

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ
ELEKTRONIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Nabíjecí stanice pro elektrická vozidla

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr GORAN**

Osobní číslo: **E15B0051P**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**

Název tématu: **Nabíjecí stanice pro elektrické vozidlo**

Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Provedte obecný přehled používaných nabíjecích stanic pro elektrická vozidla.
2. Popište detailně vybranou topologii nabíjecí stanice.
3. Sestavte simulační model popsané nabíjecí stanice.
4. Ověřte na vytvořeném modelu vlastnosti nabíjecí stanice.

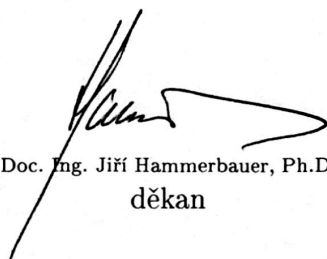
Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

1. Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

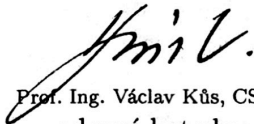
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vojtěch Blahník, Ph.D.
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 10. října 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 7. června 2018


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na problematiku nabíjení a nabíjecích stanic pro elektrická vozidla. V první části je seznámeno s přehledem a rozdělením nabíjecích stanic spolu s používanými bateriemi a průběhem nabíjení. Dále je podrobněji popsána topologie a funkce nabíjecí stanice CHAdeMo. Následně byla provedena u tohoto typu stanice simulace v programu PLECS, který je určen jako knihovna v prostředí Matlab/Simulink. Model spolu s výslednými průběhy bude popsán a proběhne ověření jeho funkčnosti vzhledem k předpokladům zjištěným v předchozích částech práce.

Klíčová slova

Nabíjecí stanice, elektromobil, baterie, nabíjení, simulace, CHAdeMo

Abstract

The submitted bachelor thesis is focused on the issue of charging and charging stations for electric cars. In the first part, there is acquainted with the overview of the charging stations together with the used batteries and the charging process. The topology of CHAdeMo charging station and the necessary operations for successful function are described in second part. Subsequently, a simulation of this station was made in the PLECS program, which is designated as a library in the Matlab / Simulink environment. The model along with the results, will be described and will be checked functionality against the assumptions found in the previous sections.

Key words

Charging station, electric vehicle, battery, simulation, CHAdeMo

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 6.6.2018

Petr Goran

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Vojtěchovi Blahníkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a odborné vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
TEORETICKÝ ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 DĚLENÍ NABÍJECÍCH STANIC	12
1.1 PODLE DRUHU NAPĚTÍ	12
1.1.1 AC (používají střídavé napětí)	12
1.1.2 DC (používají stejnosměrné napětí).....	13
1.2 PODLE ZPŮSOBU PŘIPOJENÍ.....	14
1.2.1 Drátové	14
1.2.2 Bezdrátová (indukční).....	15
1.3 PODLE PŘIPOJENÍ DO SÍTĚ	16
1.3.1 Přímé připojení	16
1.3.2 Z akumulčních stanic	16
1.4 STANICE PRO VÝMĚNU BATERIÍ	17
1.5 DRUHY NOREM	17
1.5.1 Standart J1772	17
1.5.2 Standart IEC62196	17
1.6 POUŽÍVANÉ BATERIE A ZPŮSOBY NABÍJENÍ.....	20
1.6.1 Druhy baterií.....	20
1.6.2 Průběhy nabíjení baterií	22
1.6.3 Cena baterií	23
2 PODROBNÝ POPIS TOPOLOGIE STANICE CHADEMO	25
2.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY	25
2.2 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY	25
2.2.1 Způsob nabíjení.....	25
2.2.2 Řídící vedení a komunikace	25
2.2.3 Potřebné funkce	25
2.2.4 Ochrana před úrazem elektrickým proudem.....	26
2.2.5 Ochrana proti nadproudům a monitorování procesoru	27
2.3 POPIS HLAVNÍHO OBVODU	27
2.3.1 Výkonový obvod	27
2.3.2 Oddělení obvodů.....	28
2.3.3 Dioda proti zpětnému proudu	28
2.3.4 Pojistka pro omezení proudu	28
2.3.5 Napájení vozidla	29
2.3.6 Měření proudu a napětí	29
2.3.7 Uzemnění a ochranný vodič.....	29
2.3.8 Obvod pro uzamčení konektoru	30
2.3.9 Řízení a průběh nabíjení	30
3 SIMULAČNÍ MODEL NABÍJECÍ STANICE	31
3.1 ZÁKLADNÍ SCHÉMA	31
ZÁVĚR	38
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	1

Úvod

V posledních letech popularita elektromobilů velmi roste a jsou do budoucna považována jako hlavní nástupce konvenčních spalovacích vozidel. Prvním důvodem tohoto rozmachu je především znečištění ovzduší ve velkých aglomeracích, a proto dochází již v některých evropských městech k omezení vjezdu těchto vozidel do center a vznikají tzv. nízko emisní a bezemisní zóny. Dalším jsou především se tenčící zásoby ropy. Elektromobily jsou právě pro tyto problémy řešením. Přinášejí i tišší jízdu, jednodušší konstrukci, s tím i spojenou nižší poruchovost a také větší dynamiku než u spalovacích motorů z důvodu velkého točivého momentu bez nutnosti řazení. Naopak mezi hlavní nevýhody patří vysoká pořizovací cena, diskutovatelná životnost baterií a nízký dojezd. Napájení je tedy asi největším problémem elektromobilů, ať už tedy samotné nabíjení nebo uchování energie v bateriích.

Momentálně nejpoužívanější baterie na bázi Lithia mají již výrazně lepší parametry v závislosti na hmotnosti a ceně oproti v předchozích letech používanějším akumulátorům na základě niklu a olova. Mezi jejich největší výhody patří velká objemová a hmotnostní hustota energie spolu s velký maximálním vybíjecím proudem. Za nevýhody můžeme považovat samovolné snižování kapacity a také nebezpečí exploze při mechanickém poškození.

Další nezbytnou součástí elektrického vozidla je elektromotor. Tím je z velké části asynchronní elektromotor, případně synchronní s permanentními magnety pro jeho vysoký točivý moment z nízkých otáček. [4]

S provozem elektromobilu velmi úzce souvisí také samotné nabíjení baterií, které by v případě krátkého času velmi výrazně zmenšilo problém nižšího dojezdu elektromobilu.

V dnešní době se setkáme s velmi velkou různorodostí nabíjecích standardů a postupů, které i budou obsahem této bakalářské. Mezi základní dělení patří DC a AC stanice. Střídavý elektrický proud, který nalezneme v běžné elektrické zásuvce není ale zcela vhodný pro integrované obvody nových zařízení výpočetní techniky. Z tohoto důvodu je tedy nutné, aby všechny nabíjecí zařízení používali zdroj napětí který mění střídavý

elektrický proud na stejnosměrný. Elektromobil na tom není o mnoho jinak, jeho baterie přijímají a vydávají stejnosměrný elektrický proud, s tím že o usměrnění se stará zařízení na palubě vozidla. U DC stanic je měnič obsáhlý přímo v nabíjecí stanici a není již potřeba dalšího zařízení ve vozidle. [3]

Další dělení a podrobnější náhled bude obsahem následující kapitoly, spolu se základním postupem nabíjení a představením druhů baterií. Dále proběhne detailnější popsání nabíjecí stanice CHAdeMo, u které bude realizována simulace v programu Matlab/Simulink/PLECS. Na výsledném modelu modelu ověříme vlastnosti této nabíjecí stanice a budou zhodnoceny její výsledky.

Seznam symbolů a zkratek

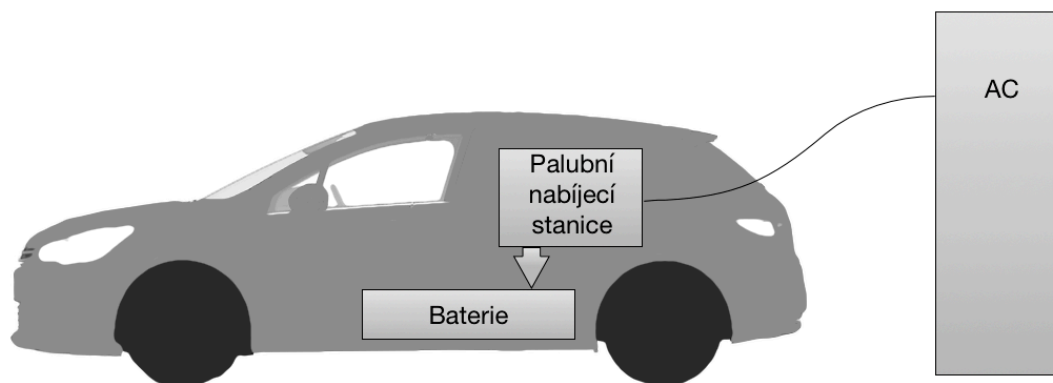
AC	Střídavý průběh napětí
DC	Stejnoseměrný průběh napětí
CAN	Komunikační protokol
PWM	Pulsně šířková modulace
SAE	Mezinárodní organizace odborníků v automobilovém, leteckém a dopravním průmyslu
AES	Akumulační stanice společnost AESR
EV	Elektrické vozidlo

1 Dělení nabíjecích stanic

1.1 Podle druhu napětí

1.1.1 AC (používají střídavé napětí)

Jak již vyplývá z názvu AC stanice používají střídavé napětí. Úkolem těchto stanic je bezpečně dopravit elektrický proud do vozidla spolu s řízením a komunikací s nabíjecím zařízením, které je na palubě vozidla a převede střídavý proud na stejnosměrný. Rychlost nabíjení je závislá na napětí sítě, počtu fází (1f- 230V/3f- 400V) externí nabíjecí stanice, ze které je napájena, spolu s maximální výkonovým zatížením a také výkonem, který je nabíjecí stanice ve vozidle schopna přijmout. Tento poslední parametr je také velmi často nejvíce omezující, jelikož výrobci elektromobilů z důvodu nižší ceny a menších rozměrů, ne vždy dodávají do vozidla nabíjecí stanici o maximálním výkonu 22kW, kterou lze použít při nabíjení z domácí zásuvky 400V/32A. [2]

