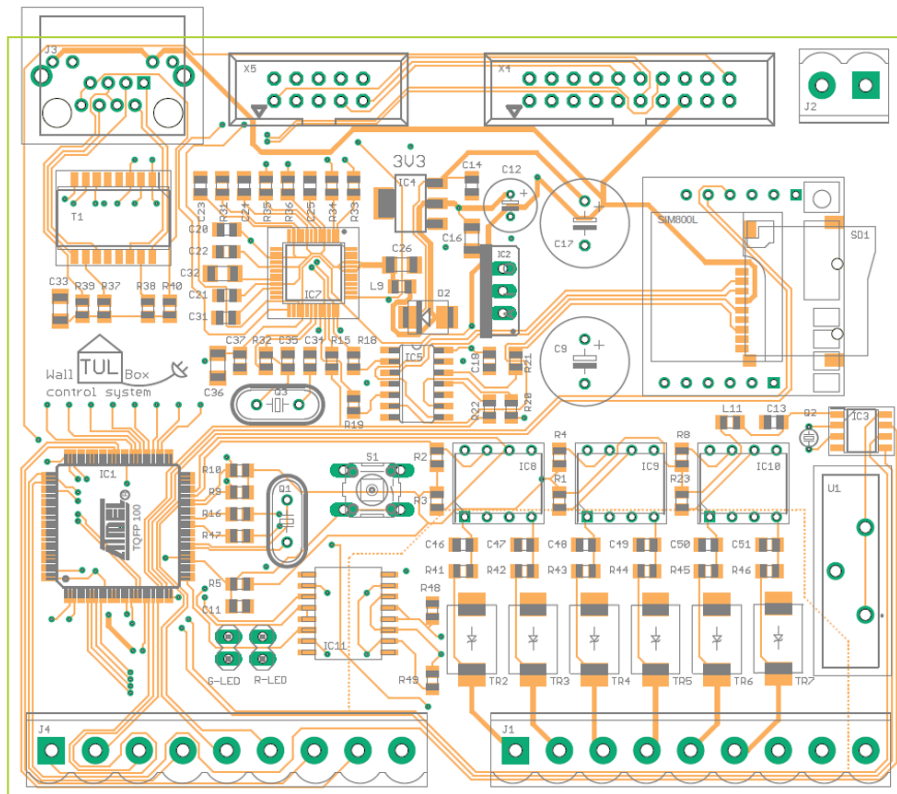
Poté co bylo zařízení otestováno a odladěno na nepájivém poli, mohlo dojít k překreslení schématu a samotnému návrhu desky plošného spoje. Pro návrh DPS byl zvolen software EAGLE ve verzi 9 od společnosti Autodesk. Návrh byl uzpůsoben šestimodulové přístrojové krabici, kterou lze umístit na DIN lištu společně s ostatními klíčovými komponentami Wallboxu. Z toho vzešel i pevný rozměr DPS 103 x 87 mm, kterého bylo třeba se držet, stejně tak jako rozmístění konektorů a dalších součástí. Návrh DPS byl proveden ve dvou vrstvách (*top* a *bottom*), přičemž ve vrstvě *top* patrně na obr. 3.9 je většina součástí a ve vrstvě *bottom* je jen zbytek SMD součástí, které nebylo možné umístit do vrstvy *top*.

Tloušťka měděné vrstvy na DPS byla zvolena 1 OZ (35 μm). Šířka většiny signálových cest je 0,2 mm. Pouze u pulzních vstupů z elektroměrů je šířka cest 0,5 mm kvůli vyššímu proudu, který může téct přes ochranné součástky při poruše. Také napájení je taženo silnější cestou. +5 V je taženo cestou o šířce 1 mm k elektrolytickému kondenzátoru a ke stabilizátoru, který napájí GSM modul, neboť ten odebírá špičkově největší proud z celého zařízení. Tam, kde už nejsou potřeba k napájení větší proudy, je kladný potenciál tažen cestou o šířce 0,5 mm.



Obrázek 3.8: Osazená DPS

Zemní potenciál je řešený pomocí polygonu rozlité mědi. Jelikož jsou na DPS dva zemní potenciály, tak bylo nutné od sebe polygony s rozlitou mědí oddělit. Na obou stranách DPS jsou zemní potenciály propojeny jednak vývody THT součástek a navíc ještě několika prokovy, aby docházelo k rovnoměrnému toku proudu mezi oběma vrstvami DPS. Z důvodu větší přehlednosti nejsou na obr. 3.9 polygony rozlité mědi vyobrazeny.

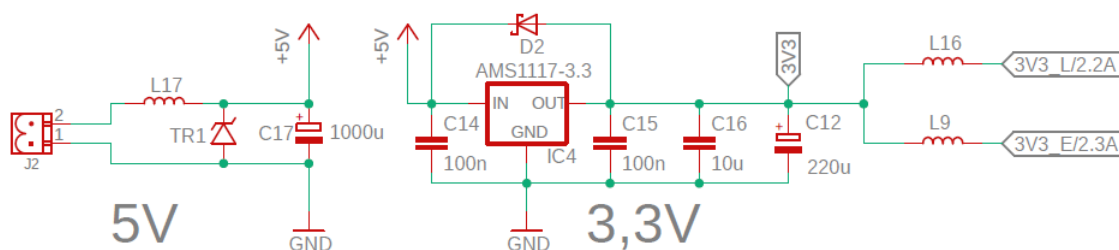


Obrázek 3.9: Návrh plošného spoje v softwaru EAGLE ve vrstvě top (nahore) a bottom (dole)

3.5 Popis schématu

V této kapitole bude v jednotlivých bodech popsáno schéma nadřazené řídicí jednotky, které je součástí přílohy B na str. 66.

Napájecí napětí: Většina periférií a procesor vyžadují 5V napájení, proto je jako primární zdroj použit spínaný zdroj na 230 V. Jedná se o typ RS-15-5, který je schopen při 5 V dodat proud až 3 A. Zdroj je umístěn na DIN liště a k DPS je připojen pomocí napájecích vodičů na konektor J2. Jako ochranný prvek proti prepólování napájecího napětí, nebo přepětí je mezi svorky +5 V a GND připojen transil TR1. Dále je k napájecí svorce +5 V připojena tlumivka L17, která by měla odfiltrovat případné rušení ze zdroje. K pokrytí proudových špiček celé DPS je použit elektrolytický kondenzátor C17.

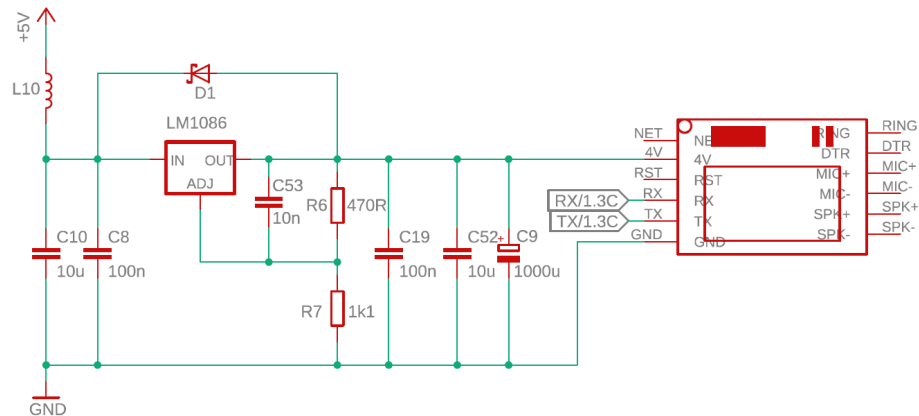


Obrázek 3.10: Schéma napájecího napětí 5 V a 3,3 V

Jelikož jsou v obvodu i součástky, které vyžadují 3,3V napájení, tak byl potřeba i zdroj napětí pro tyto obvody. Byl využit integrovaný obvod ASM1117, který je napájen z 5 V a na svém výstupu udržuje napětí 3,3 V bez dalších přídavných součástek a je schopen dodat proud až 1 A. Co nejbližší vstupu a výstupu jsou pouze blokovací kondenzátory (C14, C15) a na výstupu je tantalový (C16) a elektrolytický kondenzátor (C12) pro udržení konstantního napětí.

Zde jsou od sebe jednotlivé zařízení napájené 3,3 V také odděleny tlumivkami (L16, L9), aby nedocházelo ke vzájemnému rušení. Mezi vstupem a výstupem stabilizátoru IC4 je v závěrném směru připojena Schottkyho dioda. Slouží jako ochrana stabilizátoru při odpojení napájecího napětí. Pokud by na vstupu stabilizátoru došlo k rychlejšímu poklesu napětí než na výstupu, mohlo by dojít k jeho zničení, čemuž dioda zabrání.

GSM/GPRS modul: Modul SIM800L není integrován přímo na DPS, jako ostatní součástky. Byl zvolen již hotový modul, který je ovšem velmi citlivý na napájecí napětí a náchylný k poruše. Z toho důvodu není připájen na DPS, ale je pouze zasunut v patici pro snadnou výměnu při případné poruše.

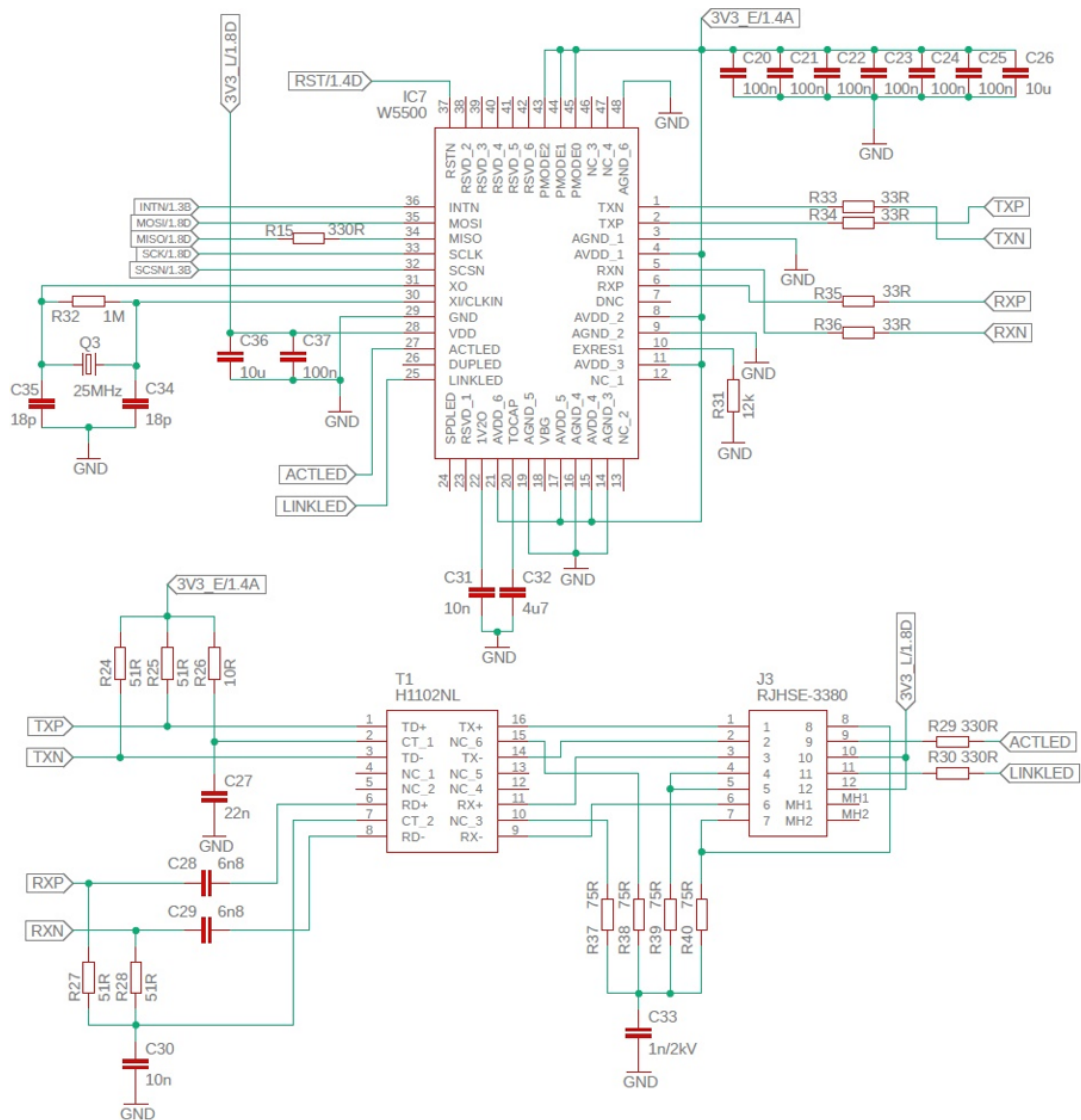


Obrázek 3.11: Schéma GSM/GPRS modulu se stabilizátorem

Obvod vyžaduje napájení v rozsahu 3,4 - 4,4 V a je schopen špičkově odebrat proud až 2 A při odesílání SMS. Z toho důvodu je stabilizátor umístěn blízko napájecích svorek DPS. Jako zdroj napětí byl zvolen stabilizátor napětí LM1086, který má nízký úbytek napětí 1,5 V v zatíženém stavu a cca 1,3 V naprázdno. Velikost výstupního napětí lze nastavit pomocí děliče napětí složeného ze dvou rezistorů R6 a R7. Nastavena byla nejvyšší možná hodnota napětí (3,7 V), která lze pomocí tohoto typu stabilizátoru z 5V vstupního napětí získat. Vstupní 5V napájení stabilizátoru je také opatřeno tlumivkou L10, stejně tak jako propojení vstupu a výstupu závěrně polarizovanou diodou D1 z důvodu ochrany stabilizátoru. Výstup je opatřen tantalovým (C52) a elektrolytickým kondenzátorem (C9) z důvodu pokrytí proudové špičky. Komunikace s μ P je zajištěna pomocí sériové linky UART (RX, TX), která je tolerantní vůči 5V logice.

