

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Nabíjecí stanice pro elektrická vozidla

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se zabývá typy nabíjecích stanic pro elektrická vozidla a jejich topologií, s důrazem na komunikaci. Úvodní část práce představuje nejpoužívanější typy konektorů kontaktního nabíjení a popisuje principy dalších technologií užívaných k nabíjení elektrických vozidel. Dále se práce zaměřuje na umístění a návrh stanice, s konkrétním popisem jednotlivých částí. Poslední část práce se věnuje detailnímu popisu komunikačních systémů a způsobu komunikace mezi stanicí a vozidlem.

Klíčová slova

Nabíjecí stanice, konektor, nabíjení DC proudem, nabíjení AC proudem, komunikace, bezdrátové nabíjení.

Abstract

The presented bachelor theses deals with the types of charging stations for electric vehicles and their topology, with emphasis on communication. The introductory part of the work presents the most used types of contact charging connectors and describes the principles of other technologies used to charge electric vehicles. Furthermore, the work focuses on the location and design of the station, with a specific description of each part. The last part of the work is devoted to a detailed description of communication systems and the method of communication between the station and the vehicle.

Key words

Charging station, connector, DC charging, AC charging, communication, wireless charging.

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 18.6.2020

Lukáš Lang

Obsah

OBSAH	6
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
ÚVOD	10
1 OBECNÉ SEZNÁMENÍ S NABÍJECÍMI STANICEMI	11
2 SYSTÉMY NABÍJENÍ	13
2.1 MANUÁLNÍ NABÍJENÍ.....	13
2.1.1 Nabíjení AC proudem	14
2.1.2 Nabíjení DC proudem.....	14
2.2 REŽIMY MANUÁLNÍHO NABÍJENÍ	15
2.2.1 Režim 1	15
2.2.2 Režim 2	15
2.2.3 Režim 3	16
2.2.4 Režim 4	16
2.3 AUTOMATIZOVANÉ SYSTÉMY NABÍJENÍ.....	17
2.3.1 Nabíjení sběračem	18
2.3.2 Nabíjení z boční strany.....	19
2.3.3 Vodivé nabíjení z povrchu vozovky.....	20
2.3.4 Bezkontaktní nabíjecí systémy	21
3 NABÍJECÍ KONEKTORY	25
3.1 POPIS KONEKTORŮ	26
3.1.1 SAE J1772	26
3.1.2 Combo 1 (CCS1).....	27
3.1.3 Typ 2 „Mennekes“	28
3.1.4 Combo 2 (CCS2).....	29
3.1.5 CHAdeMO	30
3.1.6 GB/T 20234.2-2011	31
3.1.7 GB/T 20234.3-2011	32
3.1.8 Tesla Supercharger	33
4 UMÍSTĚNÍ A NÁVRH VEŘEJNÉ NABÍJECÍ STANICE	35
4.1 ANALÝZA VYUŽITÍ	35
4.2 UMÍSTĚNÍ	36
4.3 SCHÉMA NABÍJECÍHO VÍCEPDLAŽNÍHO STANOVÍŠTĚ	38
4.3.1 Obecné provedení	38
4.3.2 Části DC nabíjecího systému.....	40
4.4 ELEKTRIFIKACE STANICE A ZATÍŽENÍ DISTRIBUČNÍ SÍTĚ	42

5	KOMUNIKAČNÍ SYSTÉMY	45
5.1	DATOVÉ SBĚRNICE	46
5.1.1	<i>Controller area network (CAN)</i>	46
5.1.2	<i>Local interconnect network (LIN)</i>	49
5.1.3	<i>FlexRay</i>	50
5.1.4	<i>Media oriented system transport (MOST)</i>	51
5.2	TECHNOLOGIE PLC	51
5.3	BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE	53
5.3.1	WLAN	53
6	ZPŮSOBY KOMUNIKACE MEZI NABÍJEČKOU A VOZIDLEM	56
6.1	SBĚRNICOVÁ KOMUNIKACE KONEKTORU CHADEMO	56
6.2	PLC KOMUNIKAČNÍ TECHNOLOGIE KONEKTORU CCS 1	58
	ZÁVĚR	60
	SEZNAM OBRÁZKŮ	62
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	63

Seznam symbolů a zkratek

<i>1f</i>	jednofázový signál
<i>3f</i>	třífázový signál
<i>AADT</i>	Annual average daily traffic- průměrný denní provoz za rok
<i>ABS</i>	Anti-lock brake system- protiblokovací brzdový systém
<i>AC</i>	střídavý proud
<i>ACD</i>	Automatic connect device- automatizované formy nabíjení
<i>ACK</i>	Acknowledge- potvrzovací zpráva o přijetí
<i>APS</i>	Alimentation par le sol- nabíjení z povrchu vozovky
<i>CAN</i>	Conroller area network- sériová sběrnice
<i>CCS</i>	Combined charging system- kombinovaný nabíjecí systém
<i>CRC</i>	Cyclic redundancy check- funkce detekující chyby
<i>CRT</i>	Clear to send- vysílací zpráva
<i>CSMA / CA</i>	Carrier sense multiple access with collision avoidance- metoda přístupu do sítí PLC
<i>CWPT</i>	Capacitive wireless power transfer- kapacitní nabíjení
<i>ČEZ</i>	České energetické závody
<i>DC</i>	stejnoseměrný proud
<i>DIFT</i>	označení doby ve WLAN sítích
<i>DSSS</i>	Direct sequence spread spectrum- metoda vysílání dat v sérii na různých frekvencích
<i>EMC</i>	Electromagnetic compatibility- Elektromagnetická kompatibilita
<i>ERS</i>	Electric road system- silniční nabíjecí systémy
<i>EU</i>	Evropská unie
<i>EV</i>	elektrické vozidlo
<i>FFT</i>	Fast Fourier transform- Rychlá Fourierova transformace
<i>FHSS</i>	Frequency hopping spread spectrum- metoda měnící vysílací frekvence
<i>GPS</i>	Global positioning system- navigační systém
<i>IP</i>	Internet protocol- internetová adresa síťového rozhraní
<i>IPT</i>	Inductive power transfer- indukční nabíjení
<i>ISI</i>	intersymbol interference- překrytí za sebou vyslaných zpráv

<i>LIN</i>	Local interconnect network- sériová sběrnice
<i>MAC</i>	Media access control address- fyzická identifikační adresa síťového zařízení
<i>MGWPT</i>	Magnetic gear wireless power transfer- magnetický převod
<i>MOST</i>	Media oriented system transport- sériová sběrnice
<i>NAV</i>	Network allocation vector- rámes WLAN sítě
<i>OFDM</i>	Orthogonal frequency division multiplexing- ortogonální frekvenční multiplex
<i>P2P</i>	Peer to peer- režim komunikace bod-bod
<i>PLC</i>	Power line communication- přenos zpráv po elektrické síti
<i>PWM</i>	Pulse width modulation- pulzně šířková modulace
<i>QAM</i>	Quadrature amplitude modulation- kvadraturní amplitudová modulace
<i>RIPT</i>	Resonant inductive power transfer- rezonančně induktivní nabíjení
<i>RNC</i>	Route node convergate- Pokrytí trasových uzlů
<i>RTR</i>	bit zprávy CAN sběrnice
<i>RTS</i>	Read to send- rámes WLAN sítě
<i>SAE</i>	Society of automotive engineers- Společnost automobilových inženýrů
<i>SGCC</i>	State grid corporation of china- Čínská státní energetická společnost
<i>USA</i>	Spojené státy americké
<i>VSC</i>	Voltage source converter- napět'ového měniče
<i>WCS</i>	Wireless charging systems- bezdrátové nabíjecí systémy
<i>WEP</i>	Wired equivalent privacy- bezpečnostní protokol bezdrátových sítí
<i>WLAN</i>	Wireless local area network- bezdrátová počítačová síť
<i>WNIC</i>	označení řadiče
<i>WPA</i>	Wi-Fi protected access- zabezpečení bezdrátových sítí

Úvod

Za posledních několik let vzrostla pozornost věnovaná sektoru elektromobility, jako ekologicky udržitelné náhradě za vozidla se spalovacím motorem, zbavení se závislosti na pohonných hmotách a z pohledu omezení množství vypuštěných skleníkových plynů. Nezbytnou podmínkou pro budoucí rozvoj tohoto sektoru je fáze nabíjení elektrického vozidla, konkrétně nabíjecí stanice. V současné době je vyvíjena značná snaha optimalizace technologií spojených s elektromobilitou a samotným nabíjením, které má velký potenciál do budoucna. Nabíjení elektrických vozidel hraje důležitou roli ve vývoji elektromobility a je potřebné pro široké přijetí elektrických vozů a technologií spojených s tímto sektorem.

S postupným nástupem elektrinou poháněných vozidel však vyvstává řada problémů, související s jejich nabíjením, které se u vozidel na fosilní paliva nemusely řešit, nebo byly jiného charakteru. Mezi tyto problémy patří například rychlost dobíjení baterie, vliv skokového zatížení na přenosovou síť a vybudování potřebné infrastruktury vyhovující poptávce [1]. Cílem této bakalářské práce je analyzovat současný stav nabíjecích stanic, průběhu nabíjení a problémům s ním spojených. V jednotlivých částech se práce věnuje současným metodám nabíjení, typům standardů a návrhu stanice. S návazností na zmíněné části se práce zabývá podrobným popisem vzájemné komunikace vozidlo-stanice, která je klíčová pro průběh nabíjení.

1 Obecné seznámení s nabíjecími stanicemi

Stanice se obecně skládá z kabelu se zástrčkou, připojeném na nabíjecím stojanu, který je napájen z distribuční sítě. Stojan stanice obsahuje několik systémů, z nichž se část těchto systémů stará o převod a dodání energie vozidlu. Výše popsaná stanice bude v celé práci označována jako nabíjecí stanice, nabíječka, či stojan, pokud nebude uvedeno jinak. Nad zmíněným systémem se nachází další nadřazený, obstarávající řízení celé stanice a všech částí, upravujících signál, který je dodáván do vozidla. Tento nadřazený systém dále zajišťuje vzájemnou komunikaci s vozidlem, která je klíčová pro správný průběh přenosu energie. Komunikace může být vedena po zvláštní přenosové síti, nabíjecím vedení nebo bezdrátově. V přednabíjecích fázích jsou zjištěny vzájemné parametry a připravenost stanice a vozidla. Pokud je vše v pořádku, je zahájeno nabíjení, které je při jakékoliv chybě, v jejím průběhu, ukončeno. Nabíjení probíhá až do plného nabití vozidla nebo ukončení uživatelem. Zmíněná konfigurace nabíjecí stanice se může lišit regiony a zvolenými parametry frekvence, napětí, proudu, výkonu atd.. Podstatou je to, že životnost a technický stav vozidla je úzce spjat s úrovní kvality nabíjení. Kvalitní nabíjení by mělo být efektivní, spolehlivé, s vysokou hustotou energie a nízkými náklady [4].