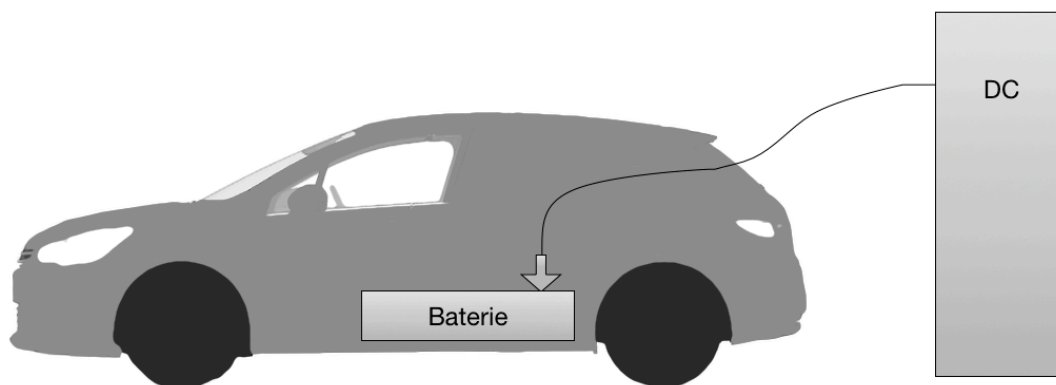


Obr. 1.1 Schéma nabíjení střídavým proudem

Například vůz Citroen C-Zero umožňuje nabíjení pouze 3,75 KW, což je úměrné výkonu 1f zásuvky s 230V. Jeho 16 kWh baterie se tedy nabije zhruba za 4 hodiny, s 22kW nabíječkou by se dobily za necelou hodinu. Pro rychlejší nabití nezbývá tedy nic jiného než použití stejnosměrné nabíjecí stanice. DC rychlonabíječkou CHAdeMO se tento vůz nabije za pouhých 15 minut. [1]

1.1.2 DC (používají stejnosměrné napětí)

Stejnosemřné nabíjecí stanice používají vlastní měniče napětí, takže již není potřeba dalšího nabíjecího zařízení ve vozidle, díky čemuž jsou několikrát rychlejší než střídavé. Nabíjení tedy probíhá tak, že ve stanici se přemění napětí ze stejnosměrného na střídavé a do vozidla a baterii jde tedy již pouze stejnosměrný proud. Dále probíhá mezi vozidlem a stanicí také komunikace, která je potřebná k regulaci výkonu.



Obr. 1.2 Schéma nabíjení stejnosměrným proudem

Tím že dojde k přeměně napětí přímo ve stanici odpadá tedy největší nevýhoda AC stanic a to je omezení výkonu z důvodu palubní nabíječky. Velmi se tedy zkracuje doba nabíjení. [2]

Mezi nejpoužívanější druhy DC stanic patří:

- **SAE Combo**
- **CHAdeMo**
- **Tesla Supercharger**

Stanice typu SAE Combo jsou oblíbeny především evropskými a americkými výrobci automobilů. Jejich konektor je složen z kombinovaného nabíjecího systému AC a DC části. Ve vozidle je tedy požadován vstup AC/DC a konektor lze tedy použít i jen pro střídavé nabíjení. Maximální momentální výkon u těchto stanic se pohybuje okolo 50 kW.

Standart CHAdeMo byl vyvinut japonskými automobilkami a je vlastně první používanou DC rychlonabíjecí stanicí. Na rozdíl od typu SAE Combo konektor CHAdeMo neobsahuje již AC část, ale pouze dva piny DC spolu s komunikačními. Výkon dosahuje při 500V a 125A až 63 kW. [10]

Tesla Supercharger je aktuálně nejvýkonnější nabíjecí stanicí. Oproti předchozím dvěma variantám dosahuje téměř dvojnásobného výkonu až 120kW. Jsou určené výhradně pro vozidla americké automobilky Tesla. [5]

1.2 Podle způsobu připojení

1.2.1 Drátové

Způsob při kterém je vozidlo přímo spojeno s nabíjecí stanicí kabelem a dochází k fyzickému spojení. Z velké části je také u tohoto druhu požadována obsluha, která konektory zapojí.

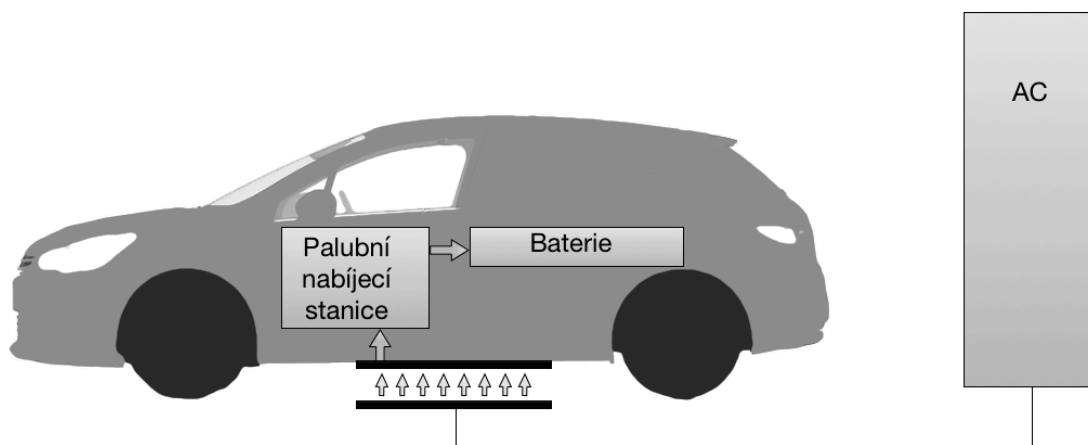
Existují také možnosti, kdy je připojení automatizováno například pomocí připojovacího ramene. Tento systém byl použitý i u nabíjecí stanice prvního použitého elektrického autobusu v České republice a to Plzeňském Batterybusu, který byl vyvinut místní Škodou Electric. [6]



Obr. 1.3 Automatizované nabíjecí rameno na konečné zastávce Košutka v Plzni

1.2.2 Bezdrátová (indukční)

Bezdrátové nabíjení elektrických vozidel funguje obdobně jako například nabíjení mobilního telefonu tedy na indukčním principu. Jsou tedy potřeba dvě cívky, kdy do jedné z nich je přiveden střídavý elektrický proud, který se do druhé pomocí elektromagnetického pole indukuje. Ve vozidle je tedy nutností použití dalšího měniče pro přeměnu proudu na stejnosměrný, který je vhodný pro nabíjení baterií. Nabíjecí výkon je tedy opět omezen nabíjecím zařízením na palubě vozidla. V praxi je tedy cívka, do které je přiváděn elektrický proud ve formě desky. Ta je položena na zemi nebo zabudovaná v ní. Výhoda toho systému je, že není potřeba takřka žádná obsluha, stačí tedy, když deska s cívkou s procházejícím proudem je v poloze pod druhou, která je umístěná na spodku vozidla. Tato technologie je tedy vhodná pro pohodlné nabíjení na parkovištích či v samotných garážích. [7]



Obr. 1.4 Schéma indukčního nabíjení

Dále se uvažuje i nad možností zabudování indukčních desek do silnic kde by docházelo k nabíjení při jízdě vozidel. Tyto vozovky se začaly v některých světových městech objevovat již před několika lety. Například v jižní Koreji ve městě Gomi byl v roce 2013 spuštěn zkušební provoz dvou elektrických autobusů, provozovaných na 12km dlouhé trase s tímto zabudovaným systémem. Účinnost v tomto případě je při vzdálenosti 17 cm mezi deskami okolo 85% oproti 90% až 94% při klasickém drátovém nabíjení. Podobné projekty na krátkých testovacích trasách se objevují i v dalších světových městech jako je Gotheburg a Berlín. [8]

Pokud by došlo k výraznějšímu rozšíření a umístěním indukčního nabíjení na místa po celém městě včetně silnic, bylo by možné snížení kapacity baterií a tím pádem i hmotnosti a rozměrů.

1.3 Podle připojení do sítě

1.3.1 Přímé připojení

V tomto případě je nabíjecí stanice připojena přímo do sítě. Je tedy závislá na přímé dodávce elektrické energie a také na množství přísunu, které je schopna přípojka vydat.

1.3.2 Z akumulčních stanic

Druhým způsobem napájením nabíječky je připojení přes akumulční stanici. To přináší několik výhod, především využití velkých výkonů pro nabíjení bez nutnosti zvětšení přípojky nebo uchovávání energie z fotovoltaických panelů, které mohou být na ni umístěny s tím i, že při plném nabití stanice je možno přebytečnou energii vracet zpět do sítě. Další výhodou je i částečné využití rozdílu cen energie v průběhu dne a v případě potřeby i zlepšení kvality sítě. To nám přináší možnosti vybudování většího počtu nabíjecích stanic na jednom místě i mimo města.

Lze zde například zmínit řešení od společnosti AERS jejichž stanice AES 6 s LiFePO4 akumulátory nabízí uchování od 7,6kWh až do 30 kWh s deklarovanou výdrží 8000 nabíjecích cyklů a výkon pro nabíjení i vybíjení je 9kWh. Hlavní využití těchto stanic ve formě kontejneru je umístění na čerpací stanice, kde by poskytovaly dostatečný výkon pro rychlé dobíjení elektromobilů i mimo městské aglomerace. [9]



Obr. 1.5 Akumulční stanice AES 6 [9]

1.4 Stanice pro výměnu baterií

Jednou z možností nabíjení je také samotná výměna baterií. Tento systém spočívá v tom, že by vůz dojel na speciální místo, kde by výměna probíhala automatizovaně a trvala v řádu jednotkách minut. Při prezentaci automobilky Tesla v roce 2013 bylo představeno řešení výměny, které trvalo pouhou minutu a půl. Bylo zde i přímé srovnání s dobou tankování paliva konvenčního automobilu, za kterou byla vyměněna baterie ve dvou vozidlech Tesla Model S. Pilotní projekt byl spuštěn o rok později na jednom výměnném místě v Californii. Tento program byl po půl roce, pozastaven s tím, že se Tesla bude do budoucna spíše soustředit na jiné technologie dobíjení automobilů. [12]

1.5 Druhy norem

1.5.1 Standart J1772

Tento standart konektoru byl vyvinut sdružením SAE ve spojených státech v roce 2009 a byl tedy používán především místními automobilkami Ford, GM, Chrysler, později japonskými Toyota, Honda a Nissan. Konektor je určen pro nabíjení střídavým proudem a používá se ve dvou úrovních pro nabíjení, kdy v první je určen pro jednofázové napětí 120V, případně sdružené 208 V pro výkon až 10 kW. V druhém lze při 240 V a až 80 A získat 19,2 kW. Konektor se skládá z pěti pinů o třech různých velikostech. Dva z nich jsou určeny pro přenos proudu, jedem pro uzemnění a další jsou určeny pro zabránění pohybu vozidla při nabíjení a také pro komunikaci. Z hlediska bezpečnosti jsou všechny piny v průběhu nabíjení uzavřeny a není-li konektor připojen do vozidla, proud jimi neprochází. To, i nemožnost odjetí vozidla v průběhu nabíjení zajišťuje již dříve zmíněný samostatný pin.