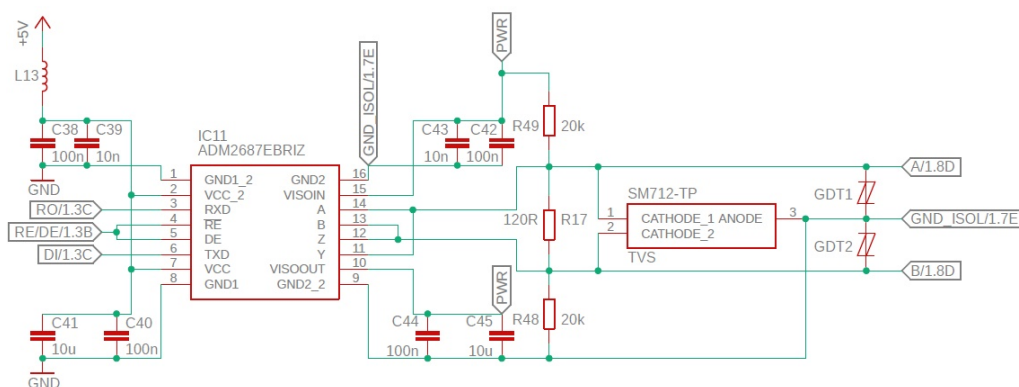
Ethernet modul: Ethernet zprostředkovává integrovaný obvod W5500, který je za pomoci externího krystalu Q3 taktován na frekvenci 25 MHz. Čip je napájen 3,3V napětím, které je také oddělené tlumivkou L16 patrné na obr. 3.10 na str. 37. Komunikaci s μP zprostředkovává sériová sběrnice SPI, která je tolerantní k 5V logice.

Konektor RJ-45 je kvůli omezenému místu v přístrojové krabici bez galvanického oddělení. Z toho důvodu musí být na DPS oddělovací transformátor H1102NL, který je běžně součástí konektoru. Kvůli dodržení elektromagnetické kompatibility jsou součástí sériové linky mezi konektorem RJ-45 a čipem W5500 dumpingové rezistory (R33 až R36) o hodnotě $33\ \Omega$ podle doporučení výrobce.[17]



Obrázek 3.12: Schéma Ethernet modulu

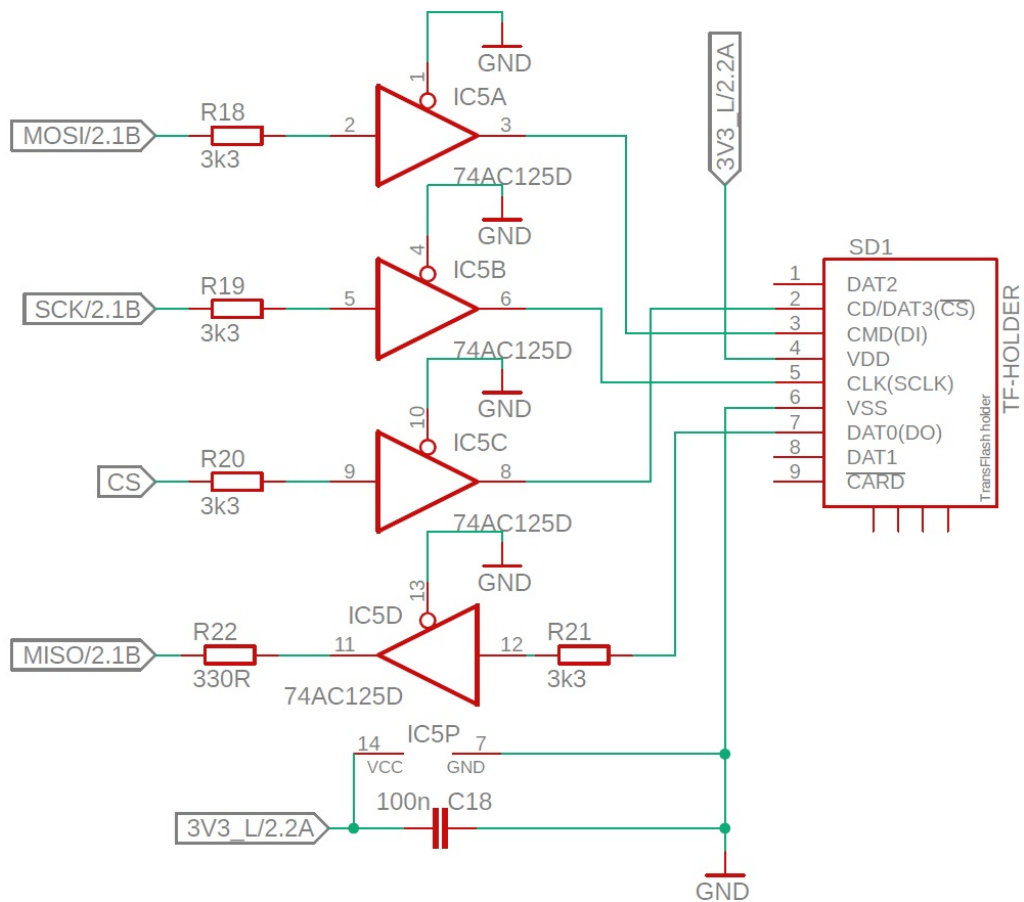
RS485: Komunikace s EVSE moduly v jednotlivých Wallboxech je zajištěna pomocí rozhraní RS485. Z důvodu ochrany μP před možným vysokonapěťovým pulzem je použit izolovaný převodník ADM2687, z rozhraní RS485 na TTL logiku s elektrickou pevností 5 kV. Převodník je ještě navíc chráněn proti elektrickému výboji bleskojistkami dimenzovanými na provozní napětí 12 V (GDT1, GDT2) a dále asymetrickou ochrannou diodou (transil) SM712, která je určena speciálně pro ochranu rozhraní RS485 a je navržena pro diferenciální napětí od -7 do +12 V. Mezi signálovými vodiči A a B je odpor R17 o velikosti 120 Ω , proti odrazům na vedení, a oba vodiče jsou připojeny pull up rezistory (R48, R49) k referenčnímu napětí. Převodník IC11 komunikuje s μP po sériové lince UART (RO, DI).



Obrázek 3.13: Schéma izolovaného převodníku z RS485 na TTL

SD slot: SD karta je napájena ze 3,3V zdroje, který byl použit i pro jiná zařízení na DPS. Napětí vyšší než 3,6 V by mohlo SD kartu trvale poškodit.

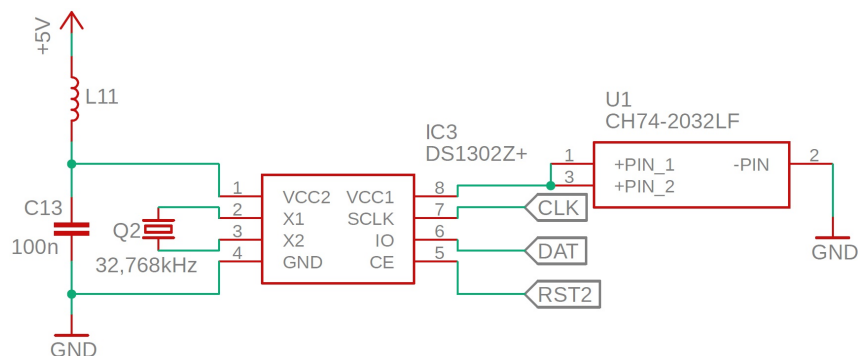
Jelikož μP a SD používají odlišné logické úrovně, tak bylo zapotřebí využít převodník logických úrovní IC5 z 5V logiky na 3,3V logiku a opačně, který takto funguje právě tehdy, je-li sám napájen 3,3 V. Jako převodník byl použit integrovaný obvod 74AC125, což je 4násobný 3stavový buffer (vyrovnávací paměť). Poté je již možné komunikovat mezi μP a SD kartou prostřednictvím sběrnice SPI s využitím bufferů. Tři vodiče (MOSI, SCK a CS) přenášejí signál z μP na SD kartu a MISO přenáší signál v opačném směru. Buffer IC5D je proto připojen opačně, což je patrné na obr. 3.14 na str. 41. Pro všechny 4 vyrovnávací paměti jsou použity odpory 3,3 k Ω , jako ochrana.[16]



Obrázek 3.14: Schéma modulu SD karty[16]

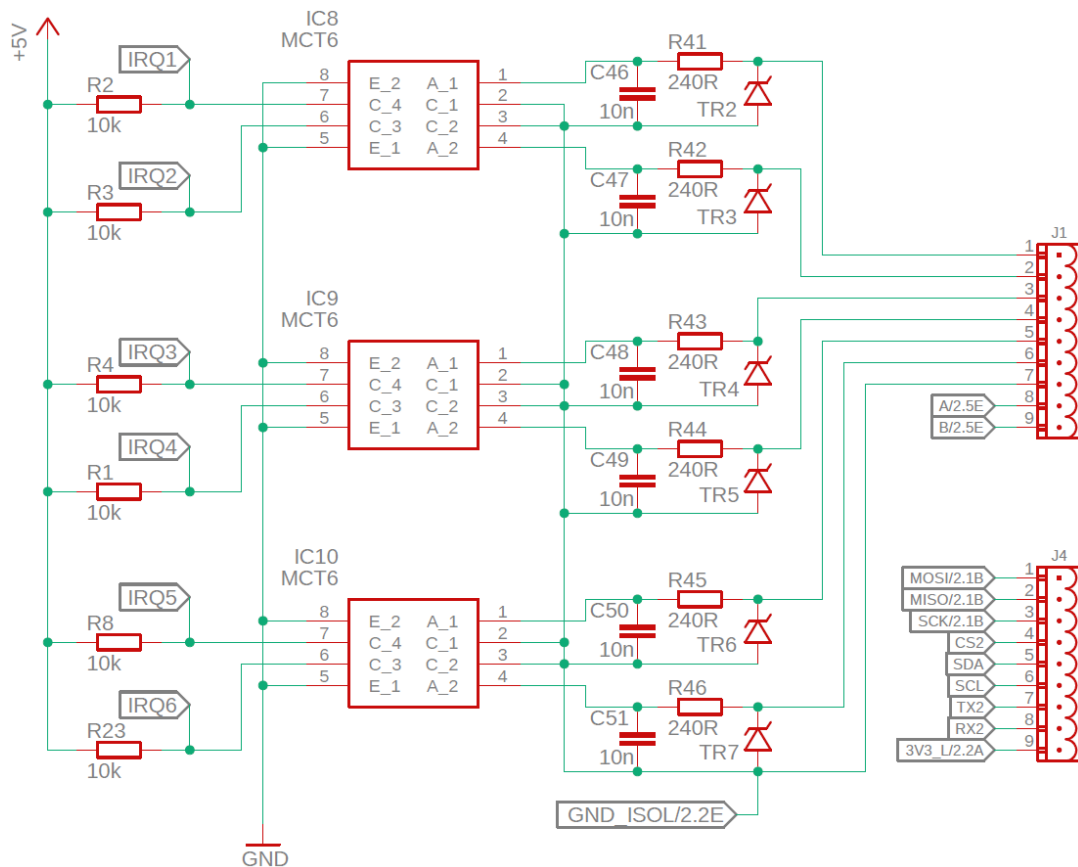
RTC modul: Modul reálného času zprostředkovává integrovaný obvod DS1302Z+ společně s hodinovým krystalem Q2, který rezonuje na standardizované frekvenci 32,768 kHz (2^{16} Hz), typické pro aplikace s reálným časem.