V současné době probíhá většina nabíjení (80 – 90%) neveřejně v domácnostech (přes noc) nebo ve firmách (během dne). Při nabíjení v neveřejných místech je za potřeby pomalých nebo středně rychlých nabíjecích stanic. Zbylá procenta nabíjení se odehrávají na veřejných rychlých nebo ultrarychlých stanicích [1]. Největší koncentrace těchto stanic se nalézají ve městech a podél hlavních tras vnitrostátních a mezistátních dopravních uzlů, kdy právě v těchto místech bude největší poptávka po co nejrychlejší dobíjení vozidla. Nabíjecí stanice se liší jak rychlostí, která je dána jejich výkonem, druhem dobíjecího proudu (DC nebo AC), komunikací vozu a nabíjecí stanice, tak maximálním nabíjecím výkonem vozidla. Přenos můžeme rozdělit na kontaktní (kabelové připojení) nebo bezkontaktní (přenos energie založený na principu elektromagnetického pole).

Podstatným problémem při vytváření potřebné infrastruktury je výběr vhodné lokality pro výstavbu a to nejen z důvodů majetkoprávních, ale také velké vstupní investice pro vybudování nabíjecích stanic a zajištění jejich provozu. Hlavním technickým problémem je nalezení vhodného místa s připojením na dostatečně velký příkon, případně posílení distribuční sítě v dané lokalitě. Z tohoto pohledu mohou mít nabíjecí stanice negativní vliv

na distribuční síť, ve smyslu velkého nárazového zatížení distribuční sítě v řádech jednotek, v budoucnu až desítek MW. Skokový nárůst odběru elektrické energie je způsoben nerovnoměrným denním využitím nabíjecích stanic, kdy v denních hodinách je vyšší vytížení stanic než v nočních.

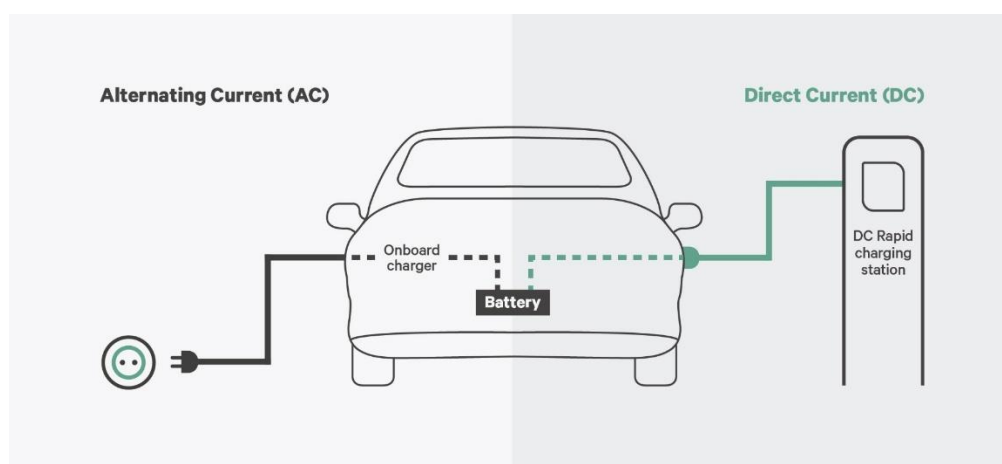
Možným řešením těchto problémů je příchod sítí Smart grid a IoT (Internet věcí) a zavádění autonomního řízení. Vyjmenované technologie by v budoucnu mohly pomoci vyřešit problémy se špičkovým zatížením a kompenzací distribuční sítě. Pojem kompenzace distribuční sítě je myšleno kombinované využívání akumulátorů elektro vozů, dále jen EV, jako spotřebičů nebo zdrojů, při měnícím se množství elektrické energie v síti (princip kompenzačních elektráren) [1]. Podmínkou těchto řešení je vytvoření rozsáhlé komunikační sítě, zahrnující množství stanic, dynamicky se přizpůsobujících změnám v poptávce, stavu okolních stanic a zatížení sítě. Zmíněnou problematikou se dlouhodobě zabývá řada společností, vytvářející nové inovace v sektorech energetiky, dopravy a komunikací. Množství společností, schopných tohoto výzkumu a vývoje, je omezeno vysokými počátečními náklady a nejasnou návratností investic [1].

2 Systémy nabíjení

2.1 Manuální nabíjení

Manuální technologie nabíjení je jednou z nejstarších a do dnešní doby nejpoužívanější technologií nabíjení elektrických vozidel, důvodem je její jednoduchost a dobré vlastnosti (účinnost, bezpečnost, cena, atd.). Přenos energie a dat mezi nabíjecí stanicí a vozidlem zajišťuje kabelové připojení, schopné bezpečného zatížení ve stovkách kW, při zajištění elektromagnetické kompatibility (EMC) a ochrany lidského zdraví. Mezi další výhody manuální technologie nabíjení patří cena, účinnost pohybující se kolem $\eta = 90\%$ [58], zahrnuje proces převodu energie z distribuční sítě a přenos do vozidla, (bezkontaktní nabíjení $\eta = 96\%$, účinnost přenosu mezi vysílací a přijímací cívkou) [22] a možnost širokého využití v běžné distribuční síti. Hlavním technickým nedostatkem manuálního nabíjení je nekompatibilita mezi nabíjecími systémy stanic a vozidel, lišící se regiony a samotná potřeba manuálního připojení stanice-vozidlo [20].

Zmíněné manuální nabíjení, je možné rozdělit podle toho, zda nabíjíme střídavým nebo stejnosměrným proudem, princip zobrazen na obrázku 1. Distribuční síť dodává střídavý proud (AC), ale baterie elektrického vozidla pracuje se stejnosměrným proudem (DC). Převod střídavého proudu na stejnosměrný může probíhat ve vozidle nebo v nabíjecím stojanu [20]. Hlavním rozdílem mezi oběma druhy nabíjení je rychlost nabití vozidla a s tím spojené místo převodu proudu.



Obr. 1 Princip střídavého a stejnosměrného nabíjení [38]

2.1.1 Nabíjení AC proudem

AC nabíjení je charakteristické tím, že převod střídavého síťového proudu na stejnosměrný proud je prováděn ve vozidle, jeho palubní nabíječkou. Právě tato palubní nabíječka udává svými parametry velikost nabíjecího proudu a napětí a celkový čas nabíjení [23], který je delší než u srovnatelného DC nabíjení [7]. Delší doba převodu je dána potřebou palubní nabíječky vozidla, pracovat s menšími hodnotami výkonu, maximálně do desítek kW. Výkonové omezení palubní nabíječky, je zapříčiněno maximálními proudovými hodnotami zatížení jednotlivých součástí palubní nabíječky [24], zatížení je možné zvýšit, s tímto zvýšením parametrů však roste cena a hmotnost vozidla. Nadměrné zvyšování hmotnosti palubní nabíječky zvyšuje celkovou hmotnost vozidla a aspekty jako je hmotnost omezují výrobce vozidel ve výběru optimální baterie (baterie zaujímá podstatnou část hmotnosti EV) [22]. Komunikace při tomto druhu nabíjení je nutná v případě využití vyšších výkonů viz kapitola (2.1 Režimy manuálního nabíjení), při nabíjení nižšími výkony není komunikace vyžadována [20].

2.1.2 Nabíjení DC proudem

V případě DC typu nabíjení není nabíječka umístěna v samotném vozidle, ale mimo vozidlo v nabíjecí stanici anglicky off-board. Off-board umístění není limitováno vlastní velikostí a hmotností nabíječky a umožňuje nabíjet při vyšších výkonových úrovních. Při samotném nabíjení je ve vozidle obcházena palubní nabíječka a baterie je přímo nabíjena ze stanice [24] [18] [23]. Víše zmíněné technologické odlišnosti oproti střídavému proudovému nabíjení vozidla, umožňují zkrátit celkovou dobu nabíjení až na 10min z původní 1h [54], zvětšit baterii a tím operační dosah vozidla, v případě odstranění palubní nabíječky. U tohoto druhu nabíjení je kladen velký důraz na komunikaci stanice-vozdlo, důvodem je zajištění optimálního nabíjení EV velkými výkony (proud, napětí, teplota, atd.), ochrana částí vozidla a uživatele.

2.2 Režimy manuálního nabíjení

Režimy manuálního nabíjení označují technické možnosti nabíjení (kapacita, komunikace, bezpečnost) a dělí se na čtyři režimy [20]. První tři režimy využívají nabíjení střídavým proudem a čtvrtý režim nabíjí stejnosměrným proudem.

2.2.1 Režim 1

Nabíjení je prováděno z běžné zásuvky 230V (AC) při použití nezbytných ochran (uzemnění a jističe) [7]. Režim 1 však postrádá komunikaci s vozidlem, zajišťující bezpečnost uživatele a vozidla, při vyšších výkonech řádu desítek kW. Absence komunikace je důvodem omezení maximálního dosažitelného výkonu na hodnotu 2,3kW (1f, 10A) nebo 11kW (3f, 10A), podle normy (IEC 61851-1) [20]. Snížení velikosti nabíjecího výkonu způsobuje prodloužení celkové doby nabíjení (6 - 8h) a udává použití režimu v místech s dlouhodobým stáním, což většinou bývá v domácnostech nebo na pracovištích.

2.2.2 Režim 2

Tento režim využívá nabíjení pomocí 1f nebo 3f střídavého proudu domácí nabíjecí stanice. Hlavním rozdílem mezi režimem 1 a 2 je použití domácí nabíječky označované jako wallbox, zobrazené na obrázku 2, zajišťující komunikaci s vozidlem, regulaci nabíjecího výkonu a tím vyšší bezpečnost nabíjení. Zmíněné technologické odlišnosti, umožňují zvýšit maximální nabíjecí výkon na hodnotu 7,4kW (1f, 32A) nebo 22kW (3f, 32A) (podle normy IEC 61851-1) a dobu nabíjení zkrátit na (5 – 6h) [20].



Obr. 2 Domácí nabíječka (wallbox) Mennekes Basic E [92]

2.2.3 Režim 3

V režimu 3 je odpovídající nabíjecí kapacita (AC) určena komunikací mezi nabíjecí stanicí a vozidlem, které řídí celý proces nabíjení [20]. Zdokonalení komunikace umožňuje po celou dobu optimálně nabíjet až do výkonu 43kW, při důrazu na zatížení vozidla a změn v distribuční síti. Stanice nabíjecí režimem 3 jsou využívány na místech s průměrnou dobou stání kolem 1h, mezi tyto místa patří například nákupní centra nebo stání ve firmách.

2.2.4 Režim 4

Všechny předešlé režimy nabíjení využívali pro nabíjení EV střídavého proudu a napětí (1f nebo 3f), jejich výkon dosahoval maximální hodnoty 43kW. Při nabíjení v Režimu 4 však využíváme nabíjení při stejnosměrném proudu a napětí [20], při kterém může maximální nabíjecí výkon dosáhnout až hodnot 400kW, při proudu a napětí několik stovek ampér a volt. Jak je již zřejmé z tak velkých hodnot výkonu, režim 4 klade velké nároky na bezpečnost, komunikaci a nabíjení nelze provozovat doma, ale pouze u rychlo nabíjecích stanic. Jedním z důvodů je velká změna zatížení a toků v místní distribuční síti, instalace

stanice je proto možná pouze v místech s dostatečnou kapacitou vedení distribuční sítě, viz kapitola (4.4 Elektrifikace stanice a zatížení distribuční sítě).