Pro nabíjení stejnosměrným proudem lze standart J1772 určen k střídavé síti použít ve spojení s dvěma dalšími piny určené pro DC. Jsou zde dvě výkonové úrovně v rozmezí od 36 kW na napětí 200-450V při 80 A až do 90 kW při proudu 200A. [13]

1.5.2 Standart IEC62196

Tato norma vznikla v roce 2003 a obsahuje několik druhů konektorů včetně standardu J1772 na různých nabíjecích úrovních.

1.5.2.1 Druhy nabíjecích módů

První Mód je určen pro přímé nabíjení z jednofázové sítě s napětím o velikosti 250V či třífázové 480V při maximálním proudu 16A. Není zde pin pro komunikaci s vozidlem, potřeba je pouze uzemnění, což není v některých domácnostech v USA pravidlem a byl v některých státech zakázán. Tento problém řeší následující mód.

Druhý mód je stejně jako předchozí určen pro jednofázovou a třífázovou síť o stejném napětí s větší velikosti proud 32A. Je zde přidán speciální modul ve vzdálenosti 0,3 m od konektoru pro komunikaci s vozidlem, která obsahuje ochranu proti nadproudům, přehřátí, odpojením konektoru od vozidla a také řízení nabíjecího výkonu.

U třetího módu je opět stejné napětí sítě jako u prvních dvou spolu s proudem 250A. Probíhá zde, na rozdíl od předchozího způsobu, spojení vozidla již s pevně umístěným zařízením, tedy s nabíjecí stanicí umístěnou na zemi. Zdroj není ve výchozím stavu aktivní a správná funkce vyžaduje bezchybnou komunikaci s vozidlem.

Ve čtvrtém módu je pevná nabíjecí stanice napájena stejnosměrným napětím o velikosti 600V a proudu až 400A. Měnič je obsazen přímo v této stanici, a proto je toto řešení poměrně dražší než v předchozím módu. [14]

1.5.2.2 Druhy používaných konektorů

Pod tento standart spadají čtyři typy konektorů, které se dají zařadit do několika úrovní rychlosti nabíjení. To vše si momentálně blíže popíšeme.

1.5.2.2.1 Type 1

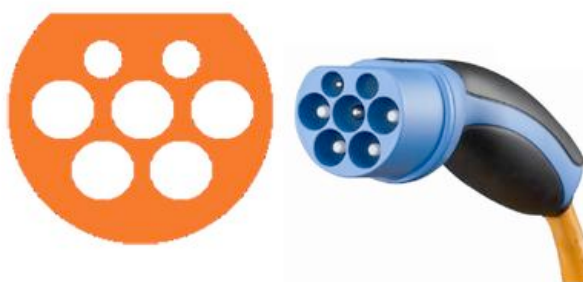
Tento konektor je určen normou J1772, která je blíže popsána již v kapitole 1.5.1. Často je také označován, po svém výrobcí s názvem Yazaki. Oproti standardu J1772, který je určen třemi výkonovými úrovněmi, používá Type 1 pouze druhou úroveň na jednofázové síti 200- 240 V při proud až 80A. Tato koncovka je z velké části používána v Evropě a v Asii na síti 230 V a proudem 32 A o výkonu až 7 KW, lze ji možno tedy zařadit do kategorie konektorů rychlého nabíjení. [14]



Obr. 1.6 Konektor Type 1 [14]

1.5.2.2.2 Type 2

Druhý typ konektoru byl vyvinut společností Mennekes v roce 2009 především pro Evropské automobilky. Oproti prvnímu typu využívá i třífázovou síť o velikosti napětí 400 V s proudem až 64 A. Je tedy možné dosáhnout výkonu v rozmezí 3,7- 43,5 kW. Obsahuje sedm pinů z nichž horní dva jsou určené pro komunikaci a uzemnění je provedeno pinem uprostřed. Zbylé jsou používány pro samotné napájení. [14]



Obr. 1.7 Konektor Type 2 pro AC nabíjení [14]

Konektor je také možné při malé úpravě použít pro napájení stejnosměrným proudem, konkrétněji to využívá Tesla u evropských verzí svých vozů s možným zvýšením výkonu až na 120kW. Ostatní Evropské automobilky ale z velké části užívají řešení Combo, u kterého jsou ke klasickému AC konektoru přidány další dva piny pro DC.[14]



Obr. 1.8 Konektor Type 2 určen pro DC nabíjení [14]

1.5.2.2.3 Type 3

Třetí typ byl vyroben Italskou společností Scame a používán do roku 2015 u menších vozidel, kdy ho plně nahradil Type 2. Z hlediska výkonu a počtu pinů jsou tyto konektory stejné, rozdíl je pouze v rozvržení. [14]

1.5.2.2.4 Type 4

Konektor je často nazýván jako CHAdeMo, dle nabíjecí stanice kde je výhradně používán. Je tedy určen jako stanice pro DC nabíjení při napětí 500V a 125 A s maximálním výkonem 63 kW. Jak bylo již zmíněno v kapitole 1.1.2, obsahuje dva piny pro nabíjení a dva pro komunikaci. To přináší nevýhodu potřeby druhé zásuvky ve vozidle při nabíjení ze střídavé sítě. [14]



Obr. 1.9 Konektor Type 4 [14]

1.6 Používané baterie a způsoby nabíjení

1.6.1 Druhy baterií

1.6.1.1 Olověný akumulátor

Tyto baterie byly používány především na počátku vývoje elektromobilů, a to například ve vozech EV1 nebo první generace Toyoty RAV4 EV v 90. letech minulého století. Dnes jsou stále používány v klasických spalovacích vozech z důvodu schopnosti nabídnutí velkých proudů, ale v elektromobilech nikoliv. Mají totiž malou hustotu energie na kilogram, spolu s menším počtem dobíjecích cyklů, což je pro ně nevhodné. Nevýhodou je také, že dochází při trvalejším vybití k většímu snížení kapacity a kvůli přítomnosti olova je nutná ekologická likvidace starých akumulátorů. [15]

1.6.1.2 NiCD akumulátor

Tyto články nabízejí, oproti předchozímu olověnému typu, vyšší hustotu energie na kilogram s větším počtem nabíjecích cyklů. Výhodou je také odolnost vůči dlouhodobému vybití a i bezproblémové uchovávání v tomto stavu. Naopak mezi problémy a důvody proč nedošlo k většímu rozšíření patří velký paměťový efekt, dražší výroba a také kvůli přítomnosti niklu a kadmia velká toxicita. [15]

1.6.1.3 NiMH akumulátor

Nikl-metal hydridové baterie mají při srovnání s NiCD především vyšší hustotu energie na kilogram a to až dvojnásobnou. Další dobrou vlastností je držení stálého napětí až do vybití spolu s nízkou cenou. Velkou nevýhodou je větší paměťový efekt s nižší účinností nabíjení. Používány byly především v hybridních vozidlech jako je Toyota Prius nebo Honda Insight ale i například v druhé generaci čistě elektrického vozidla koncernu GM EV2. [15]

1.6.1.4 Lithium iontové akumulátory

V dnešní době jsou v elektrických vozidle nejčastěji používány baterie na základě lithia. Tyto články vynikají především velmi vysokou hustotou energie na kilogram (až 160 Wh/kg) bez samovolného vybíjení a paměťového efektu. Další dobrou vlastností je slušná nabíjecí účinnost a možnost tvarování článků dle potřeby. Výhodou je také vyšší napětí článku než u předchozích typů, což je ale závislé na přesném typu akumulátoru. Většinou se pohybuje mezi 3-5 V. [17]

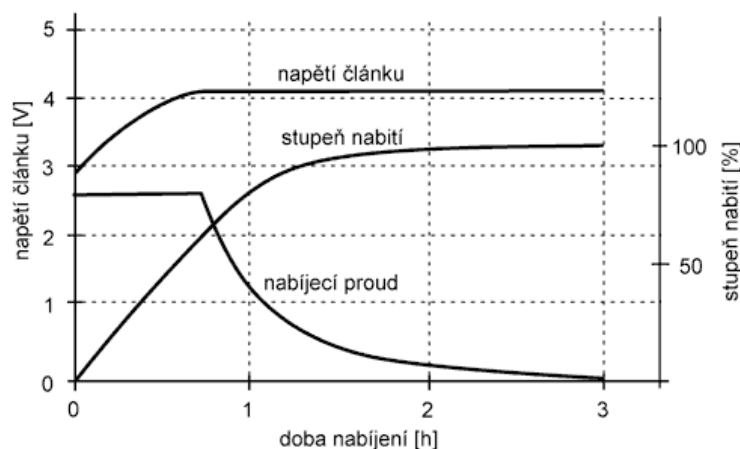
Za největší nevýhody těchto baterií jsou považovány především snižování kapacity bez používání. Při špatné manipulaci, nebo pokud by došlo při nehodě vozidla ke zkratu, je zde možnost i výbuchu.

Jednou z používaných verzí akumulátorů na základě lithia jsou články s katodovým materiálem složený ze železa fosfátu. Ty mají výhodu dobré chemické a teplotní stability, nehrozí tedy exploze. Vzhledem k tomu jsou netoxické a také levné na výrobu. Menší nevýhodou je snižování kapacity při rychlejším dobíjení, případně také možný propad kapacity článků při častém hlubokém vybíjení. [16]

1.6.2 Průběhy nabíjení baterií

Nabíjecí proud a napětí všech baterií jsou závislé na druhu a kapacitě baterie. Pravidlem u všech typů je, že průběh po celé části není lineární a mění se v závislosti na nabití článků.

Bližší popsání může proběhnout na nejpoužívanějších Lithium iontových bateriích. Celou dobu nabití lze rozdělit do čtyřech úseků, ve kterých jsou různé charakteristiky nabíjení proudu a napětí. Velikost nabíjecího proudu je v závislosti na kapacitě článku v hodnotách 0,1 až 2x kapacity, zpravidla se ale z důvodu delší životnosti a efektivnosti používá 0,5x až 1x.