Jako záložní zdroj napájecího napětí pro RTC, při výpadku elektřiny, je použit knoflíkový monočlánek CR2032 ve vertikální patici U1. Komunikace s μP je zajištěna pomocí tří vývodů (CLK, DAT, RST2)



Obrázek 3.15: Schéma modulu reálného času

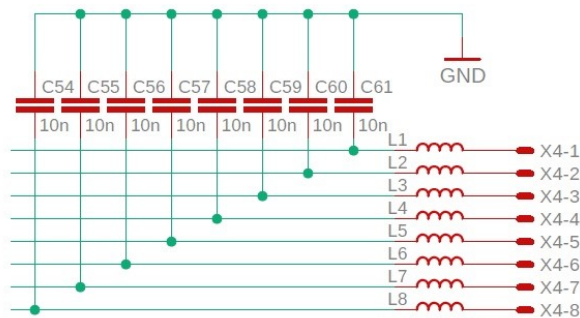
Optrony: Pulzy z elektroměrů, které čítá μP , musí být galvanicky odděleny z důvodu zamezení rušení z několika desítek metrů dlouhých vodičů od Wallboxů. K tomu je ideální použít oprtony. Odporů 240 Ω (R41 až R46) je nastaven pracovní proud pro LED diody uvnitř oprtonů (IC8 až IC10). Vznikne tak signálová proudová smyčka, která je odolná vůči rušení. Vstupy od elektroměrů jsou chráněny transily (TR2 až TR7). Těsně před vstupy optočlenů jsou ještě umístěny blokovací kondenzátory (C46 až C51) k pohlcení případného rušení. Tranzistorové výstupy oprtonů spínají přes pull up rezistory signál do přerušovacích vstupů μP (IRQ1 až IRQ6).[1][2]



Obrázek 3.16: Schéma galvanicky oddělených vstupů

Jelikož jsou vstupy z elektroměrů společně s RS485 galvanicky odděleny od μP , tak musí mít i oddělený zemní potenciál. Na DPS je řešený pomocí polygonu rozlité mědi (GND ISOL), který je odizolován od hlavního zemního polygonu GND.

Externí periferie: Externí periferie, jako je LCD displej, RFID čtečka čipových karet a klávesnice jsou vyvedeny, pomocí plochého kabelu o 20 vodičích, na víko nástěnné krabičky ve které je celé zařízení umístěno. Periferie jsou připojeny pomocí IDC konektoru.

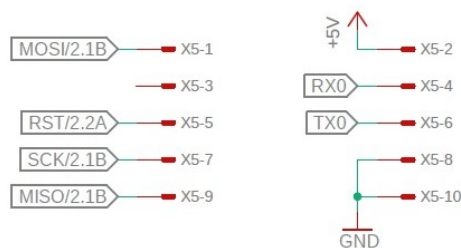


Obrázek 3.17: Schéma ošetření vstupů z klávesnice

Čtečka čipových karet MFRC 522 RFID je napájena 3,3V napětím a komunikuje s μ P po sběrnici SPI tolerantní vůči 5V logice. LCD displej je napájen 5V napětím a komunikace s μ P je zajištěna pomocí sběrnice I2C.

Klávesnice není sama o sobě nijak chráněna vůči několikanásobnému sepnutí při stlačení tlačítka, jenž je způsobeno zakmitáním kontaktů. Z toho důvodu byl každý vodič z klávesnice opatřen kondenzátorem připojeným mezi vstup do μ P a GND. Dojde-li tak k záchvěvům tlačítka před úplným stisknutím, nebude signál vyhodnocen, dokud se nenabije jeden z kondenzátorů (C54 až C61) na dostatečnou úroveň potřebnou pro vyhodnocení stisku. Opatření proti záchvěvům tlačítka je pro jistotu provedeno i softwarově. Vodiče od klávesnice jsou navíc ještě opatřeny feritovými perlami (L1 až L8) z důvodu ochrany vstupů μ P před nežádoucím rušivým napětím, které by se mohlo na vodičích naindukovat.

Programovací konektor: Do μ P se nahrává program přes sběrnici SPI pomocí ICSP programátoru s konektorem IDC. V konektoru je obsažena navíc ještě sériová linka UART (RX0, TX0), pomocí které lze zobrazovat zprávy přes sériový monitor v PC.



Obrázek 3.18: Schéma zapojení programovacího konektoru

Doplňkové rozhraní: Aby byla řídicí jednotka modulární a umožňovala připojení dalších komponent, tak byla doplněna ještě navíc o konektor J4, který obsahuje rozhraní SPI, I2C a UART obr. 3.16 na str. 42. Díky tomu by bylo možné připojit např. platební terminál, aniž by musel být dodatečně upravován plošný spoj.

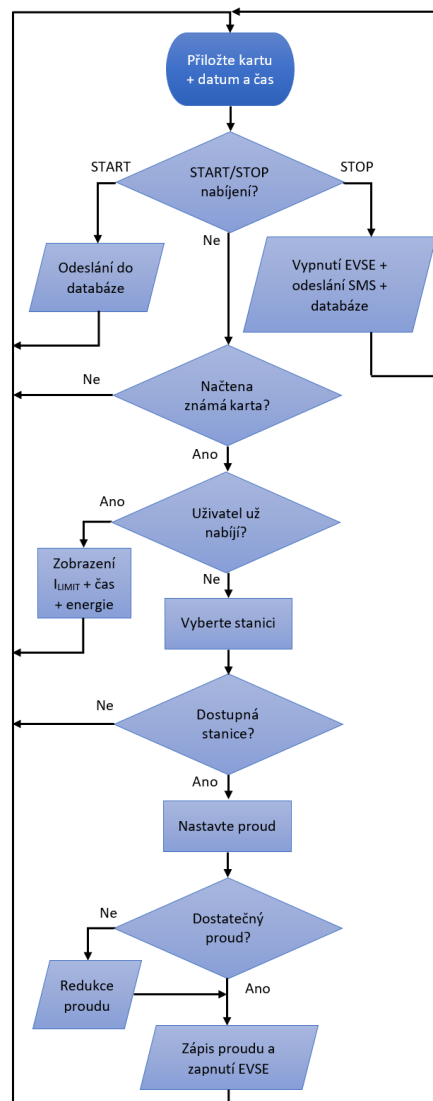
4 Popis programové části

Program byl napsán v prostředí Arduino IDE a je řešen jako stavový automat, ve kterém je napsán hlavní program. Program se pak pohybuje mezi jednotlivými kroky postupně od začátku do konce tak, jak je znázorněno ve vývojovém diagramu na obr. 4.1. Ostatní činnosti, jako jsou: zápis na displej, čtení a zápis registrů z EVSE, čtení RFID karet, čtení z klávesnice, přijímání a odesílání SMS, komunikace s databází atd., jsou řešeny jako funkce, které jsou hlavním programem volány. Tato koncepce byla zvolena z důvodu přehlednosti kódu.

4.1 Procesy na pozadí

Pokud je nabíjecí stanice zapnutá a není přihlášen žádný z uživatelů, tak jsou všechny Wallboxy softwarově vypnuty. Pomocí registru 2002 je proud nastaven na 0 A, čímž je stanice vypnuta. Nemůže se tak stát, že by si mohl neregistrovaný uživatel nabíjet vozidlo, aniž by se přihlásil pomocí platné čipové karty.

Uživatel, který se úspěšně přihlásí k jednomu z Wallboxů je automaticky spárován s daným číslem zařízení pomocí identifikačního čísla karty, kterou vlastní. Poté si uživatel vybere volnou stanici a limitní proud. Pokud nemusí dojít k redukci proudu popsané v kapitole 4.4 na str. 48, tak se zapne EVSE na vybraném stanovišti a zapíše se do něj zvolený proud. Program přejde na začátek a kontrolují se



Obrázek 4.1: Vývojový diagram programu

statusy vozidla pomocí komunikace přes rozhraní RS485. Uživatel pak pouze připojí své vozidlo pomocí nabíjecího kabelu a pokud to vozidlo umožňuje, tak se začne nabíjet. V tu chvíli jsou odeslány údaje o zahájení nabíjení do databáze. Údaje obsahují informaci o uživateli, zvoleném proudu, nabíjecím stanovišti a o čase. Následuje průběžná kontrola statusů nabíjení na aktivní stanici, popsanych v kapitole 1.2 na str. 17, dokud není nabíjení ukončeno ze strany vozidla. Poté je používaný Wallbox vypnut a do databáze jsou odeslány údaje o nabíjení obsahující informace o uživateli, celkovém čase nabíjení a spotřebované energii. Následuje zaslání SMS, která obsahuje stejné údaje a informuje uživatele o ukončeném nabíjení.

4.2 Uživatelské prostředí

Přijde-li uživatel k nabíjecí stanici, je nejprve vyzván hláškou na LCD, aby přiložil čipovou kartu ke čtečce, čímž se legitimuje. Společně s hláškou je zobrazován i aktuální datum a čas.

Je-li karta známá, přístup je povolen a na LCD se vypíše jméno právě legitimovaného uživatele.

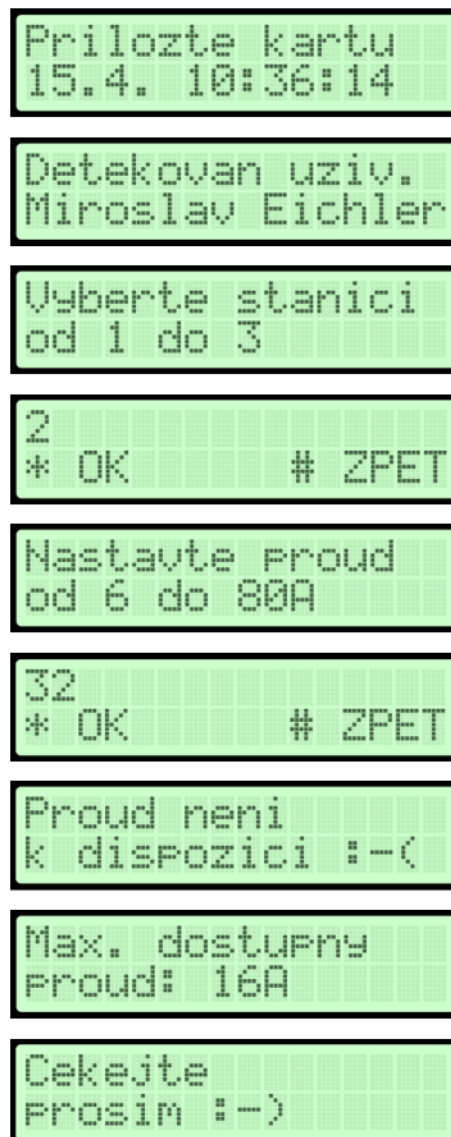
Poté je uživatel vyzván k výběru stanice, u které chce nabíjet.

Po stisknutí klávesy s číslem stanice se objeví hláška k potvrzení volby, případně k návratu zpět a nové volbě stanice. Po stisknutí OK je uživatel vyzván k volbě limitního proudu pro své vozidlo společně s rozsahem proudu, který lze nastavit.

Po zvolení požadované hodnoty je opět uživatel vyzván k potvrzení, nebo návratu zpět a nové volbě proudu.

Pokud je zvolený proud dostupný, nebo nepřevyšuje povolenou hodnotu, je přidělen uživateli. Pakliže proud převyšuje povolenou hodnotu, nebo není dostupný z nějakého jiného důvodu popsaného v kapitole 4.4 na str. 48, tak je zobrazena hláška o nedostatečném proudu a následně je pomocí algoritmu vypočítán nový proud, který je zobrazen na LCD.

Poté je do zvolené stanice zapsána, pomocí registru 1000, požadovaná hodnota proudu a pomocí registru 2002 je zapsána minimální hodnota proudu 5 A, čímž se stanice aktivuje.