Tab. 1 Parametry režimů nabíjení

	Režim 1		Režim 2		Režim 3		Režim 4
I [A]	10		32		63		500
Typ proudu	AC		AC		AC		DC
Počet fází	1	3	1	3	1	3	Ne
P [kW]	2,3	11	7,4	22	16	43	400
t [h]	6 - 8		5 - 6		1 - 2		40 - 15 min
Komunikace	Ne		Ano ¹		Ano		Ano
Zabezpečení	Ano		Ano		Ano		Ano

2.3 Automatizované systémy nabíjení

Ve všech předešlých kapitolách a částek, které zde byly zmíněny, jsme se zabývali manuálním neboli „ručním“ nabíjením vozidel, které je kontaktní a velmi podobné čerpání pohodných hmot do vozidel na fosilní paliva. Nevýhodou tohoto druhu nabíjení je samotné nabíjení vozidla probíhající pouze tehdy, pokud se vozidlo nepohybuje, stojí na místě určeném k nabíjení a manuálně je připojeno k nabíjecí stanici. Existují ale i jiné formy nabíjení, které se označují jako automatizované formy nabíjení ACD (Automatic Connect Device) [20]. V literatuře je také možné nalézt označení ERS (Electric Road System), systémy umožňující nabíjet elektrická vozidla během jízdy. Obě dvě formy označení zahrnují nabíjecí systémy, kdy není vozidlo manuálně připojováno a nabíjení probíhá při stání (staticky) nebo za pohybu (dynamicky), kontaktně nebo bezkontaktně. Mezi tyto systémy patří například nabíjení sběračem, vodivé nabíjení z povrchu vozovky, nabíjení z boku a bezkontaktní nabíjení (induktivní, kapacitní) [22].

¹ Nejedná se o komunikaci po sběrníkové síti, pouze o analogové předání informace o připojení konektoru a začátku nebo konci nabíjení.

2.3.1 Nabíjení sběračem

2.3.1.1 Statické nabíjení sběračem

Statické nabíjení pomocí sběrače využívá vodivý přenos velkého množství energie za krátký čas, na místech určených k nabíjení po trase vozidla, kdy se střešní sběrač „up“ připojí ze střechy vozidla ke stanici, viz obrázek 3 nebo je vozidlo připojeno sběračem stanice „down“. Statické připojování sběračů je užíváno u vozidel s velkým příkonem, která na svých trasách často zastavují na krátký čas (kolem 5min např. autobusy, nákladní auta, speciální manipulační vozidla, atd.). V těchto místech je nabíjené vozidlo nabíjeno ve velmi krátkém čase, buď pro částečné, nebo úplné nabití baterie. Připojení střešního sběrače probíhá pomocí vylepšeného CCS standardu, navrženého na vyšší proudy, řádově stovky ampér. Komunikace probíhá pomocí protokolu PLC. V případě nabíjení sběračem stanice „down“, neprobíhá komunikace kontaktně pomocí PLC nebo CAN protokolu, ale je zajištěna bezdrátovou WLAN/ WIFI sítí, oproti kontaktní komunikaci vyžaduje síť vyšší úroveň ochrany, proti nepovolenému vniknutí a zajištění EMC [20].



Obr. 3 Autobus Volvo 7900 v Göteborgu při nabíjení střešním sběračem [39]

2.3.1.2 Dynamické nabíjení sběračem

Základní myšlenkou dynamického nabíjení je dodávání elektrické energie do elektrických vozidel pomocí trolejového vedení a sběračů vozidla, během pohybu vozidla [22]. Trolejové vedení se skládá ze dvou přírodních vodičů umístěných ve výšce pěti metrů nad vozovkou. Samotná výška vedení určuje, že tato technologie je vhodná pouze pro vyšší

vozidla (nákladní vozidla a autobusy), pro menší vozidla je montáž sběračů nepraktická [55]. Využití dynamického nabíjení tímto vedením umožňuje zmenšit cenu a velikost potřebných baterií [22], které vozidlo flexibilně používá během odklonu z trasy trolejového vedení. Tato technologie se také testovala na dálnici nedaleko švédského Sanvikenu, kde se na dvoukilometrovém úseku dálnice vybuďovalo vedení, napájející napětím 650 –750V (DC) plug-in hybridní nákladní vozidla, vybavená sběrači, pro jejich plně elektrický pohon, viz obrázek 4, tahač Scania R450. V budoucnu se totiž předpokládá, že by tento typ nabíjení by mohl být nasazen na dálnicích a silnicích propojující městské a průmyslové oblasti ve Švédsku a Dánsku [55]. Výhodou oproti ostatním technologiím je nezasahování do samotné konstrukce vozovky [22], již vybudovaná infrastruktura a vyspělost technologie používané v sektoru městské hromadné dopravy (tramvaje a trolejbusy).



Obr. 4 Tahač Scania R450 na dálnici nedaleko švédského města Sanvikenu [40]

2.3.2 Nabíjení z boční strany

Dodávání energie ze strany vozidla je primárně určeno k napájení vlaků nebo metra [22], ale japonská společnost Honda originálně navrhla a umístila nabíjecí systém na silniční vozidla, viz obrázek 5, testovací vozidlo Honda. Silové vodiče vedení jsou zabudovány do bočních svodidel komunikace, to umožňuje využití stávající infrastruktury beze změny povrchu vozovky [55]. Vlastní přenos energie do vozidla je realizován pomocí ramenního sběrače na boku vozidla, který omezuje vzdálenost vozidla na nejbližší jízdní pruh od vedení. Systém byl navržen a testován společností Honda pro výkon 180 kW při 156 km/h [22] a technologicky není omezen velikostí vozidla, jako nabíjení sběračem, proto lze použít jak

pro osobní, tak pro větší vozidla [55]. Technologie nabíjení z boku má v současnosti řadu nevyřešených problémů, jako bezpečnost v prostoru mezi vozidlem a vedením [22] a v budoucnosti bude nutné provést otestování v běžném provozu veřejných komunikací [55].



Obr. 5 Testovací vozidlo Honda nabíjené z boku [56]

2.3.3 Vodivé nabíjení z povrchu vozovky

Všechny předešlé systémy nabíjení (2.3.1 Nabíjení sběračem) a (2.3.2 Nabíjení z boční strany) uskutečňují nabíjení pomocí infrastruktury při zachování povrchu vozovky beze změn [22]. Většina ostatních vývojových metod ERS se ale zaměřuje na zásobování energií z povrchu vozovky určené pro všechny typy vozidel, stejně jako vodivé nabíjení z povrchu vozovky technologie APS (Alimentation Par le Sol). APS technologie se již dříve prokázala jako efektivní u bez trolejového pohonu tramvají [57]. Tento systém se vyznačuje umístěním výkonových vodičů v těsné blízkosti povrchu vozovky, kdy elektrické spojení mezi ERS a vozidlem je zajištěno pomocí sběrače umístěného pod vozidlem, který je v kontaktu se silovými vodiči. Konkrétní konstrukční provedení jak výkonových vodičů na vozovce, tak sběrače vozidla, je do značné míry závislé na technickém provedení vázaném na silnici. V některých provedeních se nalézají výkonové vodiče uvnitř drážek vytvořených na povrchu silnice, ve kterých je zasunut sběrač, v jiném možném provedení to jsou dva ploché vodiče, které se nalézají uprostřed jízdního pruhu rovnoběžně se silnicí [55], viz obrázek 6, testovací okruhu společnosti Volvo Group. Celé elektrické vedení se skládá ze segmentů o délce 11 m, které jsou navzájem odděleny izolačními úseky 40 cm. Vozidlo je vždy nabíjeno pouze segmentem, nad kterým se v danou dobu pohybuje, ostatní segmenty nejsou napájeny, to zabraňuje úrazu elektrickým proudem. Postupné napájení segmentů zajišťují elektrické skříňky umístěné každých 22m podél vedení. Za účelem postupného přepínání segmentů

vedení, vysílá jedoucí vozidlo kódovaný rádiový signál ovládající elektrické skříňky. Na vedení se za sebou střídají segmenty s napětím 0V a 750V (DC), dodávají výkon až 120kW [57]. Systém APS má velký potenciál stát se důležitým při budoucí elektrifikaci hlavních dopravních uzlů, nicméně jeho velkým nedostatkem je vystavení životním vlivům (voda, sníh), mechanické opotřebení a omezení pohybu vozidla po vozovce.

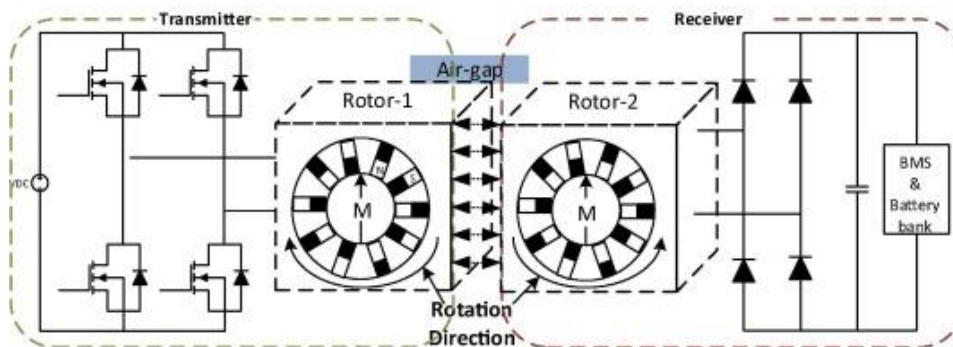


Obr. 6 Tahač Volvo FH12 na testovacím okruhu společnosti Volvo Group nedaleko města Göteborg ve švédsku [41]

2.3.4 Bezkontaktní nabíjecí systémy

Termín bezkontaktní nabíjecí systémy neboli WCS (Wireless Charging Systems) [25] je souhrnné označení všech nabíjecích technologií, které fungují na principu přenosu energie pomocí elektromagnetického pole, oproti kontaktnímu přenosu všech předešlých systémů. Za systémy bezkontaktního nabíjení WCS jsou považovány čtyři metody: Induktivní nabíjení (IPT), Kapacitní nabíjení (CWPT), Rezonančně induktivní nabíjení (RIPT) a Magnetický převod (MGWPT). Tato práce se bude věnovat podrobnějšímu popisu pouze prvních tří technologií (induktivní, kapacitní a rezonančně induktivní), které se prakticky využívají k nabíjení EV. Poslední metoda magnetického převodu (MGWPT) je zkoumána pouze laboratorně, pro řadu jejích problémů spojených se zahrnutím technologie do statických a dynamických aplikací. Zjednodušeně metoda využívá vzájemné interakce točivého magnetického pole primárního motoru (ve stanici) s magnetickým polem sekundárního motoru (ve vozidle), kdy sekundární motor přeměňuje točivý mechanický

moment na elektrickou energii pro nabití baterie, viz obrázek 7, princip magnetického přenosu.