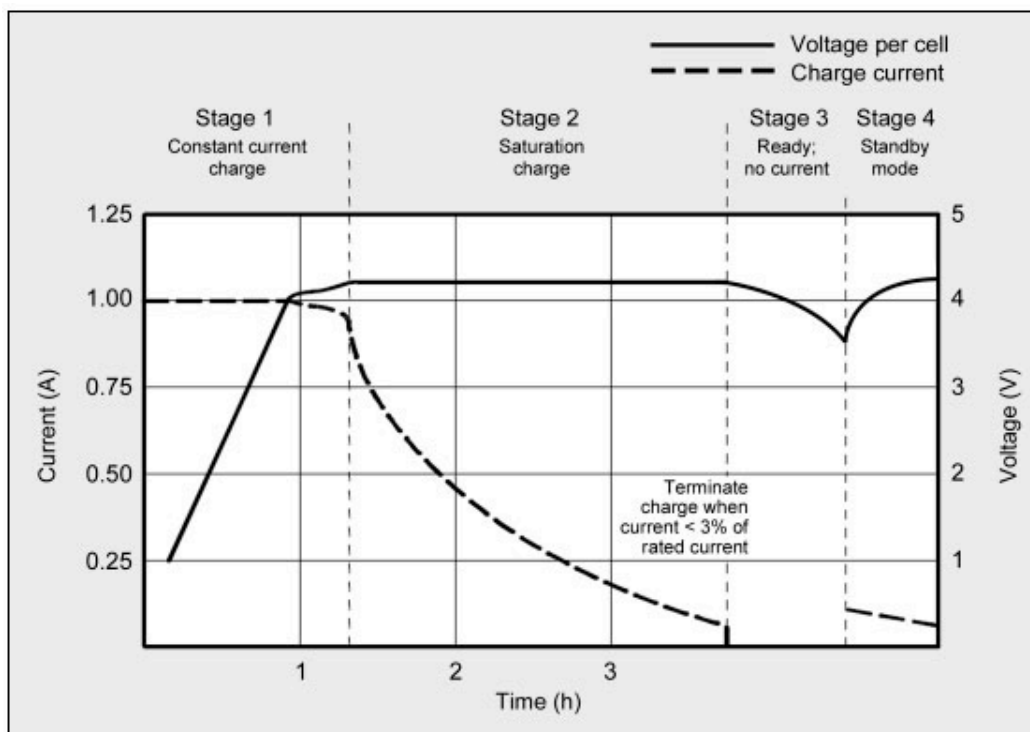


Obr. 1.10 Průběh nabíjení Li-on baterie vzhledem k nabití článku [17]

V první části dochází k nabíjení konstantním proudem až do doby dokud nedosáhne nabíjecí napětí své konečné hodnoty. Proud začne klesat krátce již před dosažením daného napětí, poté dochází k velkému poklesu až k nule. Tento proces se odehrává ve druhé části, kde již probíhá nabíjení s konstantním napětím na své konečné hodnotě, spolu s již zmíněným klesajícím proudem. Obvykle k tomuto kroku dojde zhruba při 70% až 80% nabití. Za plné nabití je uvažováno klesnutí proudu na 3 až 5% kapacity baterií.

Třetí část průběhu je, kdy dojde k plnému nabití, proud je již nulový a napětí velmi mírně klesá, i když je stále připojeno ke zdroji. Při poklesu pod určitou úroveň dojde opět ke zvýšení proudu a tím pádem i ke zvýšení napětí na konečnou nabíjecí hodnotu, to už se odehrává ve 4. části.

Poslední dva úseky jsou tedy udržovací a mají za úkol, aby nedocházelo k přebíjení akumulátoru, tím pádem k jeho poškození a také uchovávání nabití článků u horní hranice nabití. To vše můžeme vidět na obrázku 1.11. [18]



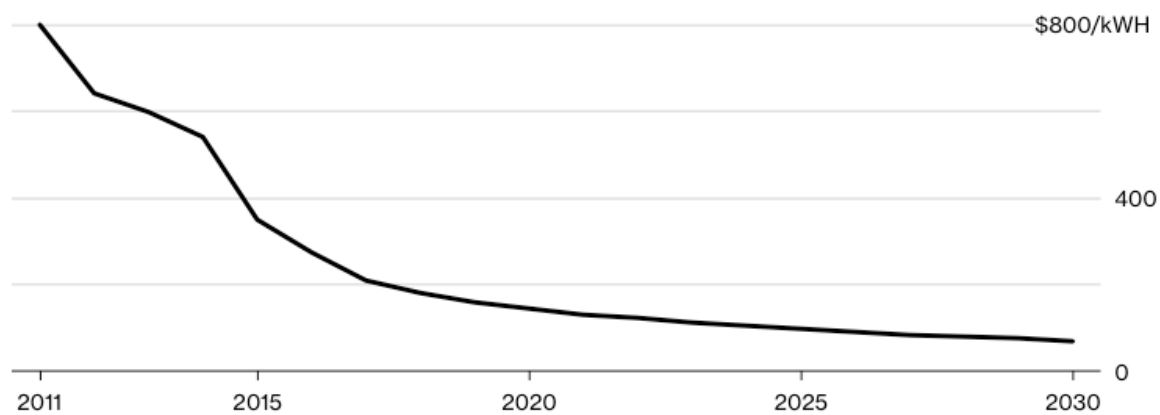
Obr. 1.11 Fáze nabíjení Li-on baterie [18]

1.6.3 Cena baterií

Jedním z parametrů který bych rád zmínil je samotná cena baterií, která v následujících letech velmi ovlivní rozvoj elektromobilů. V dnešní době i přes rychlý pád cen, je stále akumulátor nejdražší část elektromobilu a stojí téměř polovinu celého vozidla. Například u vozidla Chevrolet Bolt, prodávaného od roku 2017, je koncová cena výměny pro zákazníka 360 000 Kč což je \$262/KWh. Pro automobilku stojí nákup článků \$145/KWh , přičemž cena vozidla je zhruba 900 000Kč. [19]

To vše by se mělo v blízké budoucnosti dle agentury Bloomberg změnit a po roce 2024 by se celková cena některých elektromobilů mohla dostat na stejnou úroveň jako klasických spalovacích, a po roce 2025 dokonce i menší.

Je to způsobeno tím, že v těchto letech by cena lithium-iontových baterií měla klesnout pod hranici \$100/KWh. [20]



Obr. 1.12 Klesání cen Li-ion baterií [20]

2 Podrobný popis topologie stanice CHAdeMO

2.1 Základní parametry

Samotná stanice bývá napájena ze střídavé sítě o velikosti jmenovitého napětí v dané zemi v rozmezí $\pm 10\%$ o frekvenci 50 nebo 60 Hz s $\pm 5\%$. Parametry vstupního zdroje mohou být různé, ale je nutné aby splňoval normy, které jsou určeny v místě použití. Pokud je napájecí napětí větší než 300 V, kdy přechodové napětí může být na hlavním obvodu až 6 kV, musí být provedena zkouška a pomocí omezovače napětí provedeno snížení pod 2,5 kV.

Na výstupu je stejnosměrné napětí v rozmezí 50 až 500 V s proudem 0 až 125 A. Účinnost výstupního usměrňovače je u typu této stanice minimálně 90%. Akustický hluk, který je měřen 1 m od země, by neměl přesáhnout hranici 65 dB. Komunikace je prováděna protokolem CAN 2.0B s přenosovou rychlostí 500 kb/s a s přenosovým cyklem 100 ms s $\pm 10\%$. V případě poruchy nebo zkratu v řídicím nebo hlavním obvodu dojde k okamžitému k okamžitému přerušení nabíjení. [21]

2.2 Základní požadavky

2.2.1 Způsob nabíjení

Je zde použita metoda nabíjení s konstantním proudem. Vozidlo vydává požadavek na nabíjecí proud o dané velikosti stanici v určitém časovém intervalu, která musí tuto hodnotu dodat. V případě změny požadované velikosti nabíjecí stanice požadavku vyhoví a proud změní. [21]

2.2.2 Řídicí vedení a komunikace

O vysílané signály určené pro spuštění a ukončení nabíjení se používá samostatné vedení pro to určené. Oddělené vedení má i datová komunikace potřebná pro celkové řízení, kdy si vozidlo a stanice vyměňují parametry. [21]

2.2.3 Potřebné funkce

Nabíjecí stanice a vozidlo musí být vybaveno senzory, které v průběhu nabíjení neustále kontrolují správné připojení. V případě přerušení komunikace, musí být stanice vybavena

prostředky, které jsou schopny okamžitě nabíjení pozastavit. K tomu musí dojít i při instruování problému od vozidla.

K bezprostřednímu pozastavení nabíjení také dojde pokud nastane odpojení nebo přerušování ochranného vodiče a i v případě, kdy stanice dostane analogový nebo CAN signál pro zastavení činnosti.

Nutné je zde opatření, které zabraňuje pohybu vozidla když je připojené a probíhá nabíjení.

Během nabíjení musí nabíjecí stanice rozpoznat jakékoliv zemní spojení nebo poruchu v nabíjecím obvodu stejnosměrného proudu. V případě detekce dojde k přerušování nabíjení. Pokud je vozidlo vybaveno zařízením s zjištěním poruchy, nesmí zasahovat do detekce poruch stanice.

Vozidlo by mělo obsahovat stykače, které jsou schopny bezprostředně vypnout nabíjecí proud. S tím, by měla stanice mít ochranu pro tyto stykače a při přerušování nabíjení řídit se postupem, kdy se nejdříve zastaví nabíjecí proud, poté dojde k zastavení napájení řídicího relé stykače a následně proběhne rozepnutí. To vše musí být provedeno a dodrženo i při výpadku střídavého proudu nebo při poklesu napětí.

Součástí stanice musí také být zařízení pro měření a kontrolu napětí. Je to z důvodu, aby bylo možné posoudit, zda je dané napětí vhodné pro obvod vozidla a nebo zda je možné odpojit konektor. S tím je potřeba zařízení proti přepětí, které ochrání nabíjecí část vozidla před poškozením.