Obrázek 4.2: Vizualizace volby proudu na LCD

Po potvrzení se na displeji zobrazí hláška o úspěšném zapnutí stanice. Pokud ještě není vozidlo připojeno, v tuto chvíli tak lze učinit. Kromě vozidla už nebrání nic tomu, aby bylo nabíjení zahájeno.

Po tomto kroku se zobrazí na LCD aktuální čas a výzva k přiložení čipové karty. Nyní se může k nabíjecí stanici přihlásit nový uživatel na jiném stanovišti. Mezi tím si může předešlý uživatel připojit své vozidlo, pokud tak stále neučinil.

Po připojení jsou čteny statusy (registr 1002), které jsou posané v kapitole 1.2 na str. 17. Přejde-li vozidlo do statusu B2, kdy je nabíjení povoleno, tak EVSE na vybraném stanovišti sepne 3f stykač, který připojí palubní nabíječku elektromobilu k síťovému napětí. Elektromobil přejde do statusu C a na LCD se objeví hláška o zahájení nabíjení.

Po zahájení nabíjení přejde stanice opět na začátek programu a vyzve uživatele k přihlášení.

Pokud se přihlásí již aktivní uživatel, zobrazí se mu informace o probíhajícím nabíjení společně s nastaveným limitním proudem. V následujícím kroku se zobrazí čas nabíjení a nabitá energie. Tento údaj může sloužit pro kontrolu v průběhu nabíjení.

Program neustále kontroluje stavy připojených vozidel a pokud některé z nich ukončí nabíjení, tak přejde do statusu B2 a na LCD se zobrazí hláška o ukončení nabíjení na konkrétní stanici.

Následně na to se i zobrazí čas nabíjení a spotřebovaná energie.



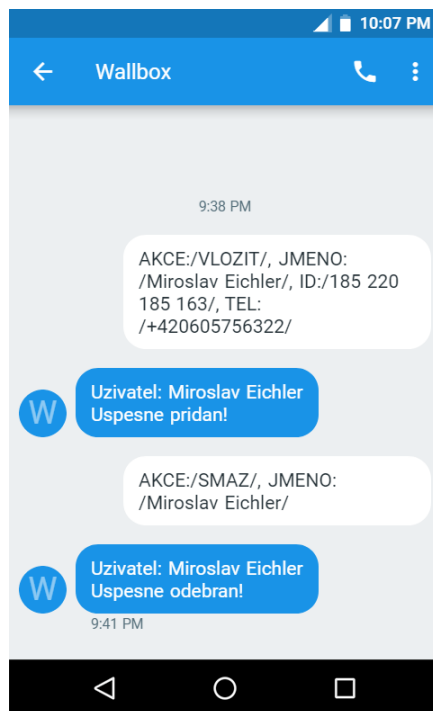
Obrázek 4.3: Vizualizace průběhu nabíjení na LCD

4.3 Editace uživatelů

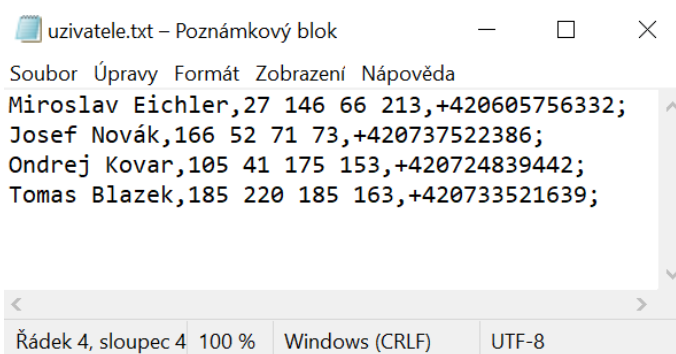
Přidání uživatele: Uživatele lze přidat nebo odebrat dvěma způsoby. Pokud chceme přidat větší množství uživatelů, využijeme způsob vyjmutí paměťové SD karty a úpravy textového souboru *uzivatele.txt* v PC. Toto řešení bude rychlejší a jednodušší pro přidání více uživatelů např. při prvním použití ve firmě. Stačí jen dodržet správné formátování viditelné na obr. 4.5 na str. 47, aby byly údaje správně načteny.

Pokud však nastoupí nový zaměstnanec, tak není vhodné rozdělovat zařízení a vysouvat paměťové médium. V tomto případě lze snadno přidat

jednotlivce zasláním SMS na tel. číslo nabíjecí stanice. Údaje jsou zapsány do paměti μ P a následně i do textového souboru na SD kartě. Uživatele může přidávat pouze správce, jehož tel. číslo je předem známé. SMS musí obsahovat klíčová slova, pomocí kterých lze identifikovat jméno, ID a tel. číslo uživatele, jako je patrné z obr. 4.4. Pakliže byl nový uživatel úspěšně přidán, tak přijde zpět na tel. číslo správce ověřovací SMS o úspěšném zapsání uživatele.



Obrázek 4.4: Editace uživatele pomocí SMS



Obrázek 4.5: Ukázka textového souboru s uživateli

Odebrání uživatele: Stejně tak, jako přidat uživatele jej lze i odebrat, a to zasláním SMS s klíčovými slovy pro odebrání uživatele, jak je patrné na obr. 4.4. Smazán je nejprve z paměti μ P a následně i z textového souboru na SD kartě. Pokud proběhne smazání úspěšně, tak opět přijde zpět ověřující SMS o úspěšném odstranění.

4.4 Dynamické rozdělování dobíjecího proudu

Pokud je použito více dobíjecích stanic, je třeba myslet také na omezení dobíjecího proudu pro všechny stanice, které je dáno rezervovaným příkonem dané budovy, kde jsou nabíjecí stanice umístěny. Nepředpokládá se, že by byly vytíženy všechny stanice najednou na plný výkon. Proto je zbytečné dimenzovat napájecí soustavu pro nabíjecí stanice na maximální výkon všech Wallboxů. V praxi se to ani nedělá. Pro síť Wallboxů jsou nejpravděpodobnější 2 scénáře. Buďto jsou Wallboxy umístěny na parkovišti před obchodním domem, kde se najednou vyskytne méně aut na kratší dobu, takže nejsou obsazeny všechny pozice a je možné nabíjet méně aut na plný výkon v kratším čase. Nebo jsou Wallboxy umístěny na firemním parkovišti, kde jsou sice obsazeny všechny pozice, avšak vozidla zde stojí minimálně 8 hodin, tudíž je možné všem trvale snížit nabíjecí proud. Pokud ale přijede prioritní uživatel, což může být v tomto případě nadřízený, který potřebuje častěji odjíždět na pracovní schůzky, tak je nezbytné, aby mohl nabíjet vozidlo maximálním možným proudem (s ohledem na ostatní uživatele). Pak by bylo možné ubrat každému z uživatelů pouze malé množství proudu na úkor prioritního uživatele.

Je třeba, aby byla napájecí soustava dimenzována tak, aby k omezení proudu ostatním uživatelům docházelo co nejméně. V obou těchto případech by byla soustava nejspíš dimenzována odlišně, ale může se stát, že rezervovaný příkon dosáhne maxima a pak přijde na řadu algoritmus pro distribuci omezeného dobíjecího proudu.

Může nastat více scénářů, které jsou patrné ve vývojovém diagramu 4.7 na str. 50.

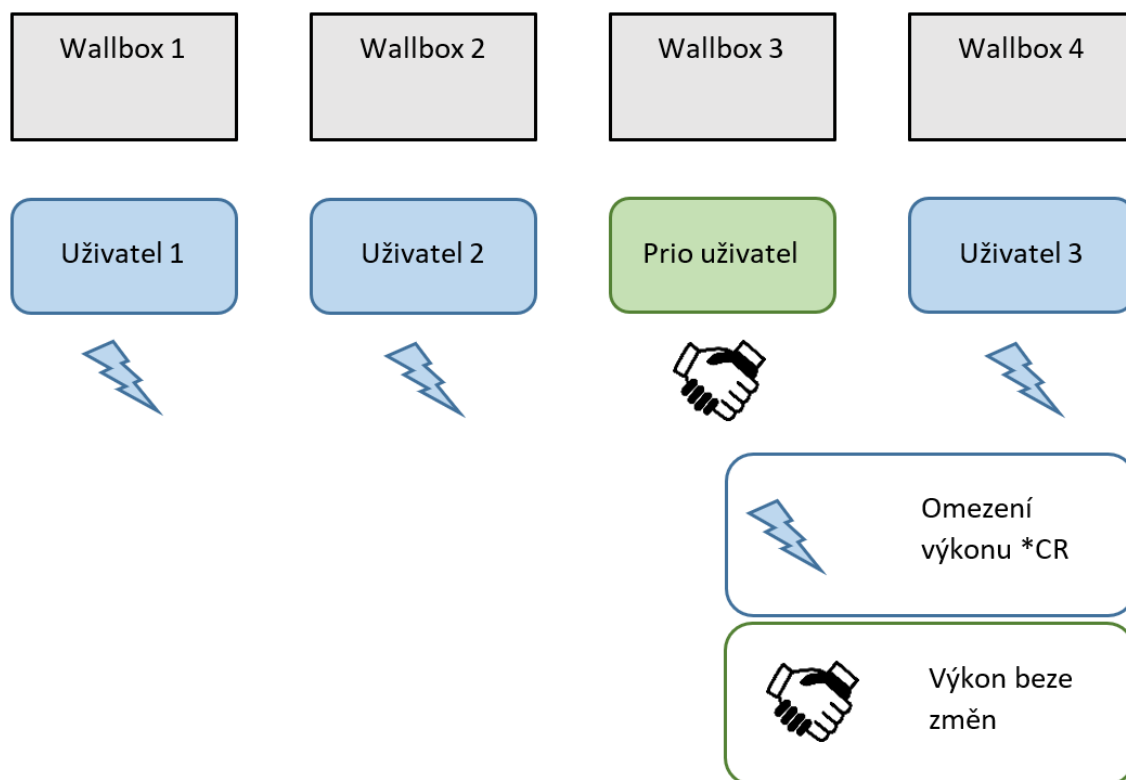
4.4.1 Běžný uživatel

Pokud se ke stanici přihlásí běžný uživatel a jím zvolený proud nepřesáhne v součtu s ostatními uživateli maxima, a zároveň nepřesáhne maxima na jednoho uživatele, tak je uživateli proud přidělen. Je-li už rezervovaný příkon vyčerpán ostatními uživateli, tak dostane nový uživatel pouze minimální stanovenou hodnotu proudu na jednoho uživatele. Ostatním uživatelům se proud zmenší ve stejném poměru, jako tomu bylo před přihlášením nového uživatele.

Z poměru celkového proudu před a po přihlášení nového uživatele je vypočtena redukční konstanta $CR \in (0, 1)$, kterou jsou všechny ostatní proudy vynásobeny a zredukovány na požadovanou hodnotu. To je možné jen za předpokladu, že již stávající uživatelé dostanou alespoň minimální proud. Pokud by už měli všichni uživatelé minimální proud, nebo by hodnota proudu pro nového uživatele, o kterou by byli stávající uživatelé poníženi, nedosáhla minima proudu, tak by byl jednoduše zamítnut přístup. Nestane se tak, že by na úkor nového běžného uživatele byl odebrán přístup stávajícímu uživateli.