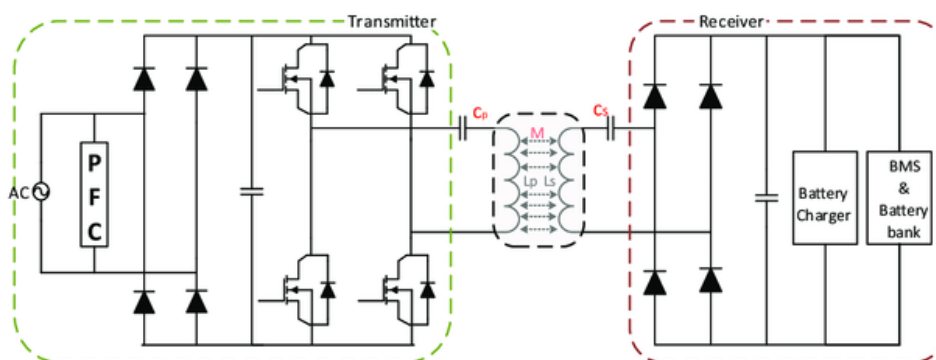
Obr. 7 Princip bezkontaktního nabíjení magnetického převodu (MGWPT) [25]

V případě vzájemného srovnání bezkontaktních systémů s kontaktními, tak vyplívá, že WCS přináší více výhod z pohledu jednoduchosti připojení, spolehlivosti a uživatelské přívětivosti [25], viz kapitola (2.1 Manuální nabíjení). Způsob nabíjení WCS je omezen v tom, že ho lze optimálně využít pouze v případě stacionárního režimu zaparkovaného vozidla na parkovištích a v garážích. Nedostatky stacionárního WCS nicméně spočívají v problémech s elektromagnetickou kompatibilitou (EMC), omezeným přenosem energie, s tím spojeným časem nabíjení a velikostí vzduchové mezery mezi zdrojem stanice a přijímačem v definovaných mezích (150 – 300mm) u malých osobních vozidel [25]. V případě dynamického WCS čelíme dvěma hlavním překážkám, na kterých závisí účinnost nabíjení, velké vzduchové mezeře a vzájemné nesouososti cívek zdroje a přijímače [25]. Optimální vyrovnání polohy cívek vysílače během pohybu vozidla lze snadno provést, postupným přepínáním napájení primárních cívek, zabudovaných ve vozovce, takovým způsobem, aby nabíjení probíhalo pouze z cívky, nad kterou se vozidlo nachází, podobné přepínání segmentů viz (2.3.3 Vodivé nabíjení z povrchu vozovky). Kromě toho je snížení parazitních ztrát a zvýšení účinnosti zajištěno sériovými a paralelními kompenzačními metodami, jak na straně primární (vysílače), tak na straně sekundární (přijímače).

2.3.4.1 Induktivní a rezonančně induktivní nabíjení

Induktivní nabíjení (IPT) bylo vyvinuto a testováno Nikola Teslou roku 1914, pro bezkontaktní přenos energie mezi vysílačem a přijímačem, v rozsahu od miliwatt po kilowatty [25]. Princip nabíjení je založen na převodu střídavého napětí sítě na vysokofrekvenční napětí dodávaného do vysílače neboli primární cívky o frekvenci desítek kHz. Přijímač neboli sekundární cívka nacházející se ve vozidle, přijímá energii prostřednictvím induktivní vazby v čase se měnících magnetických polí. Dodaný výkon do přijímače je následně převeden na stejnosměrný proud nabíjející baterii EV s využitím výkonové elektroniky a filtračních obvodů [25]. Integrovaný řídicí a komunikační systém zajišťující optimální průběh nabíjení, je proveden pomocí bezdrátové sítě podrobněji zmíněné v kapitole (5.4 Bezdrátová komunikace). Roku 1996 byla vyvinuta, společností General Motors, induktivní nabíječka schopná dodávat výkon 6,6kW v režimu 2 a 50kW v režimu 3, frekvencí 77kHz [25].

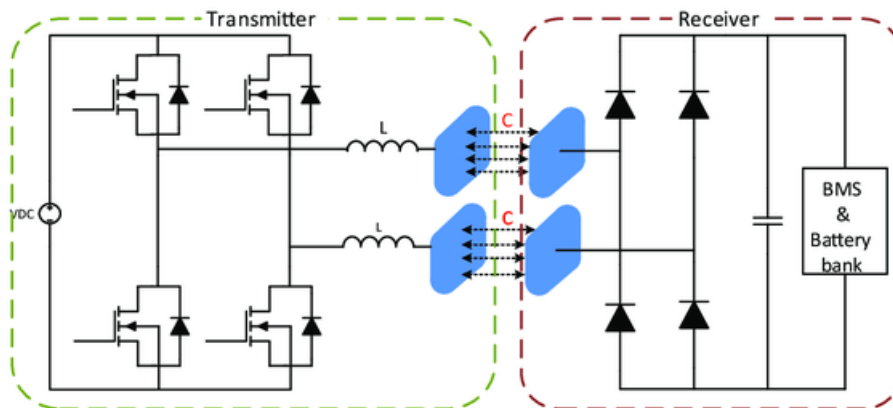
Zdokonalenou metodou induktivního nabíjení je rezonančně induktivní nabíjení (RIPT), které je zároveň nejvyužívanějším bezkontaktním nabíjením. Rezanančně induktivní nabíjení se liší od induktivního tím, že jak na straně primární cívky, tak na straně sekundární, jsou zařazeny kompenzační obvody, jako na obrázku 8, za účelem snížení ztrát a dosažení rezonančních frekvencí. V případě vzájemného sladění rezonančních frekvencí primární a sekundární cívky, je dosaženo účinnějšího přenosu energie ($\eta = 96\%$) [25].



Obr. 8 Princip rezonančně induktivního nabíjení (RIPT) [25]

2.3.4.2 Kapacitní nabíjení

Poslední zmíněnou metodou, vyvíjenou pro nabíjení EV je kapacitní metoda (CWPT) [22], velmi účinná v aplikacích pracujících s nízkými výkony, jako jsou přenosná elektronická zařízení [25]. Funkce CWPT závisí na vzniku kapacitní vazby mezi silniční deskou a deskou ve vozidle. Kapacitní vazba vzniká přivedením vysokofrekvenčního napětí na H můstek vysílače, po přivedení napětí, začne prostředím kondenzátoru procházet vysokofrekvenční proud na stranu přijímače [25]. Přenos výkonu tímto způsobem je možný na vzdálenost stovek mm, při frekvenci řádově jednotky až desítky MHz. Na obrázku 9, Princip kapacitního zapojení, přenáší zobrazené zapojení výkon 8,84kW na vzdálenost 12cm, při frekvenci 13,56MHz s účinností 91,3% [22]. Velikost nabíjecího výkonu zcela závisí na velikosti desek kondenzátoru a jejich vzájemné vzdálenosti. Při srovnání s indukční technologií má kapacitní technologie horší parametry z hlediska hustoty přenášeného výkonu 2 kW/m^2 , oproti 40 kW/m^2 indukčního, účinnosti ($\eta = 96\%$ indukční) a emisím pole, zvyšujícím se s frekvencí a velikostí napětí [25].



Obr. 9 Princip kapacitního nabíjení (CWPT) [25]

3 Nabíjecí konektory

Pro kontaktní nabíjení EV existuje řada různých konektorů a nabíjecích standardů, které se liší výrobci elektromobilů a nabíjecích stanic. Tyto standardy jsou různého vývojového typu, využívají nabíjení DC nebo AC proudem a byly vyvinuty různými společnostmi, pro použití v různých regionech. Mezi pět světově nejpoužívanějších nabíjecích standardů patří SAE J1772, CHAdeMO, Typ 2 „Mennekes“, Tesla Supercharger a GB/T. Pět těchto vyjmenovaných standardů je využíváno na třech největších světových trzích s EV (Asie, USA a EU) [2].

Mezi prvními byly vyvinuty standardy vývojové úrovně, označované jako typ 1 (např. SAE J1772), které využívají střídavého 1f a 3f nabíjení (5 - 6h) nízkým proudem (15A) a napětím (240V), uvedené hodnoty jsou pouze orientační. Celkový čas nabíjení jednotlivých typů je ovlivňován mnoha faktory (typ konektoru, výkon stanice, příkon vozidla, teplota baterie, atd.) a nemusí proto přesně odpovídat zde orientačně uvedeným časům. Dlouhá doba nabíjení se ukázala, jako jedna z hlavních slabín EV. Z těchto důvodů byly později vyvinuty standardy typu 2 (např. Typ 2 „Mennekes“, dále už jen Mennekes a GB/T), které za pomoci nabíjení při střídavém 3f proudu a napětí, zkracují dobu nabíjení na 1 - 2h. Nejrychlejšími nabíjecími standardy jsou v dnešní době standardy typu 3 (např. Tesla Supercharger a CHAdeMO), schopné nabít vozidlo DC proudem za dobu 15 - 30 minut (minimálně na 80% kapacity baterie), nabíjení vozu značky Tesla, konektorem Tesla Supercharger je přitom považováno za nejrychlejší komerční nabíjení EV ze všech. Krátký čas nabíjení standardem typu 3 je rizikový pro přenosovou síť. Důvodem je nutnost nabíjení při vysokém příkonu, způsobující negativní přenos zatížení na síť [2]. Dalšími nabíjecími konektory, které jsou v současnosti ve velké míře vyvíjeny, jsou standardy CCS Combo 1 (USA) a CCS Combo 2 (EU), doplňující standardy J1772 a Mennekes o dva spodní kolíky pro DC nabíjení.

Na evropském trhu byl mezi roky 2013 – 2015 jedním z nejvíce používaných nabíjecích standardů standard Mennekes (52,8%). Standard Mennekes byl také v roce 2013 vybrán evropskou komisí, jako evropská norma pro nabíjení EV. Dalším dnes rozšířeným konektorem v Evropě je konektor CCS Combo 2, společně s CCS 1 se ve vozidlech začal používat až po roce 2015 a CHAdeMO (33%). V menší míře je užíván konektor Tesla Supercharger (8,6%) a ve Francii a Itálii konektor Scame (5,6% - zahrnuje i J1772 a další).

Na americkém trhu, konkrétně v USA, mezi roky 2013 – 2015, převládal konektor J1772 (49%), který je dosud pro svou zastaralost vytlačován standardem CCS Combo 1, přesto řada výrobců EV a nabíjecích stanic tento standart stále hojně užívá. Druhým nejčastěji využívaným standardem v USA byl standart CHAdeMO (21,8%), následovaný standardem Tesla Supercharger (18,6%) [2]. Standard Tesla Supercharger za poslední několik let až do současnosti, zvýšil své procentuální zastoupení, jak na americkém trhu, tak na ostatních dvou zmíněných trzích.

Třetí trh, asijský, je specifický tím, že nejpoužívanějším konektorem zde je standart GB/T (46,1%), který je používán pouze v Číně a v jiných zemích se téměř nevyskytuje. Od roku 2015, kdy produkce EV v Číně předstihla produkci v EU, se prudce zvedlo využívání tohoto standardu a v budoucnu má tento standart potenciál, stát se nejvíce využívaným konektorem na světě. Druhým nejpoužívanějším konektorem v této části světa je japonský standart CHAdeMO (40,2%) [2], tento konektor je oproti GB/ T využíván často i výrobci EV a nabíjecích stanic na trzích v USA a EU. Zbylou část trhu zabírají konektory standardu Tesla Supercharger, Mennekes a J1772.