Obsažena je i funkce pro záznam chyb. Stanice musí být schopna ukládat chybové informace a zjišťovat její příčiny. [21]

2.2.4 Ochrana před úrazem elektrickým proudem

Systém nabíjecí stanice musí být navržen tak, aby bylo zabráněno uživateli přímému styku s živými částmi, nezůstalo při odpojování konektoru na konektoru zdraví nebezpečné napětí a aby při vypnutí v normálním nebo poruchovém stavu během 1 s kleslo napětí na všech vodivých částech, včetně kabelu pod 60 V. Mezi nutné vybavení stanice patří

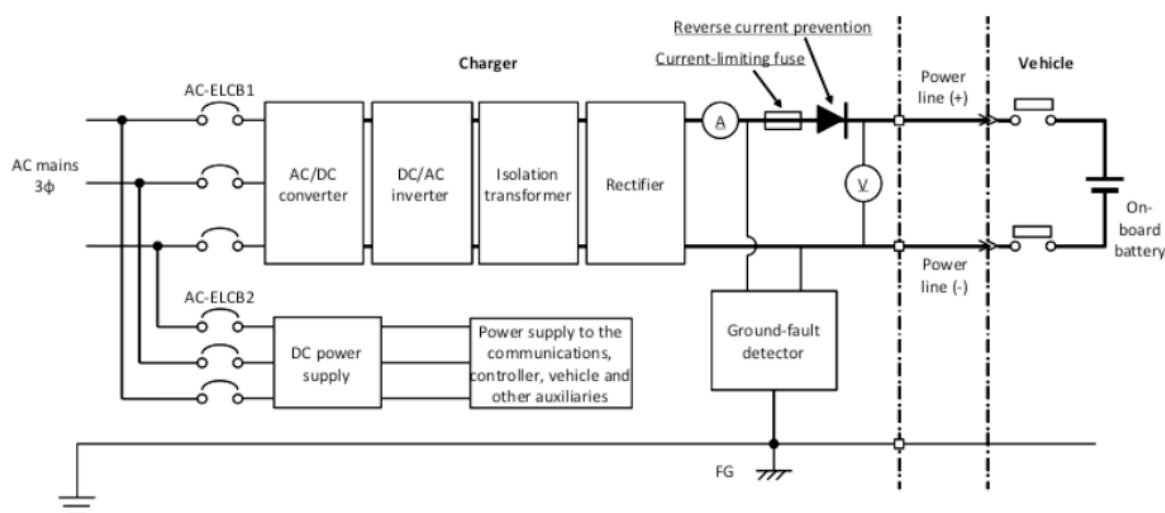
proudový chránič s automatickým odpojením od zdroje v případě poruchy. Ochranou je vybaven i konektor, který je opatřen plastovými kryty k zamezení kontaktu se živými částmi při odpojování a zbytkovému proudu. [21]

2.2.5 Ochrana proti nadproudům a monitorování procesoru

Potřebnou výbavou stanice CHAdeMO je také nadproudová ochrana proti přetížení hlavního obvodu a nebo zkratu.

Stejně tak je nutné monitorování stavu procesoru vozidla i stanice. Vzniklá porucha nebo problém s regulací musí mít za následek ukončení nabíjení, které je zastaveno nabíjecí stanicí nebo vozidlem. [21]

2.3 Popis hlavního obvodu



Obr. 2.1 Základní schéma obvodu [21]

2.3.1 Výkonový obvod

Výkonový obvod v nabíjecí stanici slouží k především ke změně střídavého napětí, které je přiváděno ze sítě na stejnosměrné určené pro nabíjení. Z důvodu bezpečnosti je zde nutné galvanické oddělení obvodů. Původní střídavé napětí je tedy usměrněno pomocí usměrňovače, za který je vhodné umístění meziobvodu s kondenzátor pro vyhlazení průběhu usměrněného napětí. Dále je potřeba toto napětí opět přeměnit na střídavé. To je provedeno pomocí řízeného třífázového střídače s IGBT nebo MOSFET tranzistory. Za tímto střídačem je v obvodu umístěn izolační transformátor spolu s druhým usměrňovačem. Na výstupu by měl být mimo trakční baterie zapojen i výstupní LR filtr.

Je zde použito tzv. měkké spínání a to z důvodu snížení ztrát a především kvůli zmenšení rozměrů a hmotnosti transformátoru, což vede k vysokofrekvenčnímu spínání. Je to proces, při kterém jsou tranzistory spínány při nulovém proudu nebo napětí čehož je dosaženo rezonančním obvodem. Ten lze realizovat několika způsoby. Jedním z nich je sériové zapojení kondenzátoru na jedno z primárních vinutí, čímž vzhledem k náhradnímu schématu transformátoru vznikne zjednodušením sériový rezonanční obvod. Přínosem toho také je, že dojde k případnému zamezení přesycování jádra transformátoru při rozdílné šířce kladných a záporných budících pulsů.

2.3.2 Oddělení obvodů

Jak je vidět ze základního schématu na obrázku 2.1, vstupní střídavý obvod je oddělen od výstupního stejnosměrného obvodu. Nutná mezi nimi je zvýšená nebo dvojitá izolace. Hlavní napájecí obvod a řídicí obvod musí být také odděleny a každý z nich musí obsahovat pojistky (AC-ELB1 a AC-ELB2), které chrání proti následkům zkratů, nadproudů a zemních spojení. V případě poruchy v hlavním napájecím obvodu, je potřeba, aby řídicí obvod zůstal aktivní a byla zachována komunikace s vozidlem, a také funkce ochrany s monitorováním nabíjecí stanice. [21]

2.3.3 Dioda proti zpětnému proudu

Stanice musí být vybavena také diodou proti zpětnému proudu na výstupním odbodu. Slouží k zabránění možnosti toku proudu z baterie elektromobilu do stanice a zpětnému proudu do baterií. Tato ochrana musí splňovat několik podmínek. V případě, že jsou obsažené kapacitní součástky, spouštěcí proud musí být maximálně do 20 A. Na straně obvodu za ochranou diodou musí být izolace nejméně dvojitá. Pokud tomu tak není, nelze zde umístit pojistku. Jestli jsou v obvodu nějaké součástky které propojují P a N diody je u ní nutné umístit 2 A rychlovypínací pojistku a nebo menší. [21]

2.3.4 Pojistka pro omezení proudu

Obvod nabíjecí stanice musí být také vybaven pojistkou která zabráni zkratu, který by byl způsoben náhodným připojením kabelu v opačné polaritě. Měla by mít rychlou vypínací schopnost s hodnotou nižší než 250 A. Pojistka je určena pro zajištění ochrany proti zkratu nabíjecí stanice, kabelu a nabíjecího konektoru. Umístit ji je nutné na stranu anody diody

ochrany proti zpětnému proudu s tím, že v obvodu vozidla by měl být nainstalován podobný ochranný mechanismus. [21]

2.3.5 Napájení vozidla

Pro provoz stykače vozidla je nutné aby stanice dodávala napájecí stejnosměrné napětí o velikosti $12\text{ V} \pm 10\%$, s proudem 2 A . Maximální výkon je tedy 24 W . To je získáno z řídicího zdroje. Nemají na něj vliv žádné poruchy vzniklé na hlavním napájecím obvodu. Je zde nutné mít ochranné opatření před zkratem na tomto vedení a zkratový proud by měl být omezen na 6 A . [21]

2.3.6 Měření proudu a napětí

Jak již bylo dříve zmíněno v nabíjecí stanici musí probíhat neustálé měření proudu a napětí. Jak můžeme vidět na obrázku 2.1, proud je měřen mezi výstupním usměrňovačem a pojistkou pro omezení proudu. Výstupní napětí je měřeno voltmetrem, který je umístěn mezi diodou zabráňující zpětnému proudu a konektorem vozidla. Jeho velikost musí být taková, aby při uvažování ztrát v nabíjecím kabelu bylo v konektoru požadované napětí. [21]

2.3.7 Uzemnění a ochranný vodič

2.3.7.1 Strana AC obvodu

Vodivé části v střídavém obvodu jako jsou kryty musí být uzemněny ochrannými vodiči. Dále je nutné vzít v úvahu místní normy a podle nich a také probíhá instalace a návrh ochranných stykačů před elektrickým šumem a úrazem elektrickým proudem. [21]

2.3.7.2 Strana DC obvodu

Zemnicí svorky v nabíjecí stanici musí být připojeny vodičem v kabelu ke svorkám ve vozidle, stejně tak musí být také uzemněna karoserie vozidla. Potřebné je i aby proudový chránič byl připojen ke svorkám uzemnění nabíjecí stanice a monitoroval stavy, mezi sekundární stranou izolačního transformátoru a krytu stanice spolu s mezinabíjecím obvodem a karoserií vozidla. Pokud dojde k odpojení nebo přerušení ochranného vodiče, musí stanice zastavit napájení a přerušit nabíjení. Dále je nutné aby ochranný vodič byl připevněn přímo k uzemňovacím svorkám a ne přes kryt. [21]

2.3.8 Obvod pro uzamčení konektoru

Během průběhu nabíjení je nutné aby přípojovací konektor byl uzamčen a bylo tak zamezeno nechtěnému nebo úmyslnému odpojení. Na něm musí být také umístěn prostředek, který tento stav uživateli zobrazí. Celý mechanismus spočívá v mechanickém připevnění ke vstupu vozidla pomocí západky odolné proti odpojení. Stanice musí mít funkci tento zámek ovládat. Před odemknutí konektoru, je také potřeba kontrola velikosti napětí, které musí být pod určitou úroveň.

V případě poruchy tohoto mechanismu nesmí začít průběh nabíjení. Mezi požadavky tedy patří průběžné kontrolování proudu konektoru, detekce poruchy kdykoliv v průběhu nabíjení včetně testu izolace. Pokud je porucha zjištěna, konektor zůstane v poloze zamčeno. [21]

2.3.9 Řízení a průběh nabíjení

Nabíjecí stanice vydává nabíjecí proud dle požadavku vzneseného vozidlem. Hodnota je oznámena komunikací CAN s cyklem 100 ms. Při změně požadavku musí stanice změnit velikost proudu dle potřeby.

Celý proces začíná, když je na nabíječe stisknuto tlačítko pro start nabíjení. Poté musí následovat povolení, které je přenášeno do stanice jak linkou řídicího signálu tak komunikací CAN. Pokud jsou požadavky splněny, před samotným začátkem dojde ještě ke kontrole kompatibility baterie, případně doby nabíjení a dojde ke srovnání přes komunikace CAN s parametry vozidla a zhodnocení, zdali a po jakou dobu lze nabíjet. Dále následuje uzamčení konektoru, zkontrolování stykačů vozidla jestli jsou sepnuté a izolační test na výstupním stejnosměrném obvodu. Při úspěšném splnění všech podmínek si vozidlo vyžádá požadovanou hodnotu proudu, čemuž stanice vyhoví a začne proces nabíjení.