4.4.2 Prioritní uživatel

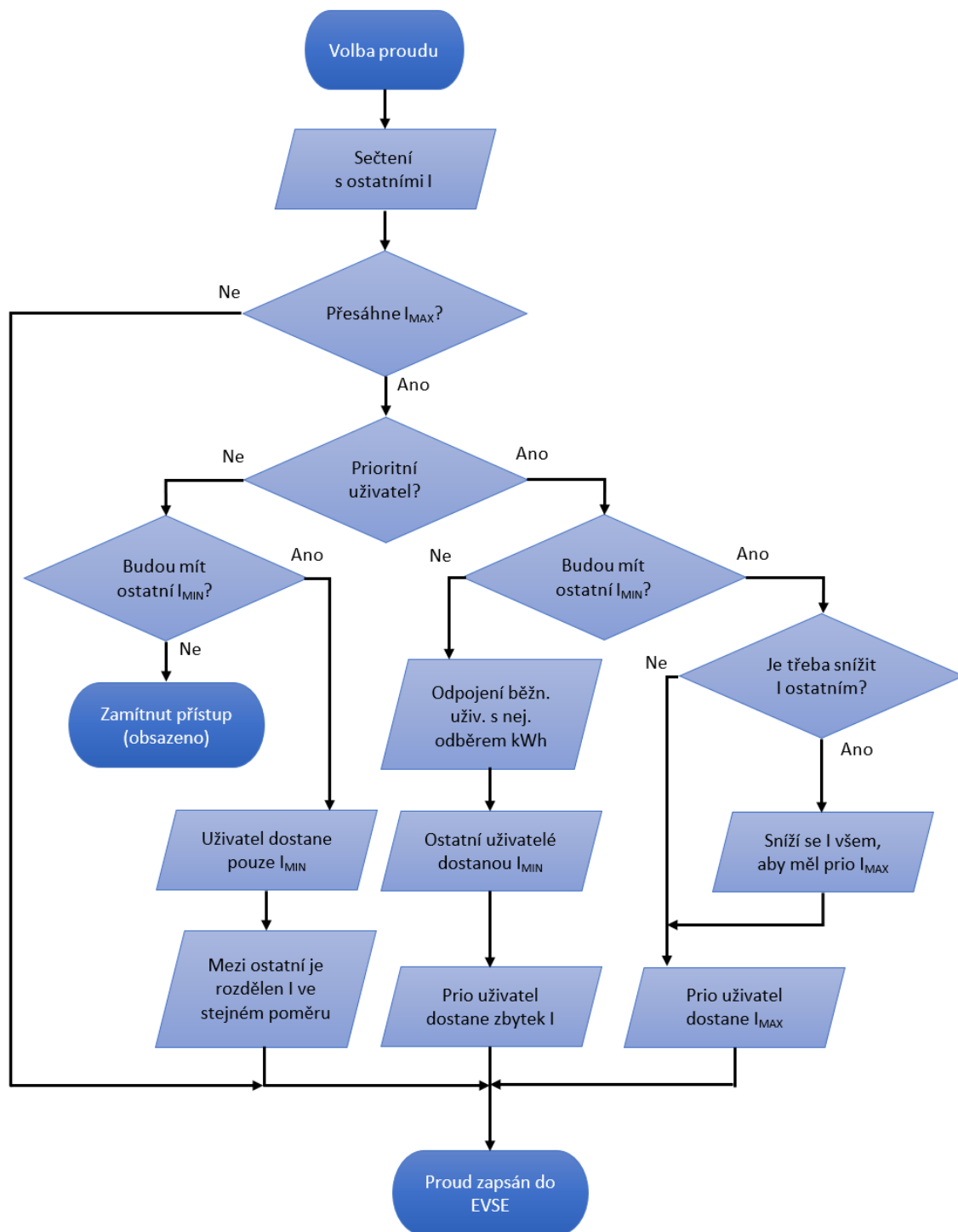
Prioritní uživatel má tu výhodu, že může dostat požadovaný proud, který ale nesmí přesáhnout maximum na uživatele. Pokud tedy rezervovaný příkon dosáhl maxima, tak nový prioritní uživatel může ubrat ostatním právě tolik proudu, kolik potřebuje pod podmínkou, že ostatní aktivní uživatelé dostanou alespoň minimální proud. Mezi ostatní uživatele je opět proud rozdělen ve stejném poměru, jako před tím. Dostanou-li však ostatní uživatelé pouze minimum proudu, tak je prioritnímu uživateli přiřazen zbytek (rozdíl mezi součtem ostatních uživatelů a rezervovaným příkonem).



Obrázek 4.6: Omezení proudu pro běžné uživatele se zachováním proudu pro prioritního uživatele

Pokud by už všichni aktivní uživatelé byli na spodní hranici nabíjecího proudu a nešlo by tak učinit další plošnou redukci, tak by byl odpojen běžný uživatel, který již odebral největší množství energie ze všech. K tomuto kroku by mělo docházet co nejméně, avšak je třeba počítat i s touto možností. Nemělo by se tak stát, že by prioritnímu uživateli byl zamítnut přístup k nabíjecí stanici.

Zároveň se nebude plošná redukce proudu, při přihlášení nového uživatele, týkat již aktivního prioritního uživatele, jak je patrné z obr. 4.6.



Obrázek 4.7: Vývojový diagram proudového omezení

5 Zástavba a testování

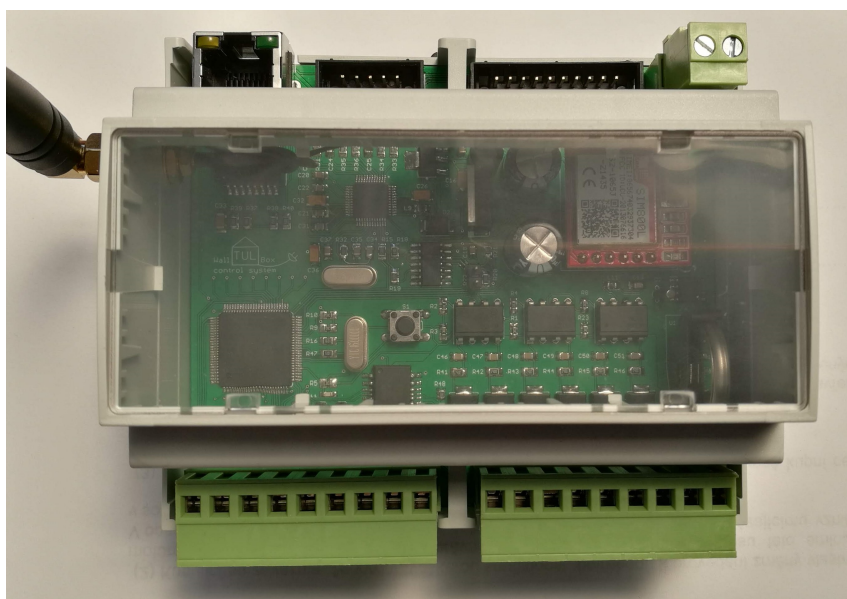
Poslední fází vývoje bylo umístění celého zařízení do nástěnné skříňky, která zajišťuje částečnou ochranu před vnějšími vlivy a možným mechanickým poškozením. Poté bylo možné zařízení otestovat z uživatelského hlediska.



Obrázek 5.1: Master nabíjecí stanice v nástěnné skříňce

5.1 Zástavba zařízení do nástěnné skříňky

Po realizaci DPS nic nebránilo tomu, aby byly všechny součásti zastavěny do nástěnné skříňky. DPS byla umístěna do šestimodulové přístrojové krabičky patrné na obr. 5.2, pro kterou byl zvolen i samotný rozměr DPS. Jelikož je možné všechny komponenty společně s DPS umístit na DIN lištu, tak bylo potřeba jen rozvrhnout jejich pozice a podle toho vybrat adekvátní rozměr a typ skříňky. Byla vybrána nástěnná skříňka z plastu ABS se stupněm krytí IP65, jejíž rozměry jsou (252 x 352 x 142 mm). Velikost byla zvolena tak, aby bylo možné vše umístit s dostatečnou rezervou. K otevírání dvířek slouží servisní klíč. V případě potřeby by bylo možné dvířka opatřit bezpečnostním zámkem.



Obrázek 5.2: Nadřazená řídicí jednotka v šestimodulové přístrojové krabičce

Uvnitř jsou komponenty uchyceny ve dvou řadách na DIN lištách. V první řadě je zleva 5V zdroj napětí, EVSE modul, stykač a elektroměr a ve druhé je nadřazená řídicí jednotka a proudový chránič, jak je vidět na obr. 5.3 na str. 53. Wallbox je dimenzován na 16 A. Limitující je v tomto směru především nabíjecí kabel k elektromobilu, což je nejdražší položka. Podle toho se poté odvíjí ostatní komponenty, jako je přívodní kabel, stykač a proudový chránič. Silové vodiče uvnitř skříňky o průřezu 4 mm^2 jsou naddimenzovány na 25 A, stejně tak jako stykač a proudový chránič, který je dokonce dimenzován na 40 A. Díky tomu je možné v budoucnu připojit přívodní a nabíjecí kabel o větším průřezu a ovládat tak vyšší nabíjecí proud. Nicméně pro účely testování dimenzovaný proud 16 A plně dostačuje. Od 5V zdroje je DPS napájena vodiči o průřezu $1,5 \text{ mm}^2$. Rozhraní RS485 je taženo k EVSE krouceným vodičem. Ostatní spojení, jako je např. zemní potenciál GND od DPS k EVSE, nebo pulzy od elektroměru jsou taženy vodiči o průřezu $1,5 \text{ mm}^2$. Napájení EVSE 230V napětím je vedeno od výstupu proudového chrániče fázovým vodičem o průřezu $2,5 \text{ mm}^2$ a stejným průřezem jsou vedeny i vodiče PE a N.

Přívodní a nabíjecí kabel jsou vedeny skrz kabelové vývodky, které mají stupeň krytí také IP65. Jelikož u ostatních součástí, jako je klávesnice a LCD displej, není stupeň krytí stanoven, tak není ani možné určit stupeň krytí celého zařízení. Pozice třetí kabelové vývodky je zaslepena kabelovou průchodkou, do které je možné vést kabel s rozhraním RS485 a pulzními vstupy od podružných Wallboxů (Slave stanice). Displej je zevnitř zapuštěn do víka skříňky a čtečka RFID je ze spodní strany víka přišroubována. Pouze membránová klávesnice je přilepena zvenku na víku skříňky. Plochý kabel od klávesnice je veden dovnitř skříňky skrz plochý výřez pod přilepenou klávesnicí, takže není zvenku vidět a neměl by nijak zásadně snižovat stupeň krytí. Vše zmíněné je patrné na obr. 5.3.



Obrázek 5.3: Komponenty uvnitř Master nabíjecí stanice

5.2 Testování

Po zástavbě nabíjecí stanice do nástěnné skříňky bylo zařízení otestováno. Přestože byla sestavena pouze Master stanice, tak byl test proveden i na podružné stanici (Slave), která byla pouze simulována pomocí druhého EVSE modulu, jak je patrné na obr. 5.4.



Obrázek 5.4: Master stanice se simulovanou Slave stanicí

K samotnému testování nabíjení byl zapůjčen elektromobil Škoda Citigo iV, který je vybaven palubní 2f nabíječkou, jenž může odebírat z rozvodné sítě proud až 2x16 A. Ze dvou fází je to maximální příkon 7,2 kW. Baterii o kapacitě 36,8 kWh je tak možné nabít za cca 5 hodin.[13]

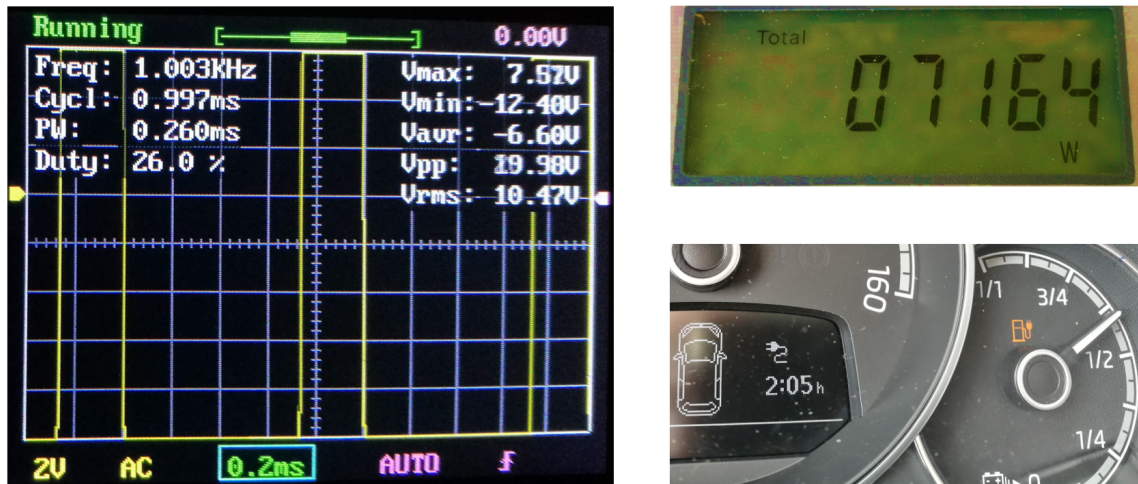
U nabíjecí stanice byl omezen limitní proud pro všechny stanice na 16 A (rezervovaný příkon). Jelikož je to i maximální proud, který může testované vozidlo odebírat, tak bude patrný pokles proudu, po připojení simulované Slave stanice, z důvodu proudového omezení popsaného v kapitole 4.4 na str. 48.