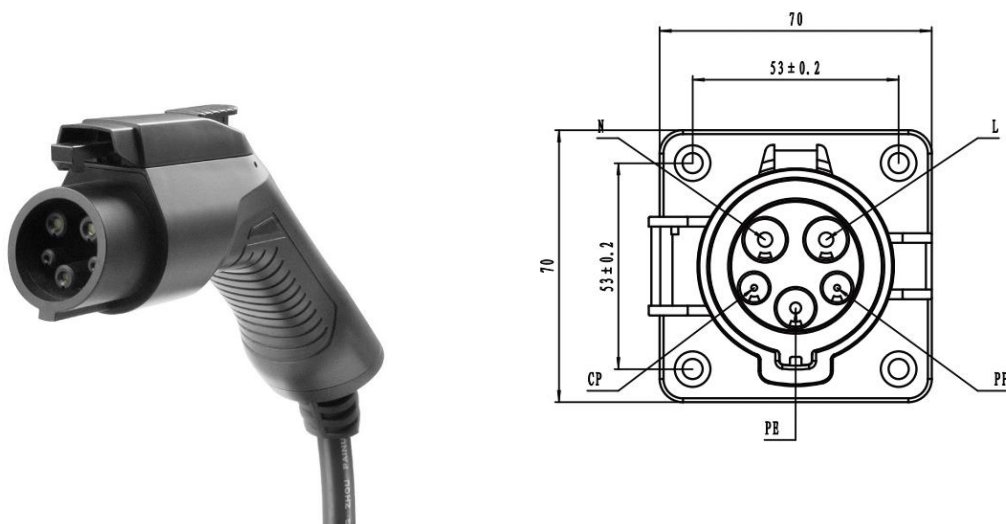
3.1 Popis konektorů

3.1.1 SAE J1772

Rozhraní bylo vyvinuto v Kalifornii v roce 2001, na podnět společnosti California Air Resources Board (CARB) a vyvinula ho společnost Avcon. Standart J1772 měl nahradit do té doby používané bezkontaktní nabíjení EV, ve prospěch kontaktního. Vyvinutý jednofázový AC standart obdélníkového tvaru [3], na napětí 120V až 240V, využíval proud do 15A a mohl dodávat výkon až 3,3kW [4]. Jméno konektoru bylo odvozeno od normy SAE J1772-2001 společnosti SAE Internation.

Roku 2006 byl vyvinut jednofázový AC standart kruhové konstrukce, zobrazen na obrázku 10, který využíval vyšších proudů až do 60A, pro zkrácení doby nabíjení, napětí 208 nebo 240V a maximální dodávaný výkon mohl dosáhnout hodnoty až 14,4kW [4]. Konektor je typu 1 a lze ho použít, jak pro nabíjení z běžné domácí zásuvky (3.3.2 Režim 2), nabíjecí kabel vybaven redukcí a nadproudovou ochranou, tak stojanových stanic (3.3.3 Režim 3) [5].

Konektor SAE J1772 stále využívá řada výrobců EV, jak v USA, tak ve světě, ke kterým patří např. Chevrolet, Fisker, Ford, Honda, Toyota, Hyundai. V dnešní době je však tento standard zastaralý a ve velké míře je nahrazován standardem CCS Combo 1 (CCS1) nebo jinými standardy. Komunikace je provedena pomocí PLC (Power-line communication) technologie [2].



Obr. 10 Konektor a zásuvka SAE J1772 [27] [28]

Tab. 2 Popis pinů konektoru SAE J1772

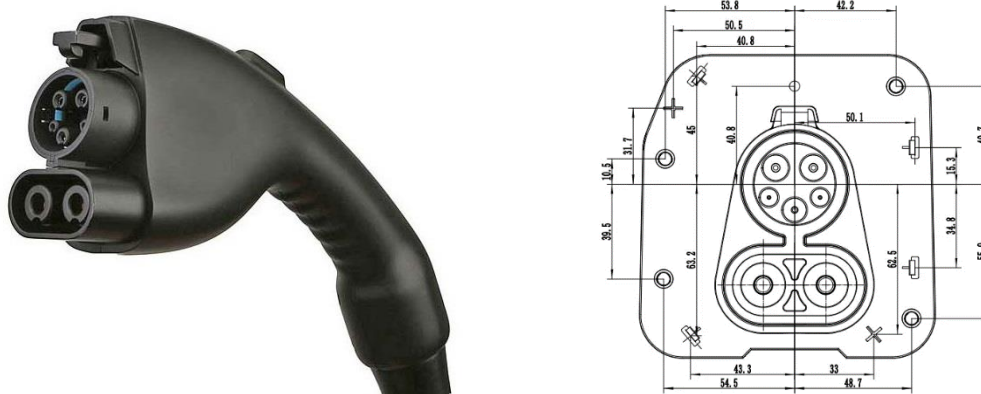
	Pin	Funkce
PP	Detekce připojení	Komunikace a kontrola nabíjení
CP	Komunikace	
PE	Ochranný	Ochrana zařízení a uživatele
N	Nulový	AC fáze
L1	Fáze	

3.1.2 Combo 1 (CCS1)

Nabíjecí konektor Combo nebo zkráceně CCS (Combined charging system) je určen pro nabíjení stejnosměrným proudem, byl společně vyvinut americkými a evropskými společnostmi (Ford, Daimler, BMW, Audi, Porsche a Volkswagen). Hlavním cílem bylo vytvořit celosvětový nabíjecí systém, který bude kombinovat, jak pomalé nabíjení střídavým

proudem, tak rychlé nabíjení stejnosměrným proudem, a to pouze na jednom vstupu [7]. Vzhledem se tento konektor liší od standardu SAE J1772 pouze tím, že je ve spodní části doplněn o další dva kolíky (DC +, DC -) pro stejnosměrné nabíjení, viz obrázek 11 [7].

Nabíječky CCS1 rozdělujeme na dva podtypy 1 a 2. Nabíječky podtypu 1 využívají nabíjení stejnosměrným proudem pomocí standardu SAE J1772, bez kolíků pro stejnosměrné nabíjení, který umožňuje dodání maximálního výkonu 40kW o napětí 200V až 450V a proudu 80A. Tento podtyp doposud nebyl využit žádným výrobcem EV, z důvodů nižšího výkonu nabíjení, ve srovnání s podtypem 2 a nutností doplnit vozidlo o další vnitřní kontrolní obvody. Stejnosměrná nabíječka podtypu 2 je, jak už bylo zmíněno, dovybavena dvěma spodními kolíky [5]. U CCS1 standardu a obecně u stejnosměrných standardů je velmi důležitá komunikace mezi nabíjecí stanicí a EV, z důvodu přímého nabíjení baterie vozidla, kdy si EV musí samo nastavit hodnotu nabíjecího výkonu baterie. Komunikace je u CCS1 zajištěna technologií PLC [3]. Velikost nabíjecího výkonu se pohybuje v řádu stovek kW, u podtypu 2 standardu CCS1 je maximální výkon 100kW o napětí 200V až 450V a proudu 200A [5].

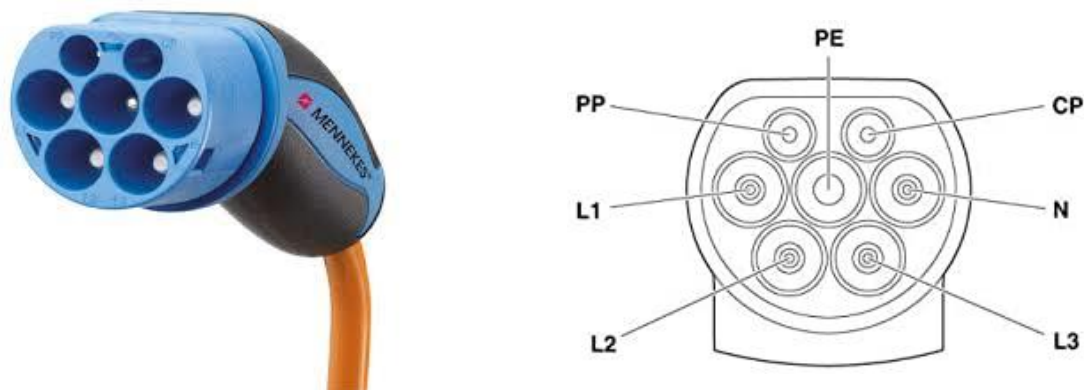


Obr. 11 Konektor a zásuvka CCS 1 [26] [29]

3.1.3 Typ 2 „Mennekes“

Konektor Typ 2 „Mennekes“ nebo IEC 62196-1, dále jen Mennekes, je evropský standard pro nabíjení střídavým proudem, který byl vyvinut německou společností Mennekes v roce 2009, viz obrázek 12, od roku 2013 je považován za evropský standard pro nabíjení EV [6]. Dalším faktorem ovlivňující vysokou míru užití, je skutečnost, že standard využívá řada předních evropských výrobců EV jako např. BMW, Porsche, Mercedes Benz, Audi, Volvo, Volkswagen, Tesla (v EU) a další velké organizace, které budují nabíjecí

infrastruktury [2]. IEC 62196-1 Mennekes je jednofázový nebo třífázový AC konektor, s napětím (1f) 230V nebo (3f) 400V, využívající proud 16 – 63A, s nabíjecím výkonem 11 – 44kW[7] [8].



Obr. 12 Konektor a zásuvka Typ 2 „Mennekes“ [30] [31]

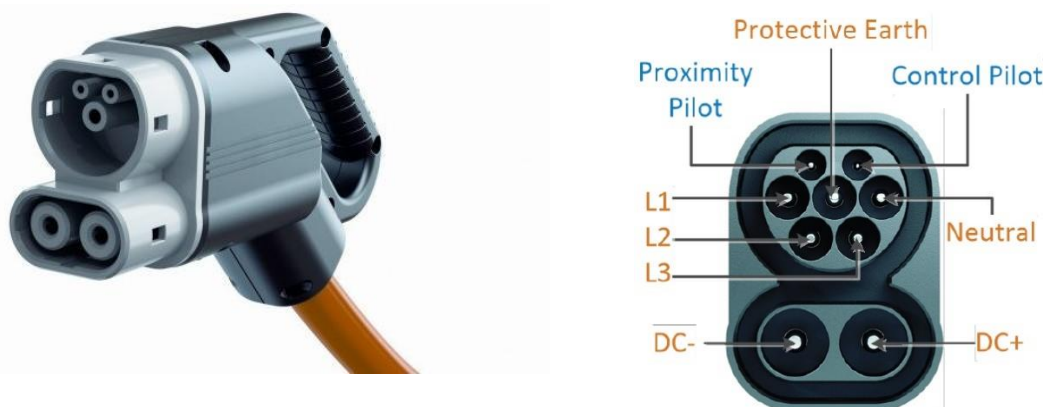
Tab. 3 Popis pinů konektoru Typ 2

	Pin	Funkce
PP (proximity pilote)	Detekce připojení	Komunikace a kontrola nabíjení
CP (control pilot)	Komunikace- PLC	
PE (protective earth)	Ochranný	Ochrana zařízení a uživatele
N (neutral)	Nulový	AC 3f nabíjení
L1	1. Fáze	
L2	2. Fáze	
L3	3. Fáze	

3.1.4 Combo 2 (CCS2)

Konektor Combo 2 zkráceně CCS2 (Combined charging system) je standard nabíjecí stejnosměrným proudem, vyvinutý zdokonalením technologie standardu Mennekes, která je doplněna o dva spodní kolíky (DC+, DC-) pro možnost stejnosměrného nabíjení. Zdokonalení umožňuje nabíjet jak v režimu 3, tak v režimu 4, viz kapitola (2.2 Režimy manuálního nabíjení), pouze pomocí jediného standardu. Pro oba dva zmíněné režimy je velmi důležitá komunikace vozidlo – stanice, důvodem je optimalizace nabití baterie EV a

zajištění bezpečnosti uživatele a stanice. Přenos dat umožňuje komunikační protokol Home Plug po síťové technologii PLC, stejný komunikační protokol využívají standardy Mennekes, CCS1 a SAE J1772. Kombinovaný nabíjecí systém CCS2 je zatížen výkonem do 170kW, při napětí 850V a proudu 500A. Tento typ konektoru je v Evropě používán v podobné míře jako konektor Mennekes a v blízké budoucnosti má na evropském trhu nahradit konektor CHAdeMO [6] [9].