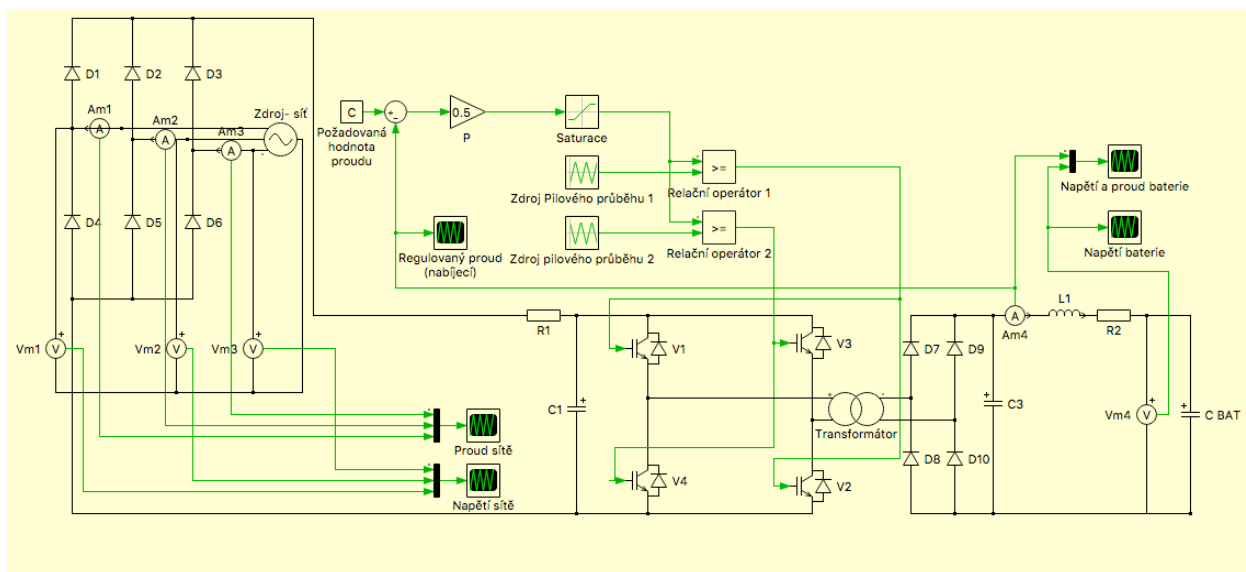
Když je baterie nabitá, vyšle vozidlo požadavek o ukončení nabíjení. Stanice proces zastaví, poté proběhne kontrola napětí v konektoru. Pokud je menší než 10V ten se uvolní a je možné ho odpojit. [21]

3 Simulační model nabíjecí stanice

Další částí této bakalářské práce je sestavení simulačního modelu vybrané nabíjecí stanice, tedy stejné jako v předchozí kapitole, a tím je rychlonabíjecí DC stanice typu CHAdeMo. Ta, jak již bylo dříve zmíněno, dosahuje výstupního napětí až 500 V se 120 A, čili maximálního výkonu 63 kW. Jako baterii uvažujeme lithiumiontový akumulátor.

Model byl sestaven v nástroji PLECS, který je určen jako knihovna nadstavby programu Matlab, Simulink, případně i jako samostatná aplikace se zaměřením pro podrobnou simulaci výkonové elektroniky a elektrických pohonů. Rozhraní Simulinku je na rozdíl od Matlabu, kde se používá psaných příkazů, v grafické podobě, která spočívá v jednoduchém spojování již vytvořených bloků a správném nastavení jejich parametrů.

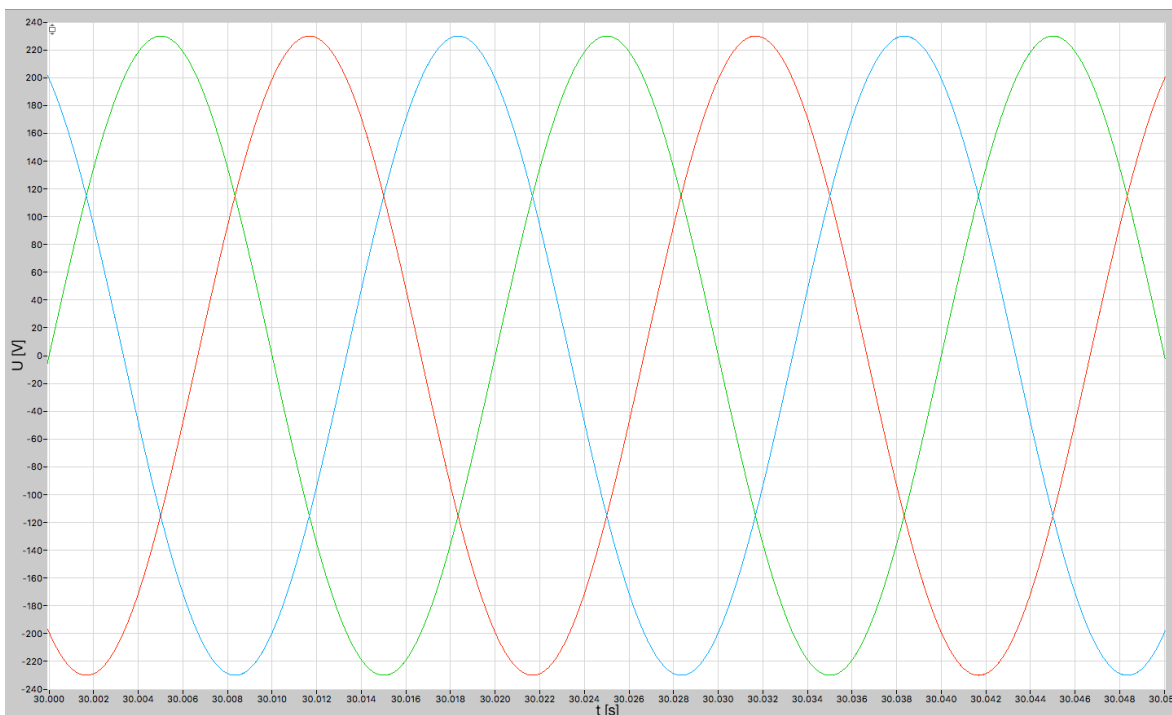
3.1 Základní schéma



Obr. 3.1 Základní schéma obvodu

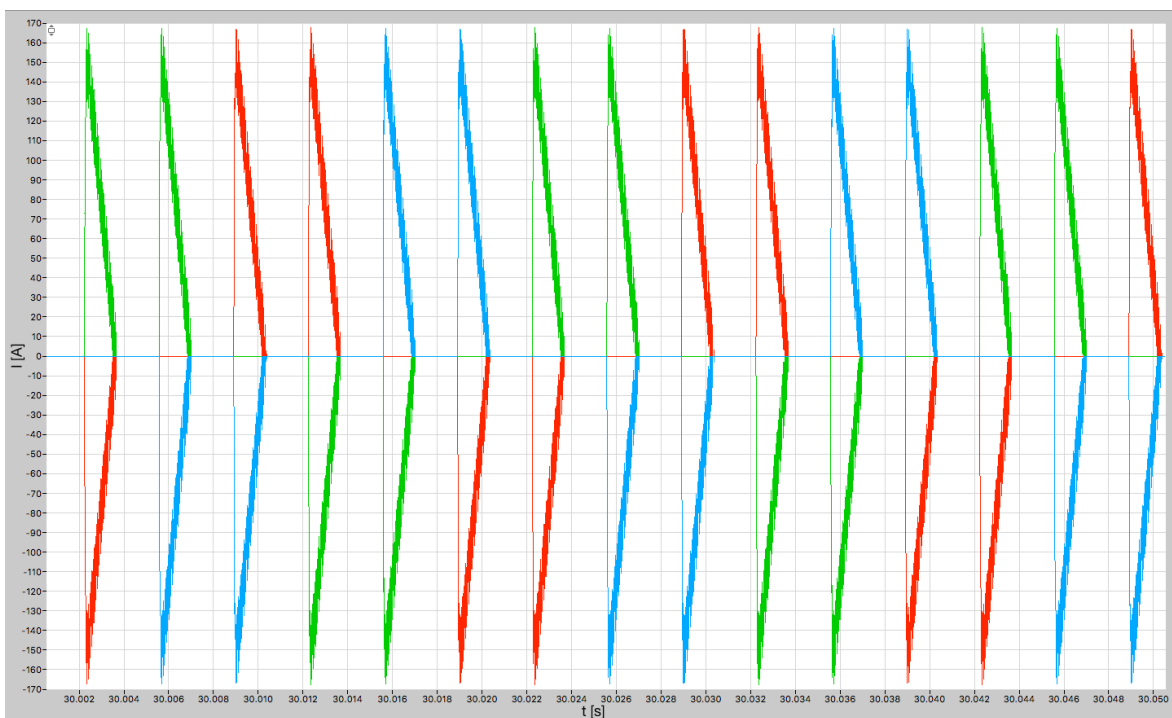
Hlavní výkonová část je složena z dvou neřízených diodových usměrňovačů a plně řízeného střídače. K řízení je použita PWM modulace s P regulátorem. Bližší popis celkové topologie a funkce obvodu spolu s potřebnými úkony je již popsán v kapitole 2.

Model je napájen z třífázové sítě 3x230/400V s frekvencí 50 Hz, průběh napětí můžeme vidět na obrázku 3.2. Baterie je charakterizována kondenzátorem C_{bat} , jehož kapacita byla zvolena 20 F. Celková doba simulace je nastavena na 200 sekund.



Obr. 3.2 Průběh napětí sítě

Na obrázku 3.3 můžeme vidět charakter odebíraného proudu ze sítě. Jeho tvar a velikost je dána velikostí kondenzátoru na zátěži.

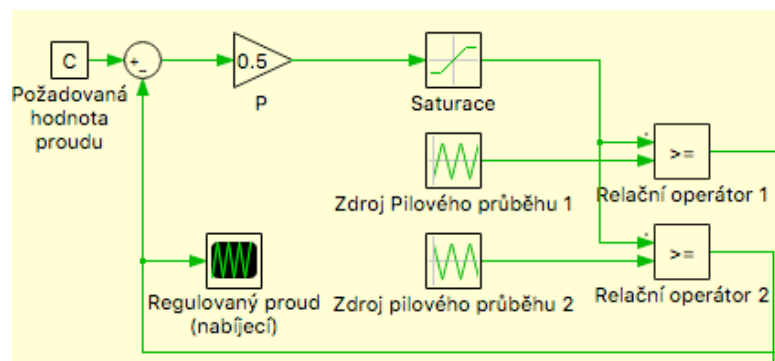


Obr. 3.3 Průběh odebíraného proudu ze sítě

Tvrký zdroj napětí totiž pokrývá odběrové špičky a způsobuje odběr velkých hodnot proudů ze sítě, v našem případě dvojnásobný oproti nabíjecímu. Potlačení by bylo možné realizovat sériovým připojením indukčnosti, případně zvolením aktivního měniče.