Elektromobil Škoda Citigo iV byl připojen k nabíjecí stanici. Jelikož nebyl legitimován uživatel pomocí přístupové karty, tak nebylo nabíjení zahájeno. Tímto je nabíjecí stanice ochráněna před nabíjením cizími uživateli. Následně se běžný uživatel Ondřej přihlásil pomocí přístupové karty a zvolil stanici č. 2 (Master), na kterou je připojeno vozidlo, a nabíjecí proud 16 A. Proud byl zapsán, pomocí protokolu Modbus fungujícím na rozhraní RS485, do EVSE modulu Master stanice společně se signálem určeným k aktivaci EVSE modulu. Bezprostředně po aktivaci stanice bylo nabíjení zahájeno.



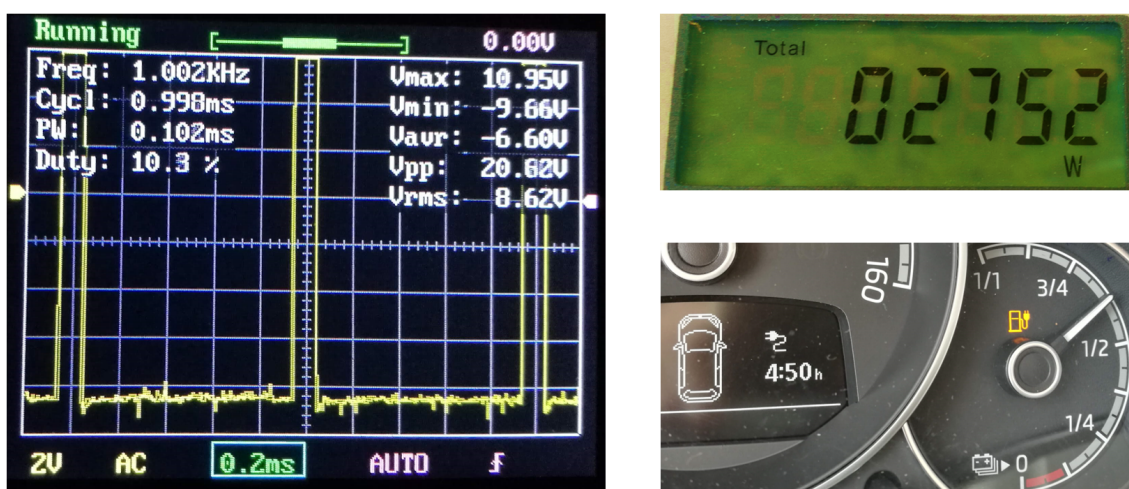
Obrázek 5.5: Testovací elektromobil Škoda Citigo iV

Na průběhu z osciloskopu na obr. 5.6, který je připojen mezi vodič *CP* a *PE* nabíjecího kabelu, je patrné, že je EVSE modulem generován PWM signál o frekvenci 1 kHz se střídou 26 %, což odpovídá právě proudu 16 A. K měření střídy PWM signálu byl využit digitální osciloskop DSO138, který nepatří k nejpřesnějším, nicméně pro ověření střídy PWM signálu je dostačující. Na přístrojové desce vozidla je vidět čas zbývající do konce nabíjení, což je patrné také na obr. 5.6.



Obrázek 5.6: Průběh signálu na osciloskopu odpovídající proudu 16 A (vlevo), okamžitý příkon měřený elektroměrem (vpravo nahoře) a údaj o zbývajícím čase nabíjení z přístrojové desky vozidla (vpravo dole)

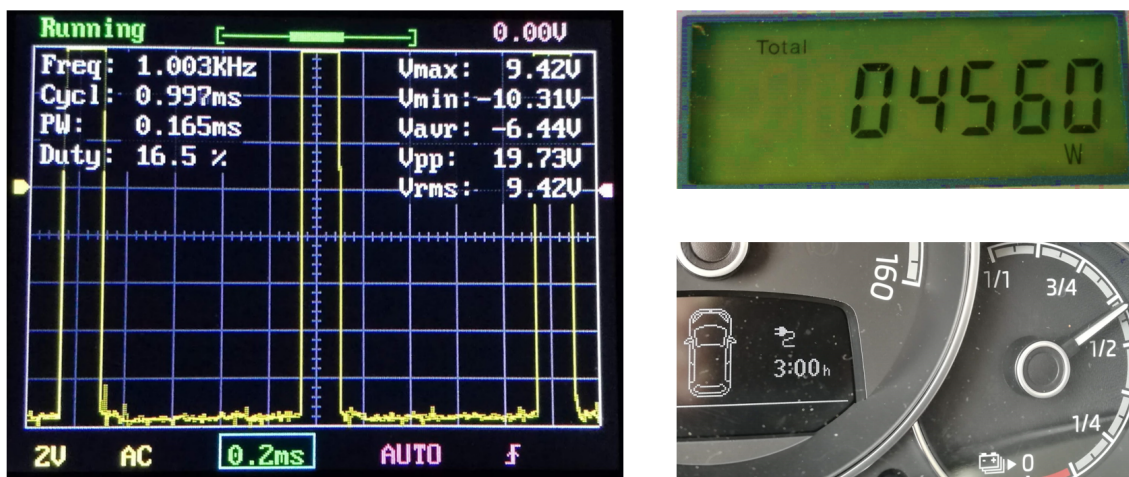
V průběhu nabíjení se ke stanici přihlásil prioritní uživatel Miroslav, který má možnost nabíjet své vozidlo co nejvyšším proudem za podmínky, že běžnému uživateli zbyde alespoň minimální proud, což je v tomto případě 6 A. Prioritní uživatel si sice zvolil proud o hodnotě 16 A, ale jelikož už nabíjí běžný uživatel Ondřej svůj vůz Škoda Citigo iV, tak je mu přidělen pouze rozdíl mezi maximálním proudem pro všechny stanice a minimálním proudem 6 A, který byl nově přidělen běžnému uživateli Ondřejovi. Miroslav má tedy nárok na proud 10 A. Po zapsání proudu do EVSE modulu, který simuluje Slave stanici č. 1, je na osciloskopu vidět, že střída generovaného signálu se snížila z 26 % na 10 %, což odpovídá proudu 6 A. Tomu odpovídá i čas do konce nabití, který se prodloužil z 2:05 hod na 4:50 hod, patrné na obr. 5.7.



Obrázek 5.7: Průběh signálu na osciloskopu odpovídající proudu 6 A (vlevo), okamžitý příkon měřený elektroměrem (vpravo nahoře) a údaj o zbývajícím čase nabíjení z přístrojové desky vozidla (vpravo dole)

Poté se prioritní uživatel Miroslav, využívající Slave stanici č. 1 odpojil, díky čemuž opět vzrostl proud, běžnému uživateli Ondřejovi na stanici č. 2, z 6 A na původně nastavených 16 A, což je patrné na zbývajícím čase do nabití na přístrojové desce, který se snížil z 4:50 h na 2:05 h a na průběhu signálu z osciloskopu, u kterého se zvýšila střída na původních 26 %, což odpovídá proudu 16 A. Hodnoty zůstaly stejné, jako na obr. 5.6 na str. 55.

Dále se legitimoval běžný uživatel Tomáš na stanici č. 1, která už není používána. Tomáš zvolil také proud 16 A, ale jelikož byl proud, přidělený pro všechny stanice, vyčerpán uživatelem Ondřejem, který proudem 16 A již nabíjí, tak byl Tomášovi přidělen pouze minimální proud, což je 6 A. Ondřejovi byl proud snížen na 10 A. Čas nabíjení se prodloužil z 2:05 h na 3:00 h a střída signálu se snížila na 16 %, což je patrné na obr. 5.8 na str. 57



Obrázek 5.8: Průběh signálu na osciloskopu odpovídající proudu 10 A (vlevo), okamžitý příkon měřený elektroměrem (vpravo nahoře) a údaj o zbývajícím čase nabíjení z přístrojové desky vozidla (vpravo dole)

Poté se Tomáš odhlásil a proud se Ondřejovi opět zvýšil na předem nastavenou hodnotu 16 A stejně tak, jako tomu bylo v případě znázorněném na obr. 5.6 na str. 55. Všechny popsané průběhy nabíjení jsou seřazeny tak, jak následovaly za sebou v tabulce 5.1.

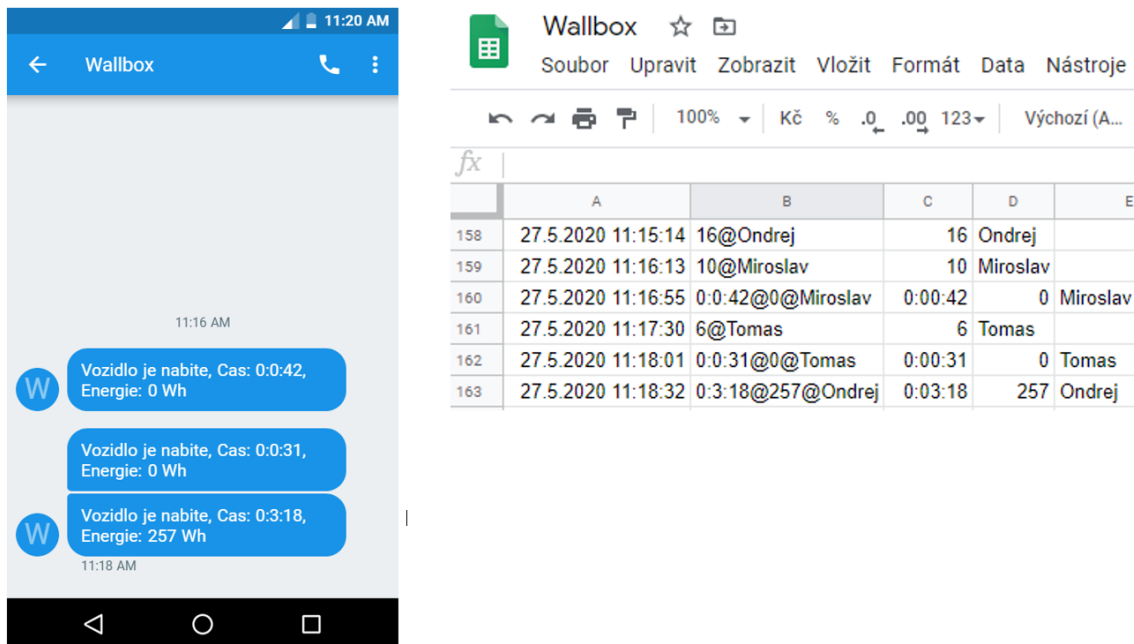
| <i>Stanice 1</i> | <i>Stanice 2</i> | <i>I 1 [A]</i> | <i>I 2 [A]</i> | <i>Stř. St.2 [%]</i> | <i>P [kW]</i> | <i>Čas [hod]</i> |
|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------------|---------------|------------------|
| - | Ondřej | - | 16 | 26 | 7,2 | 2:05 |
| Miroslav (Prio) | Ondřej | 10 | 6 | 10 | 2,8 | 4:50 |
| - | Ondřej | - | 16 | 26 | 7,2 | 2:05 |
| Tomáš | Ondřej | 6 | 10 | 16 | 4,6 | 3:00 |
| - | Ondřej | - | 16 | 26 | 7,2 | 2:00 |

Tabulka 5.1: Pořadí obsazení obou nabíjecích stanic jednotlivými uživateli s příslušnými nabíjecími proudy a střídou PWM signálu nabíjeného vozidla, aktuálním příkonem a časem do konce nabíjení

Vždy, při zahájení nabíjení, byl do databáze odeslán řetězec údajů, ve kterém je jméno uživatele a zvolený proud. Stejně tak při ukončení nabíjení byla odeslána spotřebovaná energie a čas nabíjení společně s SMS patrné na obr. 5.9, obsahující stejné údaje.