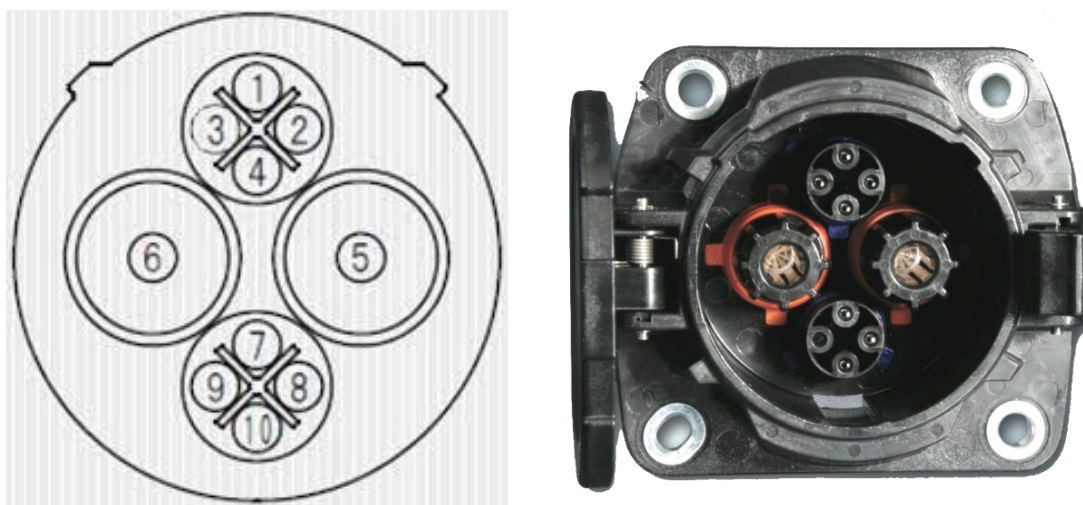


Obr. 13 Konektor a zásuvka CCS 2 [33] [32]

3.1.5 CHAdeMO

Standard CHAdeMO (Charging de move) byl jeden z prvních DC rychle nabíjecích standardů na světě. CHAdeMO standard byl vyvinut v roce 2010 v Japonsku, elektronickými společnostmi Tokyo Electric Power Company (TEPCO) a Fuji Heavy, k těmto společnostem se později přidaly další tři, jako Nissan, Mitsubishi a Toyota [7], byl také zahrnut do normy IEC61851. CHAdeMO rozdělujeme na tři podtypy, CHAdeMO 1.0, který využívají napětí 500V, proud 125A a výkon konektoru může dosáhnout maximální hodnoty 62,5kW. Dalším podtypem CHAdeMO standardu je podtyp CHAdeMO 2.0 jenž využívá napětí 500V, proud 400A a výkon do 400kW. Nejnovějším typem, který není ještě používán, je CHAdeMO 3.0, který byl vyvinut ve spolupráci s čínskou společností Rada Číny pro elektřinu (CEC), s maximálním dosažitelným výkonem až 900 kW, proudem 350 – 400A a napětím 1kV [90]. Všechny více uvedené typy CHAdeMO využívají pro zajištění komunikace mezi EV a nabíjecí stanicí, sériovou sběrnici CAN BUS [10]. O standardu CHAdeMO lze říci, že z globálního hlediska je nejvíce využívaným standardem, s ohledem na počet nabíjecích poplatkových míst po celém světě [7], k datu 13.3. 2020 dosáhl jejich celkový počet čísla 27 800. Nejvíce nabíjecích míst bylo v Evropě (cca 10 900) a v Japonsku (cca 7 600) dále v Asii (cca 5 000) a USA (cca 3 900) a zbylých 400 bylo vybudováno

v jiných částech světa [11]. Tento nabíjecí standard využívá řada výrobců vozidel jako je například Nissan, Mitsubishi, Peugeot a Citroen, také řada společností budující nabíjecí stanice, v České republice např. Skupina ČEZ, Innogy a další.



Obr. 14 Konektor a zásuvka CHAdeMO [34] [35]

Tab. 4 Popis pinů konektoru CHAdeMO

		Pin			Pin
1	FE	Ochranný	6	DC (+)	DC nabíjení
2	DCS1	Start/ stop nabíjení	7	DCC	Kontrola připojení konektoru
3	-	-	8	CANH	CAN-H komunikace
4	DCP	Povolení/ zákaz nabíjení	9	CANL	CAN-L komunikace
5	DC (-)	DC nabíjení	10	DCS2	Start/ stop nabíjení

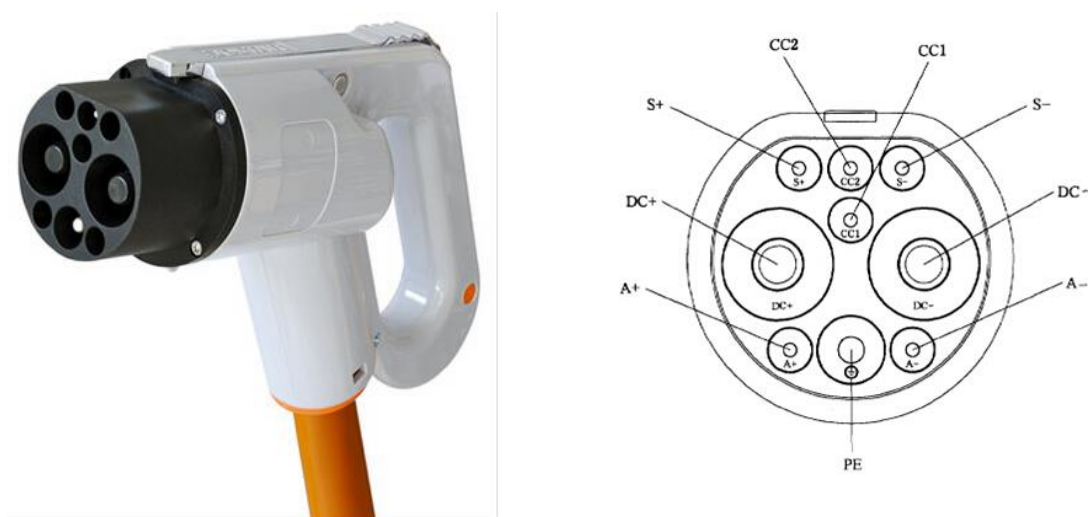
3.1.6 GB/T 20234.2-2011

Konektor GB/T 20234.2-2011 je konektor pro střídavé nabíjení proudem a národní standard Čínské lidové republiky, který byl vyvinut v roce 2011 čínskými státními společnostmi Čínská státní energetická společnost (SGCC) a Čínský národní institut pro výzkum elektrických přístrojů a Čínské centrum automobilového průmyslu a výzkumu [12]. GB/T 20234.2-2011 je používán pouze na Čínském trhu a je nejpoužívanějším standardem na světě. Vnější vzhledem je podobný konektoru Mennekes, uspořádáním a použitými

technologemi se však od tohoto typu konektoru liší [2]. Jedním z velkých rozdílů je komunikace, která na rozdíl od protokolu Home Plug síťové technologii PLC, realizována pomocí CAN BUS sběrnice. Mezi další technické parametry patří schopnost využívat jak 1f, tak 3f napětí. Nabíjení probíhá při (1f) napětí 250V a proud 16A, v případě (3f) nabíjení je napětí 400V, proud 32A a výkon 120kW [13] [14]. Nevýhodou tohoto typu je konektoru je dnes pomalé nabíjení a skutečnost, že mimo Čínu není využíván.

3.1.7 GB/T 20234.3-2011

Jako standard GB/T 20234.2-2011, tak i standard GB/T 20234.3-2011 je národní standard Čínské lidové republiky, který vytvořili stejné státní společnosti. GB/T 20234.3-2011 je stejnosměrný rychle nabíjecí konektor, typu 3, který je na asijském trhu konkurencí rychle dobíjecímu konektoru CHAdeMO. Komunikace je zajištěna stejně jako u GB/T 20234.2-2011 pomocí sériové sběrnice CAN BUS. Standard GB/T 20234.3-2011 se vyznačuje běžným výkonem pro rychlé nabíječky, až 200kW, napětím (750 - 1000V) a proudem 250A [32] [14].



Obr. 15 Konektor a zásuvka GB/T 20234.3-2011 [36] [37]

Tab. 5 Popis pinů konektoru GB/T 20234.3-2011

	Pin		Pin
CCS1	Detekce připojení 1	A (-)	Pomocný výkon
CCS2	Detekce připojení 2	PE	Ochranný
S (+)	CAN-H komunikace	DC (+)	DC nabíjení
S (-)	CAN-L komunikace	DC (-)	DC nabíjení
A (+)	Pomocný výkon	-	-

3.1.8 Tesla Supercharger

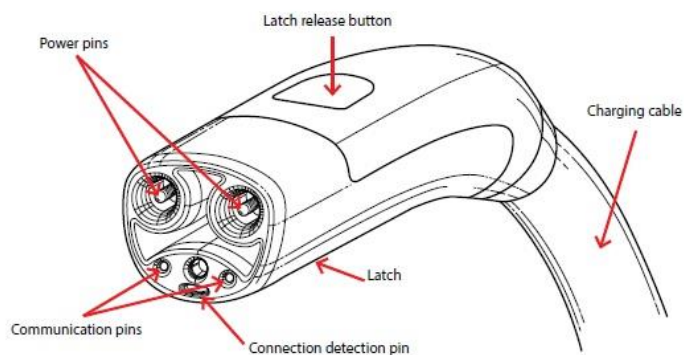
Jak už název napovídá, tento typ konektoru byl vyvinut společností Tesla Inc. a to v roce 2012. Společnost Tesla Inc., dále jen Tesla, se zabývá výrobou EV a výstavbou celosvětové sítě nabíjecích stanic [16], kdy ke dni 14.3.2020 se tato síť skládala z 1 870 nabíjecích stanic po celém světě s 16 585 nabíjecími stojany pro vozidla využívající standard Supercharger [15].