Vzhledem k typickým výkonům stanice CHAdeMo a napájecí sítě byla hodnota nabíjecího proudu zvolena na 90 A, což dává celkový nabíjecí výkon 36kW.

Na obrázku 3.4 můžeme vidět regulační obvod, kterým je v obvodu řízen střídač pomocí něhož je měněna velikost proudu. V porovnávacím členu se požadovaná hodnota, v tomto případě 90A, porovnává se skutečným regulovaným (nabíjecím) proudem čímž vzniká regulační odchylka.



Obr. 3.4 Regulační obvod

Dále je signál veden do proporcionální části. Po úspěšném naladění regulátoru je hodnota zesílení P nastavena na 0,5. Horní limit saturace tohoto výsledného signálu je nastaven na 0,25. V relačním operátoru \geq se signál porovnává s pilovým průběhem o amplitudě 0,5 s frekvencí 10000 Hz, čímž se mění střída výsledného signálu a spínání obou dvojic tranzistorů, kdy je jedna posunuta o půl periody.

Za tímto řízeným střídačem je umístěn transformátor, kde také dochází k realizaci rezonančního obvodu. V případě této simulace z důvodu náročnosti výpočtu došlo k zjednodušení a měkké spínání zde nebylo použito, což by v praktickém sestavení bylo nutné.

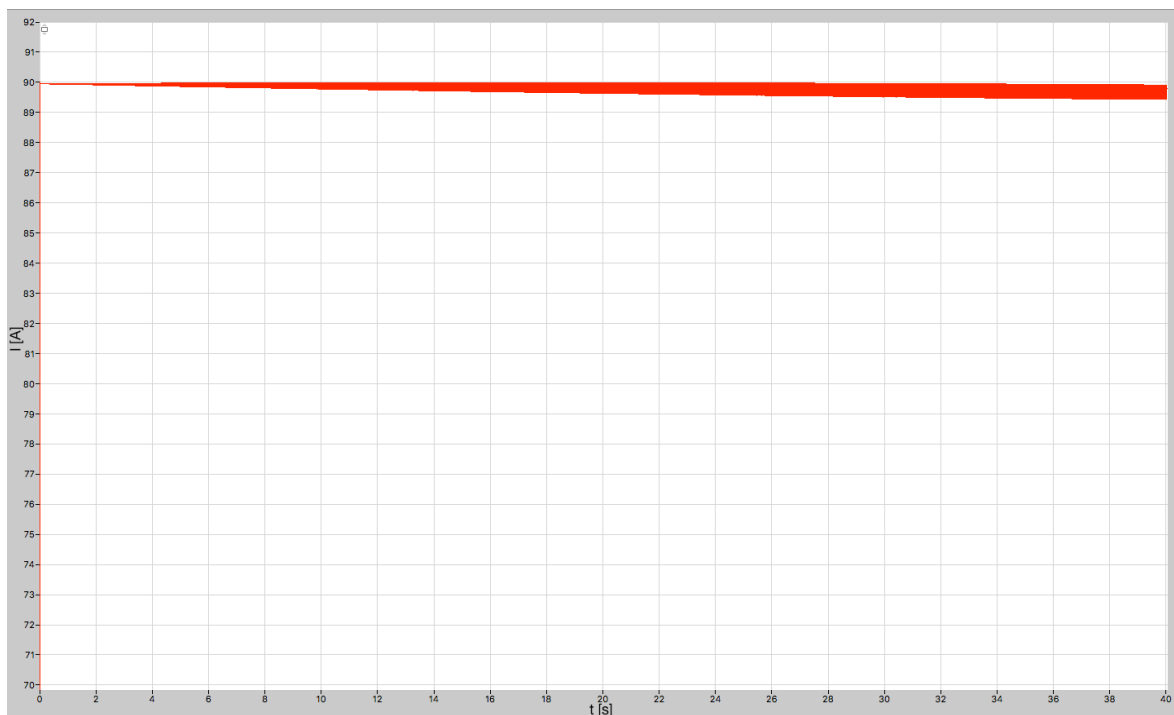
Parametry transformátoru jsou následující:

- rozptylová reaktance $L1$ i $L2 = 10\mu\text{H}$
- odpor vinutí $R1$ i $R2 = 0.1 \Omega$
- převod vinutí = 1
- magnetizační reaktance $Lm = 0.01 \text{ mH}$

Na výstupu druhého diodového usměrňovače je mimo trakční baterie, charakterizována C_{bat} , také kondenzátor $C3$ $4\mu\text{F}$ a indukčnost $L1$ s odporem $R2$. Hodnoty tohoto výstupního filtru byly zvoleny v závislosti velikosti výstupního nabíjecího proudu a vzhledem k jeho zvlnění na $L1=1\text{mH}$ a $R2=1\text{m}\Omega$. V této větvi probíhá současně měření nabíjecího proudu, jehož hodnota je nutná pro funkčnost regulace.

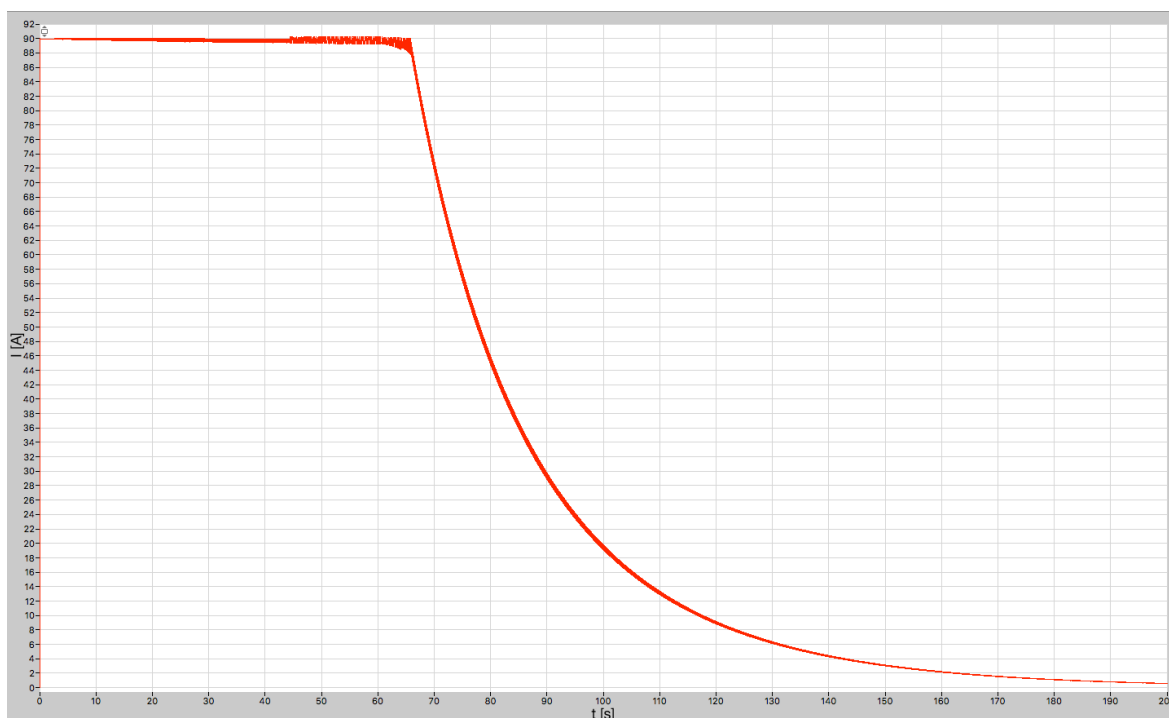
Trakční baterii lze charakterizovat několika způsoby. Zde je, jak již bylo dříve zmíněno, charakterizována pro jednoduchost kondenzátorem C_{bat} s kapacitou 20 F. V našem případě toto řešení plně dostačuje a není zde potřeba složitějšího zapojení.

Samotný průběh nabíjení je rozdělen do několika částí. První, je nabíjení s konstantním proudem, což můžeme vidět na obrázku 3.6 kde je zobrazen interval od 0 do 40 s.



Obr. 3.6 Průběh nabíjení konstantním proudem

Délka tohoto intervalu je závislá na velikosti nabíjecího napětí. Dále, by se nabíjecí proud měl začít snižovat přibližně při dosažení 75% až 80% konečného nabíjecího napětí. Jak lze pozorovat na obrázku 3.7 z celkového průběhu, nastane tak po uplynutí 65 s po začátku nabíjení od 0 s. Dosažením této hodnoty času začne proud klesat až k 0.