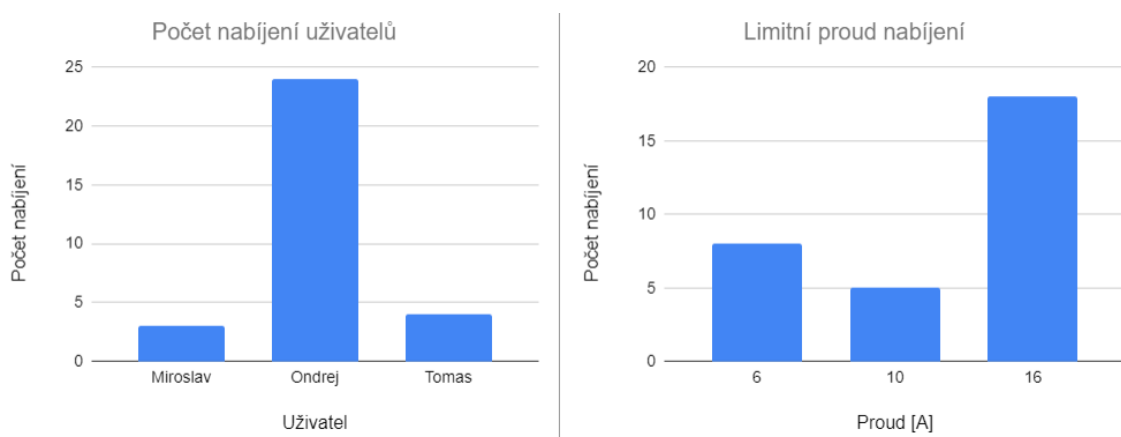
Jelikož náplní diplomové práce nebyla tvorba databáze s vykreslováním hodnot do sofistikovaných grafů, byly pro názornost zvoleny tabulky od společnosti Google (Google Docs), které byly naprogramovány tak, aby přijatý řetězec rozdělily podle znaku @ do jednotlivých sloupců, jak je patrné na obr. 5.9, ze kterých jsou pak vykresleny dva jednoduché grafy patrné na obr. 5.10. V průběhu testování bylo provedeno přerušovaně několik kratších testů a data v grafech na obr. 5.10 obsahují údaje z celého testování. Z důvodů časově omezené dostupnosti zapůjčeného

vozu neproběhl několikahodinový test nabíjení. Nicméně nabíjení fungovalo podle předpokladu a ukončováno bylo tlačítkem ve vozidle, které je k tomu určené, takže ani s přerušáním proudu, ze strany vozidla, po dosažení plné kapacity baterie, by neměl být problém. Během testu byla přerušovaně dodána energie 4,5 kWh.



Obrázek 5.9: Zasláné SMS uživateli (vlevo) a hrubá data z databáze Google Docs (hodnota 0 signalizuje nepřipojený elektroměr na Slave stanici) (vpravo)

V prvním grafu je vidět kolikrát daný uživatel nabíjel podle jeho jména a v druhém grafu je vidět kolikrát byl zvolen určitý limitní proud. Grafů by mohlo být samozřejmě více, zde je příklad jen pro ověření, že odesílání dat skutečně funguje. Odesílaný řetězec informací je možné rozšířit o další údaje a poslat jej do libovolné databáze.



Obrázek 5.10: Informace o nabíjení vykreslené do grafů

6 Zhodnocení výsledků

V této kapitole se nachází zhodnocení celé práce a přibližná cenová kalkulace hotového zařízení. Také je zde naznačeno, jak by se mohla dobíjecí stanice dále vyvíjet a na čem by bylo možné ještě zapracovat.

6.1 Možnosti dalšího vývoje

Na konci vývoje byla realizována DPS, kterou lze umístit do šestimodulové přístrojové krabičky na DIN lištu. Z důvodu velikosti bylo zvoleno 6 vstupů pro čítání pulzů z elektroměrů, které ovšem nejsou limitní pro použití vyššího počtu Wallboxů, avšak energii je možné měřit maximálně na šesti stanovištích. V případě potřeby měření energie na více stanovištích by nebyl problém zvětšit plošný spoj, doplnit více pulzních vstupů a použít vícemodulovou přístrojovou krabičku. Další možností by bylo přejít na jiný způsob čítání pulzů pomocí rozhraní I2C popsané v kapitole 3.3.2 na str. 33, čímž by se ušetřilo místo na DPS.

Měřená energie může sloužit majiteli nabíjecí stanice jako kontrola o využívání nabíjecích stanic svými zaměstnanci, pokud jsou umístěné ve firmě a zaměstnanci mají možnost nabíjet své elektrovozidlo v rámci zaměstnaneckých benefitů. Pakliže by byl připojen i platební terminál, bylo by možné za spotřebovanou energii účtovat peníze cizím uživatelům, kteří by neměli přístupovou kartu.

Na stávající platformě je ovšem díky RFID identifikaci možná i tarifní platba. Uživatel, který platí měsíční tarif společnosti vlastníci nabíjecí stanice pro elektromobily, je registrován v systému a má např. předplacené neomezené nabíjení na celý měsíc.

Dále by bylo možné měřit odběr proudu celého objektu na patě budovy, zmíněné v kapitole 2.1.1 na str. 21, a dynamicky zvyšovat nebo snižovat rezervovaný příkon pro dobíjecí stanice. Stačil by k tomu jen centrální elektroměr s pulzním výstupem, připojeným na jeden z pulzních vstupů na DPS. Princip měření energie je stejný, jako u jednotlivých stanic, akorát by se musel částečně přizpůsobit algoritmus.

Společně s dynamickým řízením energie by bylo výhodné měřit proud na jednotlivých fázích a přednostně využívat méně vytížené fáze k nabíjení vozidel, které využívají jen jednu, nebo dvě fáze.

Další možností vývoje by mohl být tzv. *self control*, neboli vlastní diagnostika. Jedná se o proces, při kterém μP hlídá periferie, které jsou na něj připojeny. Využívá se nepoužité analogové vstupy, které měří úroveň napětí na externích perifériích. Díky tomu by mohl μP sám vyhodnotit případnou poruchu a vyslat žádost o opravu společně s číslem modulu, který přestal fungovat. Případně může mít zařízení duplicitní moduly náchylné k poruše a v případě selhání jednoho z nich μP vyhodnotí poruchu a přepne na záložní modul. Zařízení by tak dále fungovalo bez odstávky a oprava by mohla být provedena až při pravidelné revizi. Díky tomu by se ušetřil čas a náklady na elektrotechnika, který by nemusel vyjíždět ke každé poruše zvlášť.

6.2 Dosažené výsledky

DPS byla navržena tak, aby vyhovovala požadavkům elektromagnetické kompatibility. Především se jedná o aplikaci feritových perel k napájení všech modulů společně s μP popsané v kapitole 3.4 na str. 34, které odfiltrují případné vysokofrekvenční rušení, které by mohlo zapříčinit nesprávnou funkci zařízení, nebo dokonce jeho zničení. Dále je to aplikace transilů na pulzních vstupech DPS, které jsou schopny pohltit energii vysokonapětového pulzu, který se může na několikametrových vodičích od Wallboxů naindukovat. U rozhraní RS485 byla preventivně aplikována několikastupňová ochrana. Zaprvé jsou to bleskojistky, které by měly zachytit pulz o největší energii, zadruhé je to asymetrický transil uzpůsobený speciálně pro toto rozhraní a za třetí samotný převodník RS485, který je izolovaný s elektrickou pevností 5 kV.

Výsledkem diplomové práce je nabíjecí stanice pro elektrovozidla, jejíž součástí je vyvinutá řídicí jednotka, do které byl implementován algoritmus, jenž se stará o regulaci proudu mezi jednotlivými stanovišti nabíjecí stanice. Podařilo se vyvinout řídicí jednotku, která je modulární a umožňuje připojení různých periférií popsanych v kapitole 3.5 na str. 37, a navíc je k ní možné připojit další moduly (např. platební terminál), pro které je připraveno rozhraní SPI, I2C a UART.

Možností k vylepšení by byla celá řada, nicméně náplní diplomové práce bylo vyvinout řídicí jednotku dobíjecí stanice pro elektrovozidla a vyzkoušet na ní některé principy uživatelského rozhraní a inteligentního rozdělování proudu, zmíněné v kapitole 4 na str. 44.

6.3 Cenová kalkulace

Jelikož byly v kapitole 2 na str. 21 popsány možnosti, které dnes výrobci nabízí společně s jejich cenou, tak je třeba uvést orientační cenu i u této nabíjecí stanice, aby mohlo vzniknout objektivní srovnání. Cena je rozdělena na zakoupené komponenty, ze kterých se skládá Slave stanice (klíčové komponenty uvedené v kapitole 3.2 na str. 27 společně s elektroměrem a přístrojovou skříňkou), na jejichž cenu nemá vývoj nabíjecí stanice vliv. Druhou položkou ceny je hodnota součástek, z nichž

byla DPS vytvořena. Orientační cena je uvedena v tabulce 6.1. Na cenu použitých součástek nemá vývoj také vliv, ovšem je možné vybírat buďto podle ceny, nebo podle jejich kvality a odolnosti. V této práci byl kladen důraz na obě kritéria a byl zvolen kompromis mezi nízkou cenou a lepší kvalitou.

Součástky na DPS, jako je např. izolovaný převodník RS485, nebo μ P byly spíše naddimenzovány, kdežto přídatné moduly, jako je např. klávesnice, displej a RFID čtečka byly vybírány podle nejnižší ceny. Zmíněné moduly je možné v případě potřeby nahradit za průmyslově standardizované, avšak k vývoji plně dostačovaly tyto cenově dostupné moduly, proto nebyl důvod vybírat mnohonásobně dražší, které by splnily stejnou funkci.

| <i>Komponenty</i> | <i>Orientační cena [Kč]</i> |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Nadřazená řídicí jednotka | 2500 |
| Klíčové komponenty + elektroměr | 4500 |
| Přívodní + nabíjecí kabel (3f/16 A) | 4000 |
| <i>Celková cena</i> | 11000 |

Tabulka 6.1: Odhad cenové kalkulace sestavené Master stanice

Pro porovnání s firmami uvedenými v kapitole 2.3 na str. 24, u nichž byly zvoleny 4 nabíjecí stanoviště, byla v tabulce 6.2 shrnuta cena za jednu Master a tři Slave stanice. Do ceny této nabíjecí stanice není samozřejmě započítána práce při vývoji, stejně tak jako certifikace, bez které není možné zařízení prodávat. Další položkou by byly náklady na návod k obsluze a zajištění servisní sítě. Všechny tyto dodatečné náklady, které nemají na funkci nabíjecí stanice vliv a jsou zapotřebí především kvůli legislativě, mají nemalý podíl na ceně konečného produktu. Proto není možné zcela objektivně srovnat cenu této vyvinuté nabíjecí stanice s již prodávanými, nicméně ze srovnání cen uvedených v tabulce 6.3 je cenový rozdíl výrazný především při srovnání s firmou Schneider Electric. Srovnání s firmou Stegen Electronic vychází řádově stejně a cena je velice podobná, nicméně možnosti nabíjecí stanice od této firmy jsou velice omezené.

| <i>Typ Wallboxu</i> | <i>ks</i> | <i>Orientační cena za ks [Kč]</i> | <i>Cena celkem [Kč]</i> |
|---------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|
| Master stanice | 1x | 11000 | 11000 |
| Slave stanice | 3x | 8500 | 25500 |
| <i>Celková cena</i> | | | 36500 |

Tabulka 6.2: Odhad cenové kalkulace nabíjecí stanice pro 4 elektrovozidla

| <i>Společnost</i> | <i>Cena za 4 Wallboxy [Kč]</i> |
|--------------------|--------------------------------|
| Schneider Electric | 390000 |
| Stegen Electronics | 42840 |
| Vyvinutá stanice | 36500 |

Tabulka 6.3: Porovnání cen nabíjecích stanic pro 4 elektrovozidla

7 Závěr

Diplomová práce se zabývala realizací nadřazené řídicí jednotky AC dobíjecí stanice pro elektrovozidla, která umožňuje připojit více podřadných dobíjecích stanic a rozdělovat mezi ně proud podle vytvořeného algoritmu. Dále umožňuje identifikaci uživatele pomocí čipové karty, volbu nabíjecího proudu s ohledem na vytížení ostatních stanic, omezení proudu v průběhu nabíjení, komunikaci s databází, nebo odesílání SMS. K dispozici je také konektor, na který jsou vyvedeny všechny typy rozhraní, jenž procesor umožňuje. Díky tomu je možné řídicí jednotku v budoucnu rozšířit o další funkce. Příkladem může být platební terminál.

Následně byla řídicí jednotka vestavěna do nástěnné skříňky společně se silovými komponentami, čímž vznikla plnohodnotná nabíjecí stanice, která byla úspěšně otestována na elektromobilu. Proud přidělený nabíjenému elektromobilu byl v průběhu nabíjení snižován a následně zvyšován tak, aby nedošlo k překročení vyhrazeného proudu pro nabíjecí stanice, v důsledku připojení simulovaných elektromobilů na další podřadné stanici. Zároveň byly odesílány informace do databáze společně s SMS zprávami o průběhu nabíjení.

Předpokladem bylo vyvinout cenově dostupnou dobíjecí stanici.