Tesla Supercharger byl vyvinut společností Tesla, z důvodu nutnosti rychlého dobíjení EV vlastní výroby ve své síti dobíjecích stanic, kdy za nejlepší způsob dobíjení bylo zvoleno rychlé kontaktní stejnosměrné nabíjení. Prvním modelem tohoto konektoru byl konektor Tesla Supercharger V2 o výkonu 120kW, určený pro vozidlo Model S [19]. Následujícím modelem byl model Tesla Supercharger V2 s výkon až 150kW, reálně ale nabíjející při výkonu 145kW. Posledním ze série modelů Tesla Supercharger je model V3, představený v roce 2019, který je schopný nabíjet při výkonu až 250kW. Všechny uvedené standardy komunikují po síti PLC. V budoucnu je plánováno vyvinutí modelu V4 schopného dodávat výkon až 350kW [18], další parametry jednotlivých modelů jsou uvedeny níže v tabulce 6 [17].

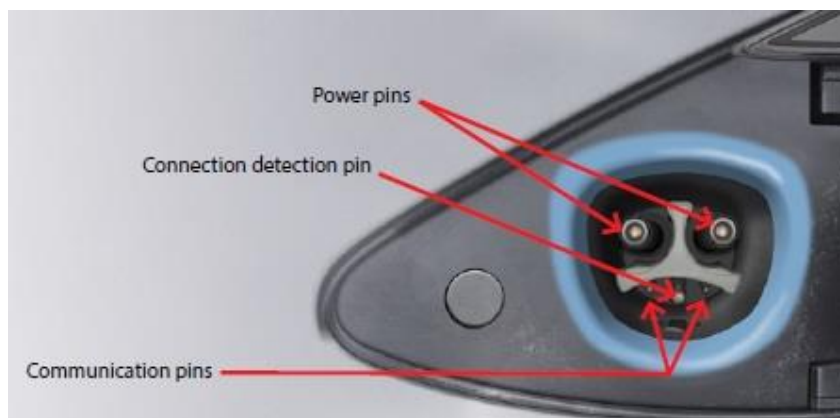
Standard Tesla Supercharger je v dnešní době jedním z nejvýkonnějších nabíjecích standardů, které lze použít. Nevýhodou tohoto standardu je skutečnost, že lze použít výhradně v síti nabíjecích stanic Tesla. Z toho důvodu byly v roce 2018 doplněny evropské nabíjecí stanice společnosti Tesla o standard CCS2 a s nimi i vozidla Model 3, prodávaná na evropském trhu.

Tab. 6 Přehled parametrů modelů konektoru Supercharger

	V2	V2	V3
U [V]	400	480	500
I [A]	300	350	800
P [kW]	120	145	250
t [min]²	40	30	15



Obr. 16 Konektor standardu Tesla Supercharger [5]



Obr. 17 Zásuvka standardu Tesla Supercharger [5]

² Jednotlivé časy nabíjení (10-80%) kapacity baterie, pro jednotlivé modely, se mohou lišit od uvedených časů, z důvodu vlivu teploty baterie a dalších negativních faktorů.

4 Umístění a návrh veřejné nabíjecí stanice

4.1 Analýza využití

Stav poptávky po nabíjení v dané oblasti je zjišťován z počtu licencovaných EV a množství nabíjecích bodů, jak k danému dni v době návrhu stanice, tak predikcí vývoje počtu EV až v horizontu několika let, počet let není pevně stanoven, z důvodu přesnosti nejčastěji dva roky [42]. Příkladem je Peking, v kterém bylo ke dni 2.3. 2019 licencováno 63 269 EV a bylo postaveno 542 veřejných nabíjecích stanic, předpokládá se, že do roku 2020 bude celkový počet EV kolem 600 000, z toho bude 400 000 soukromých a 150 000 veřejných vozidel [42] [43]. V celé této kapitole 4, bude za nabíjecí stanici považováno místo nebo budova s dvěma a více nabíjecími stojany (nabíječkami), výjimkou je pouze podkapitola (4.3.2 Části DC nabíjecího systému). Určování dopravního toku zatěžujícího nabíjecí stanici je řešeno pomocí komplexní analýzy poloměru obslužné oblasti a současnou a budoucí hustotou provozu EV v této oblasti. Obě dvě tyto proměnné jsou dány operačním dosahem EV, neboli výdrží baterií. Maximální výdrž baterií vozidel se v dnešní době pohybuje v rozmezí 150 – 500 km. Reálně je, ale tento poloměr obslužné oblasti kratší, to vzhledem k snižující se životnosti baterie, terénu a teplotě okolního prostředí, lepší dostupnosti pro uživatele a dalším nezbytným důvodům. Poloměr obslužné oblasti je nejčastěji maximálně 40 km pro jednu stanici. Vzorec (4.1), pro výpočet množství EV jedoucích po silnici kolem nabíjecí stanice, je označován jako Průměrný denní provoz za rok AADT (Annual Average Daily Traffic). AADT odhaduje, s co nejmenší možnou tolerancí, průměrný objem provozu za všechny dny v roce pro dané místo podél silnice, oproti Průměrnému dennímu provozu (ADT), který odhaduje průměrný denní provoz za kratší časový úsek, sedm dní nebo méně. Výhodou této metody je, že je jednoduchá a použitelná pro jakékoliv dopravní podmínky na světě, vyžaduje však úplný objem provozu, měřený každý den v roce, což může být provozně náročné. Následující vztah, kde n je počet dní v roce a VOL_k je dopravní provoz v k -tém dni v roce [51].

$$AADT = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n VOL_k \quad (4.1)$$

Pro specifické dopravní podmínky v Pekingu, byl vytvořen konkrétní dopravní vzorec (4.2), pro město s jinými podmínkami by vypadal odlišně, jelikož zahrnuje faktory jako průměrná rychlost vozidel, celková rychlost ranní a večerní špičky a další [42].

$$N = \frac{S_{Mean}}{S_{Distance}} \cdot L \cdot T_{Total} \quad (4.2)$$

Proměnná N reprezentuje množství vozidel, které projede daným úsekem za jeden den, $S_{Distance}$ vzdálenost mezi dvěma vozidly (závislá na změně hustoty dopravy), S_{Mean} ujetá dráha za dobu jedné minuty, L počet jízdnic pruhů komunikace a T_{Total} je provozní doba nabíjecí stanice v minutách [42].

V závislosti na dopravní situaci se pohybuje průměr rychlost vozidel v Pekingu kolem 50 km/h a je $S_{Mean} = 833$ m. Průměrná vzdálenost mezi vozidly během celého dne se pohybuje kolem $S_{Distance} = 50$ m. Nabíjecí stanice se nalézá u čtyřproudové silnice $L = 4$ a celková denní doba provozu nabíjecí stanice je $T_{Total} = 17$ hod = 1020 min. Po přibližném určení všech těchto hodnot bude činit denní zatížení stanice vozidly $N = 67\,972$. Skutečná hodnota N bude přibližně o 80 - 90% nižší, přibližně na hodnotě $N = 7\,200$. Naprostá většina nabíjení EV totiž probíhá doma, z důvodu vysokých sazeb poplatků za nabíjení veřejných nabíjecích stanic a horšího přístupu k těmto stanicím. Dalším faktorem snižující vyřízení stanic je hustota dopravy. Hustota provozu v okruhu 40 km byla rozdělena na jednotlivé oblasti po 5 km², $(40 \text{ km} / 5 \text{ km})^2 = 64$ nabíjecích bloků pro celou oblast. Průměrný počet vozidel na jednu nabíjecí stanici je $7\,200 / 64 = 112$ vozidel [42].

4.2 Umístění

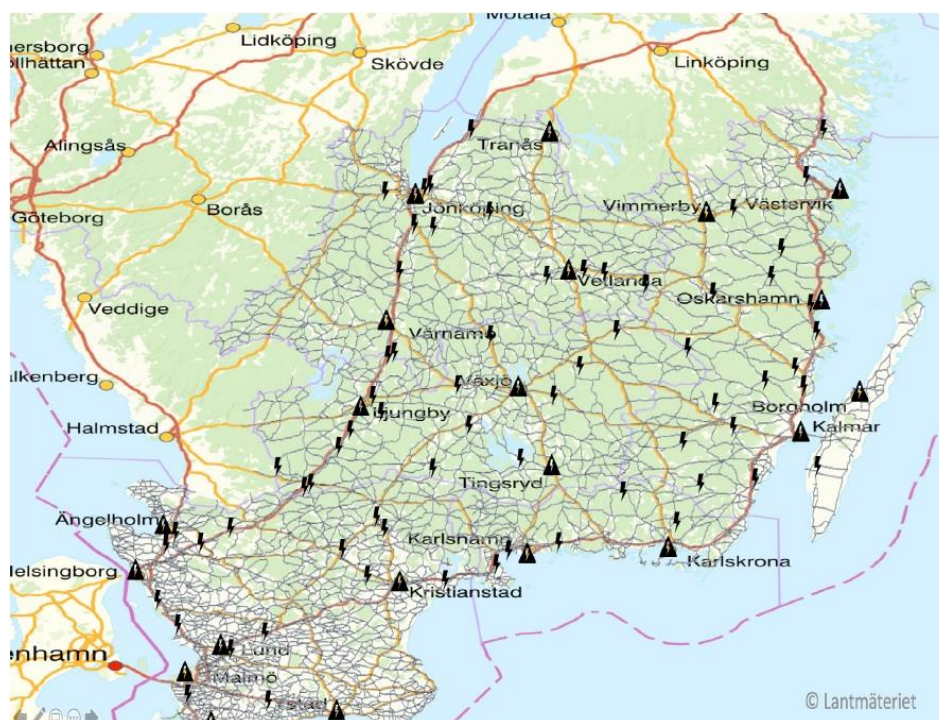
Optimálním přidělením pozic nabíjecím stanicím může minimalizovat počáteční investice do výstavby nové nabíjecí infrastruktury, a také zmenšit zatížení elektrické distribuční sítě. Potřeba efektivního rozmístění nabíjecí infrastruktury je klíčovým faktorem pro budoucí masové přijetí elektro mobility a z toho důvodu se jí zabývá řada odborných studií. Studie zkoumají daný problém a snaží se optimalizovat jeho řešení například pomocí algoritmizace (určení optimálnějšího místa algoritmem nebo matematickým modelem) [45].