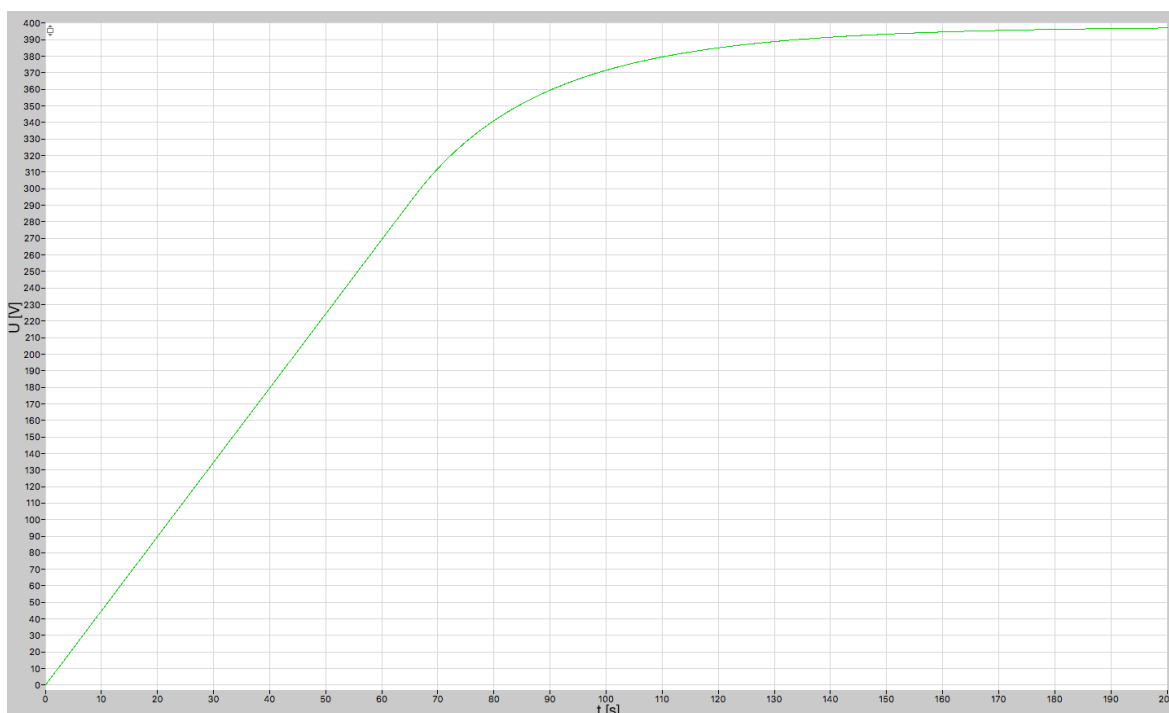
Obr. 3.7 Průběh nabíjecího proudu

Průběh akumulace napětí v Cbat má do poklesu proudu lineárně se zvyšující průběh.



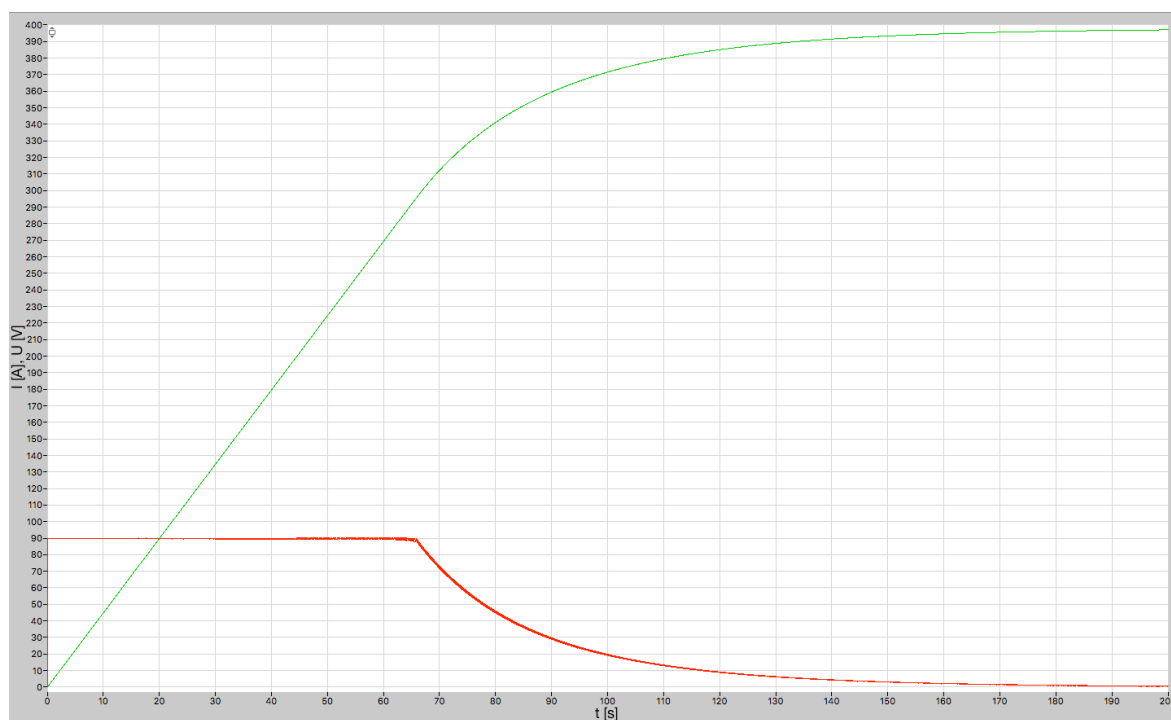
Obr. 3.8 Lineární průběh napětí

To je možno vidět na obrázku 3.8. Po dosažení 75 % nabití, se průběh zvyšování napětí zpomalí a blíží se ke své konečné hodnotě, v našem případě 400 V. Průběh celého napětí na trakční Cbat vidíme na obrázku 3.9.



Obr. 3.9 Celkový průběh napětí na trakční baterii

Celkové průběhy napětí a proudu plného nabití od 0 do 100 % jsou zobrazeny na obrázku 3.10.



Obr. 3.10 Celkový průběh napětí a proudu

Je zde dobře patrné ono snížení nabíjecího proudu při dosažení 75% nabití. To se odehrává v čase 65 s a při napětí 300 V.

Celkový průběh nabíjení tedy odpovídá předpokladům, blíže popsanych v kapitole 1.6.2.

Závěr

V úvodu této bakalářské práce bylo provedeno seznámení s problematikou provozu a rozšíření elektromobilů v nejbližší době spolu s překážkami, které tento rozvoj zpomalují.

Dále bylo sestaveno rozdělení, přehled druhů nabíjecích stanic spolu s používanými bateriemi a způsobem nabíjení. Jako hlavní dělení se dá považovat AC a DC stanice, kdy vzhledem k velkým výkonům a tím pádem i krátkému času nabíjení, je pravděpodobné větší rozšíření rychlonabíjecích DC stanic. V následujících letech by mohly odpadnout její největší nevýhody a tím je cena, u které je v budoucnu pravděpodobné snížení a také náročnost na přípojnicí, což je možno vyřešit akumulacími stanicemi. Důvodem většího rozšíření těchto stanic může být i větší počet používaných elektrických kamionů a elektrobuses, které je nutné dobíjet velkými výkony.

Jednou z dalších možností rozšíření je oblast indukčních bezdrátových stanic zabudovaných v parkovacích místech, případně v pruzích pro to určených na samotné vozovce.

V další části práce bylo, podrobněji popsána topologie a všechny potřebné procesy potřebné pro úspěšný a bezpečný průběh nabití jedné vybrané stanice. Tím byla zvolena z důvodu poměrně velkého rozšíření ve světě rychlonabíjecí DC stanice CHAdeMo.

U tohoto typu stanice proběhlo také sestavení simulačního modelu v knihovně určené pro simulaci výkonové elektroniky a pohonů v prostředí Matlab/Simulink s názvem PLECS. Na tomto modelu byla prezentována funkčnost základní nabíjecí stanice spolu s výslednými průběhy napětí a proudu, kde byly potvrzeny poznatky z průběhů nabíjení baterií popsané v první části práce.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Citroen C-Zero. *New electric cars*. [online]. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://newelectriccars.wordpress.com/available-electric-cars-2/citroen-c-zero/>
- [2] Nabíjecí stanice pro elektromobily, druhy a použití. *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nabijeci-stanice-pro-elektromobily-druhy-pouziti-jak-venaletet>
- [3] Možnosti nabíjení elektromobilů. *Elektroforum.cz* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.elektroforum.cz/viewtopic.php?t=19>
- [4] O ELEKTROMOBILECH S JANEM HORČÍKEM. *Respekt.cz* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.respekt.cz/rozhovory/o-elektromobilech-s-janem-horcikem>
- [5] EV DC Fast Charging standards – CHAdeMO, CCS, SAE Combo, Tesla Supercharger, etc. *Greentransportation.info* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://greentransportation.info/ev-charging/range-confidence/chap8-tech/ev-dc-fast-charging-standards-chademo-ccs-sae-combo-tesla-supercharger-etc.html>
- [6] ELECTRIC BUS WITH FAST CHARGING. *Škoda.cz* [online]. [cit. 2018-04-015]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/en/references/elektrobus-s-rychlodobijenim/?from=prod>
- [7] Innovative fast inductive charging solution for electric vehicles. *Fastincharge.eu* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.fastincharge.eu/scientist.php>
- [8] Stochastic Systems Modeling for Wireless Charging Electric Vehicle. *Smmso.org* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z: [http://www.smmso.org/SMMSO2017/downloads/S2.1/Wireless%20Charging%20EV%20\(KAIST-JANG\).pdf](http://www.smmso.org/SMMSO2017/downloads/S2.1/Wireless%20Charging%20EV%20(KAIST-JANG).pdf)
- [9] AES 6. *AESR* [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.aers.cz>
- [10] ELECTRIC CAR CHARGING 101 — TYPES OF CHARGING, CHARGING NETWORKS. *EV Obsession* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://evobsession.com/electric-car-charging-101-types-of-charging-apps-more/>
- [11] EV Quick charger. *Dydencables* [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: http://www.dydencables.com/EV_Quick_Charger.html
- [12] MODEL S Tesla shuts down battery swap program in favor of Superchargers. *Teslarati* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://www.teslarati.com/tesla-shuts-down-battery-swap-program-for-superchargers/>

- [13] SAE J1772. *En.wikipedia.org* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772
- [14] CHARGING SPEEDS & CONNECTORS. *ZAP MAP* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://www.zap-map.com/charge-points/connectors-speeds/>
- Charging Cable and Plug Types for Electric Mobility. *The mobility house* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.mobilityhouse.com/en/charging-cable-and-plug-types/>
- [15] Baterie v elektromobilech. *Elektromobily* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz>
- [16] Performance and characteristic research in LiFePO₄ battery for electric vehicle applications. *IEEEExplore* [online]. Dearborn, 2009 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5289664>
- [17] Akumulátory Li-ion a jejich nabíjení. *Belza.cz* [online]. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://www.belza.cz/charge/liion1.htm>
- [18] Charging Lithium-ion. *Battery university* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries
- [19] Baterie elektromobilu Chevrolet Bolt EV stojí \$15 734. *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/baterie-elektromobilu-chevrolet-bolt-ev-stoji-15-734>
- [20] Bloomberg Hyperdrive. *Bloomberg* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/hyperdrive>
- [21] IEEE Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles: *IEEEExplore* [online]. 3 Park Avenue New York, NY 10016-5997 USA, 2015, 3 September 2015 [cit. 2018-05-27].
- Implementation of Dynamic Charging and V2G using Chademo and CCS/Combo DC charging standard. *IEEEExplore*[online]. Dept. of Electrical Sustainable Energy, Delft University of Technology, Netherlands, 2016 [cit. 2018-05-27].