Podíváme-li se na nabízené stanice zmíněné v kapitole 2 na str. 21, tak byl tento předpoklad splněn. Dobíjecí stanice nabízí téměř stejné funkce, jako sofistikovaná a drahá řešení výrobců světových značek a zároveň je schopna cenově konkurovat jednoduché a řádově lacinější nabíjecí stanici, která ovšem nabídne pouze základní funkce nabíjení.

Diplomová práce je zásadním krokem ve vývoji kompletní řídicí jednotky, která kromě zajištění přídatných funkcí umožní i komunikaci s elektromobilem, což nyní zajišťuje řídicí jednotka nabíjení EVSE. Díky tomu by se i zjednodušila komunikace s EVSE, která by mohla být řešena pomocí libovolného rozhraní. Zde je realizována pomocí RS485 na protokolu Modbus, s čímž byly v diplomové práci občas problémy.

Literatura

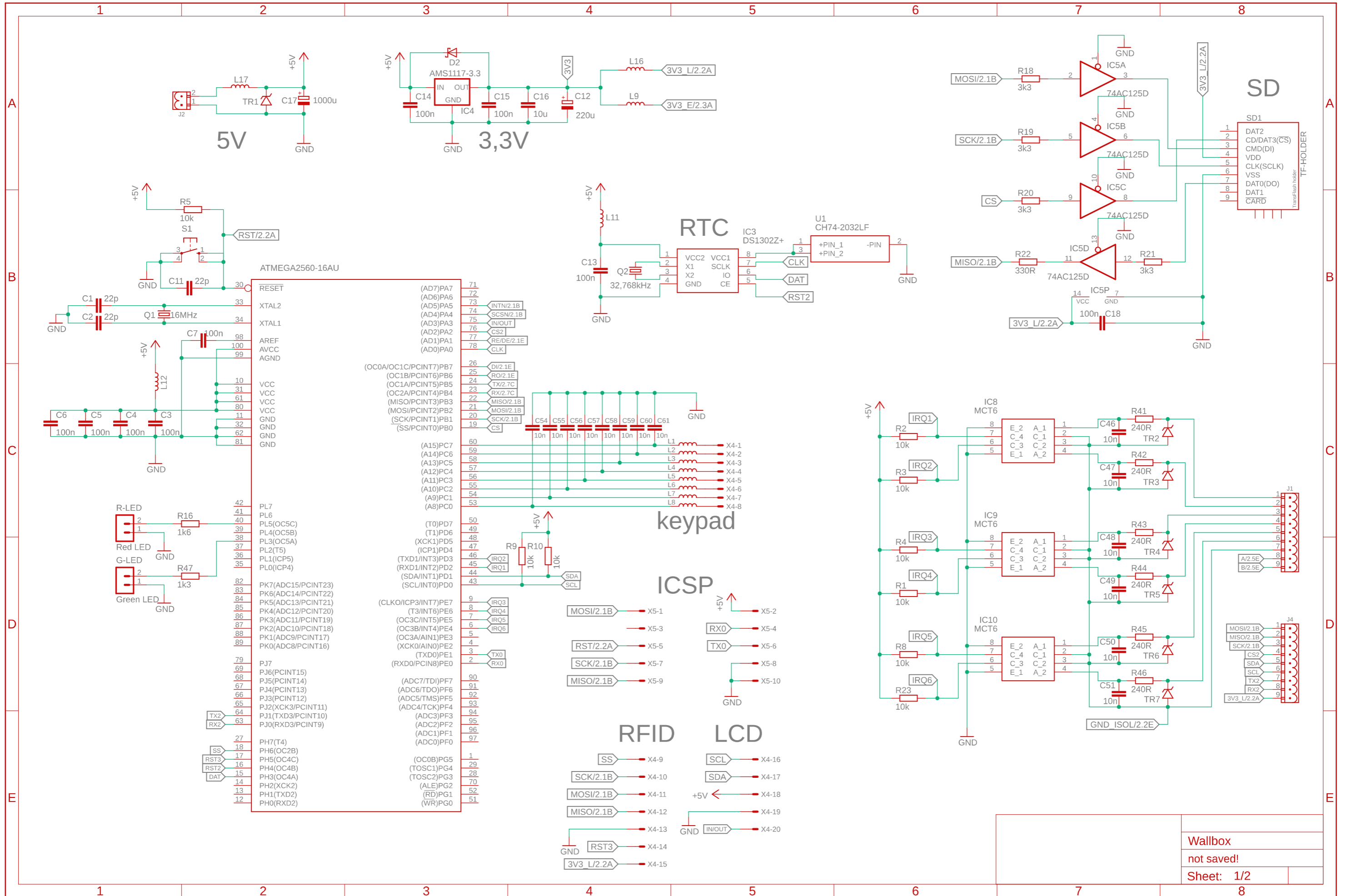
- [1] FROHN, Manfred. Elektronika: polovodičové součástky a základní zapojení. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-123-3.
- [2] TKOTZ, Klaus. Příručka pro elektrotechnika. 2., dopl. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006. ISBN 80-86706-13-3.
- [3] ČSN EN 61851-1. *Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením - Část 1: Všeobecné požadavky*. Praha: Technor, 2014, 39 s. Třídící znak 341590.
- [4] VELECHOVSKÝ, Ondřej. „*Návrh silové části veřejné dobíjecí stanice pro elektromobily*.“ Liberec, 2016. Bakalářská práce (Bp.). Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, Ústav mechatroniky a technické informatiky (MTI), 06.2016
- [5] EICHLER, Miroslav. „*Návrh řídicí jednotky dobíjecí stanice pro elektromobily*.“ Liberec, 2019. Ročníkový projekt (PRO). Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, Ústav mechatroniky a technické informatiky (MTI), 06.2019
- [6] EVlink, Řešení nabíjení elektromobilů, katalog 2018 | schneider-electric.com. [online],[cit. 20.5.2020]. Dostupné z: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=S1520.pdf&p_Doc_Ref=S1520
- [7] Připojení systému k nabíjecí stanici - klíčový prvek pro elektromobily | smartev.cz. [online],[cit. 20.5.2020]. Dostupné z: http://www.smartev.cz/wp-content/uploads/2017/02/Schneider_teorie.pdf
- [8] EVSE Wallbox, datasheet, 11.2017 | evracing.cz. [online],[cit. 20.5.2020]. Dostupné z: <http://evracing.cz/simple-evse-wallbox>
- [9] Technické informace k nabíjecím stanicím | CIRCONTROL.CZ. Nabíječky elektromobilů Circontrol | CIRCONTROL.CZ [online],[cit. 20.05.2020]. Dostupné z: <https://www.circontrol.cz/technicke-informace/>
- [10] Smart EVSE v2.2 controller. [online],[cit. 20.05.2020]. Dostupné z: <https://www.stegen.com/en/ev-products/66-smart-evse-controller.html>

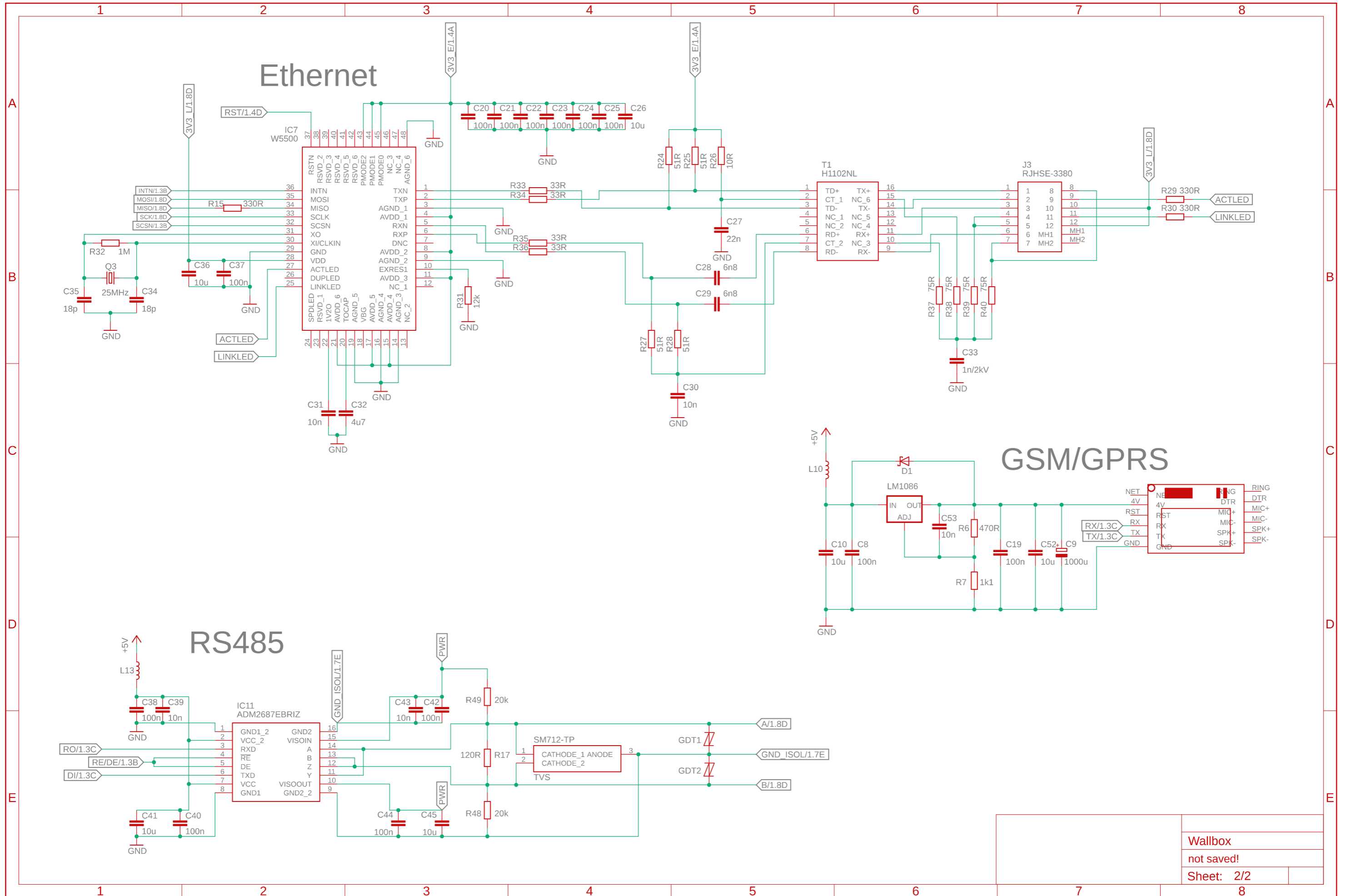
- [11] Interoperability Testing Based on TTCN-3 for V2G Communication Interfaces - IEEE Conference Publication [online]. © Copyright 2020 IEEE [cit. 20.05.2020]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6519592>
- [12] Current State-of-the-Art of EV Chargers | Semantic Scholar | AI-Powered Research Tool [online]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Current-State-of-the-Art-of-EV-Chargers-Schwarzer-Ghorbani/e6b087872be6c33060b45bcdd60af5adaaa0b69b>
- [13] e-Citigo | Autonabijeni.cz. - Vše pro Váš elektromobil [online]. Dostupné z: <https://www.autonabijeni.cz/e-citigo/>
- [14] Home charging | tesla.com. [online],[cit. 20.5.2020]. Dostupné z: https://www.tesla.com/en_GB/support/home-charging-installation
- [15] ATmega2560 - 8-bit AVR Microcontrollers. Smart | Connected | Secure | Microchip Technology [online]. © Copyright 1998 [cit. 20.05.2020]. Dostupné z: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega2560>
- [16] Catalex micro-SD card module | vishnumaiea.in. [online],[cit. 20.5.2020]. Dostupné z: <https://www.vishnumaiea.in/projects/hardware/interfacing-catalex-micro-sd-card-module>
- [17] W5500 | WIZnet Co., Ltd.. WIZnet : Internet Offload Processor Provider [online]. Copyright © 2016 [cit. 20.05.2020]. Dostupné z: <https://www.wiznet.io/product-item/w5500/>

A Obsah přiloženého CD

- Diplomová práce - ve formátu .pdf
- Schéma nadřazené řídicí jednotky - ve formátu .pdf
- Zdrojový kód programu - ve formátu .ino
- Fotografie - ve formátu .jpg
- Vývojové diagramy a bloková chémata - ve formátu .png

B Schéma nadřazené řídicí jednotky





Wallbox
not saved!
Sheet: 2/2