Dopravní síť je definována jako sada uzlů M , sada spojení A a sada tras R . Proměnná \mathbf{d} popisuje celkové množství uzlů v síti. Pro každou trasu $j \in R$, necht' $\delta_{ij} = 1$, pokud je na trase \mathbf{j} obsažen uzel $i \in M$, a $\delta_{ij} = 0$ jinak. Matematicky je alokace nabíjecích stanic definována vektorem $\mathbf{x} = (x_i) \in \{0, 1\}^d$, kde $x_i = 1$, je-li nabíjecí stanice přidělena na uzlu $i \in M$ a jinak

$x_i = 0$. Označuje $c(j)$, cestovní náklady každé trasy $j \in R$. Typickými cestovními náklady je celková délka cesty nebo čas na trase j [45]. Jinak řečeno, pokud se v uzlu na trase $j \in R$ nalézá minimálně jedna nabíjecí stanice, je tato trasa pokryta. Matematické vyjádření tohoto problému (P) a jeho optimální hodnota z , označujeme jako Pokrytí trasových uzlů (RNC) a je následující.

$$(P) \cdot z = \min \left\{ \sum_{j \in M} x_j : \sum_{j \in M} \delta_{ij} x_j \geq 1 \forall j \in R, x \in \{0, 1\}^d \right\} \quad (4.3)$$

Samotný problém optimalizace umístění je možné řešit metodami dopravních vzorců nebo softwarovými simulacemi (např. Monte Carlo) založených na matematických technikách a algoritmicizacích. Iterativní aproximační technika využívaná pro tyto účely a řešení takzvaného problému Pokrytí trasových uzlů (RNC). Cílem RNC je najít minimální počet nabíjecích stanic a jejich umístění tak, aby jakýkoli EV v dopravní síti byl schopen dosáhnout nabíjecí stanice před úplným vyčerpáním svého zdroje energie. Problém je v této aproximační technice vyřešen využitím pravděpodobnostních náhodných tras, s cílem co nejpřesněji určit nejvyužívanější trasy, viz obrázek 18, kde je vyznačena optimalizovaná síť nabíjecích stanic v jižním Švédsku. Generování nejvhodnějších tras probíhá iterativně a trasy jsou přidělovány k celočíselnému problému [45]. Nejpoužívanějšími metodami jsou ale metody založené na algoritmicizaci. Genetický algoritmus je jedním z těchto algoritmů a je založen na stochastické metodě, která je inspirována evolučními principy, jako je přirozený výběr, křížení a mutace [44] [47]. Využívají se pro složité úlohy optimalizace, kdy máme jen velmi malé informace o funkci na určité množině možných řešení [46]. Množina genetického algoritmu je zde kombinací hodnot uzlů sítě (stavu 0 a 1), stavy ukazují, které uzly budou vybrány pro umístění nabíjecí stanice [44].



Obr. 18 Optimalizovaná síť nabíjecích stanic v jižním Švédsku. Blesky znamenají nabíjecí stanice a trojúhelníky městskou oblast s již vybudovanou infrastrukturou [45]

4.3 Schéma nabíjecího vícepodlažního stanoviště

4.3.1 Obecné provedení

Nabíjecí stanice je navržena tak, aby její kapacita dostačovala poptávce po dobíjení v obslužné oblasti. Velikost obslužné oblasti stanice, která je uvedena na obrázku 19 a 20, je 3 200 m², stanice je rozdělena na nadzemní a podzemní část a vychází z návrhu budovy nabíjecí stanice a jejího plného vybavení (nabíjecí stojany, transformátory, atd.) v oblasti Pekingů [42]. Prostory stanice lze rozdělit na oblasti, dobíjecí oblast (charging zone), obslužnou oblast (operation zone), oblast zařízení (equipment zone) a distribuční oblast (distribution zone). Vjezd vozidel (entrance) do nabíjecí stanice je na západní straně přízemního patra přes rampu (ramp). Pěší vstup pro osoby je na jižní straně přízemního patra přes obslužnou oblast, zajišťující k nabíjení služby s přidanou hodnotou a možnost odpočinku. Celkový počet nabíjecích míst v celé stanici je 55, z toho je 45 nabíjecích pozic DC proudu uvnitř stanice. V západní části přízemního patra, mimo samotnou budovu stanice, se nachází odstavňá plocha o přibližné rozloze 60 m², plocha je vybavena zbylými 10 AC integrovanými nabíjecími zařízeními, které jsou zabudovány pod úroveň odstavňé

plochy. Místnosti označené jako oblasti zařízení se nachází v severní části stanice, a to v obou patrech. Distribuční oblast je ve východní části podzemního patra stanice a je vybavena transformátory umožňující připojení stanice k distribuční síti [42].



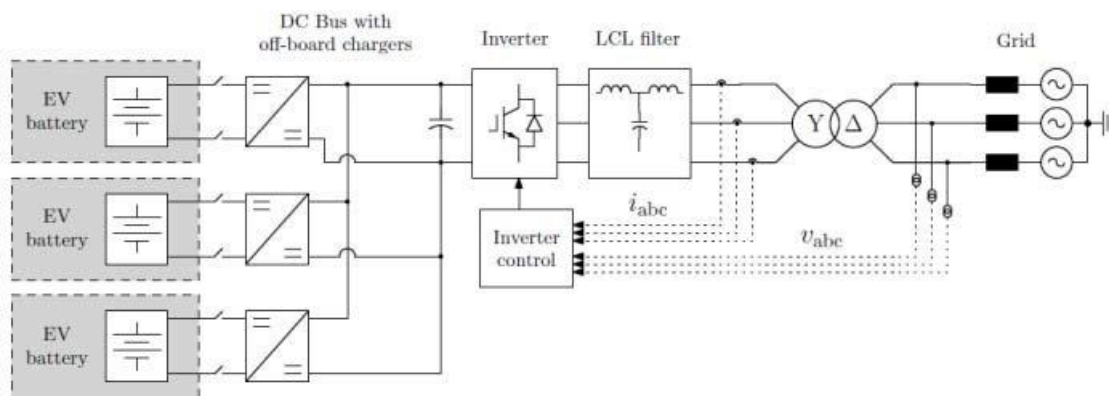
Obr. 19 Půdorys přízemního patra vícepodlažní nabíjecí stanice [42]



Obr. 20 Půdorys podzemního patra vícepodlažní nabíjecí stanice [42]

4.3.2 Části DC nabíjecího systému

System nabíječky stejnosměrného proudu je rozdělen na dvě hlavní části: výkonové převodové elektroniky a integrovaného řídicího systému [42]. Integrovaný řídicí a komunikační systém, který řídí nabíjecí stanici a komunikuje s nabíjeným vozidlem je podrobněji zmíněn v kapitole (5 Komunikační systémy). System pro převod elektrické energie z distribuční sítě se skládá z třífázového napěťového měniče VSC (Voltage source converter), na straně sítě a řady pulzních měničů na straně vozidla, které jsou regulovány pomocí PWM (Pulse Width Modulation). Měnič je připojen k distribuční síti pomocí LCL filtru a transformátoru. EV jsou připojena ke slotům na sběrnici DC. Sestava systému nabíjecí stanice DC proudem je zobrazena na obrázku 21, velikost kondenzátoru DC sběrnice, na obrázku, udává stabilitu a vyhlazení napětí DC sběrnice [48]. Oproti stejnosměrnému má střídavý systém nabíječky střídavého proudu všechny výkonové a řídicí části zajišťující převod AC-DC a úpravu DC proudu integrovány v nabíjeném vozidle.

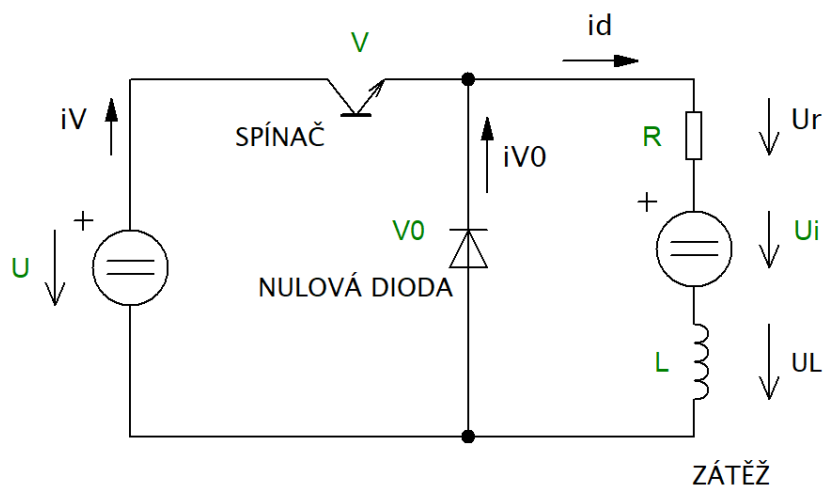


Obr. 21 Blokové schéma nabíjecí stanice EV [48]

LCL filtr slouží k omezení vlivu vyšších harmonických na funkci třífázového napěťové střídače a další citlivé elektroniky. Vyšší harmonické signály jsou způsobeny konvenčními výkonovými zařízeními v distribuční síti, která pracují pod vysokou spínací frekvencí. Z důvodu práce s vysokými frekvencemi nelze použít čistě indukční filtr, protože by se tím velmi zvýšila velikost indukčnosti a hlavně by se zpomalila dynamická odpověď systému na změnu vstupního signálu. Kombinace indukčností a kondenzátoru (LCL) optimalizuje tyto

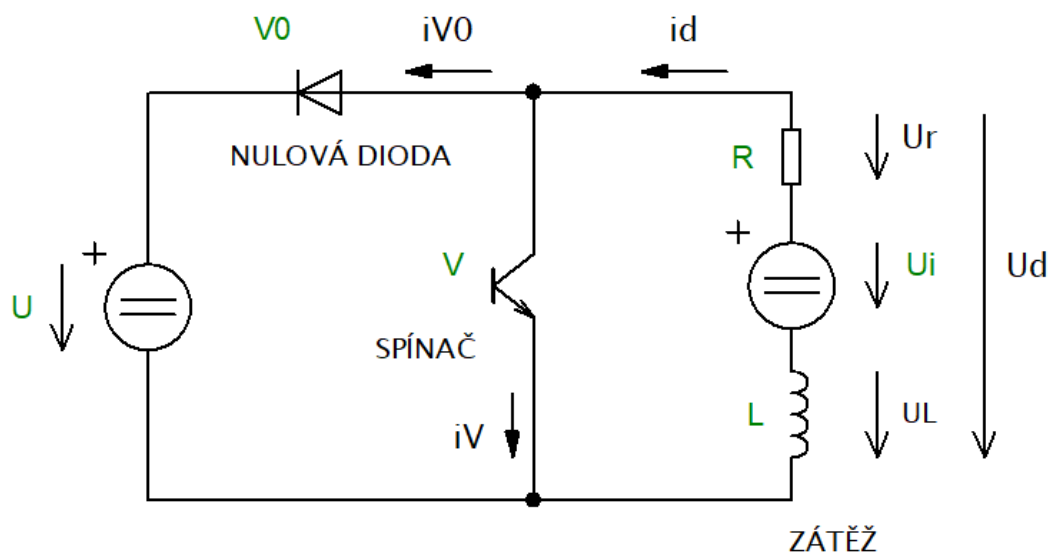
negativní vlastnosti [48]. Za účelem dosažení vysokých výkonů při nabíjení EV jsou používány trojfázové napěťové měniče VSC, řízené signálem PWM. Vzájemná výměna energie mezi sítí AC a DC stranou střídače je řízena měničem a probíhá obousměrně [48]. Pro zajištění různých druhů nabíjecích a vybíjecích funkcí EV se v tomto případě používá pulzní měnič napětí nebo-li DC-DC měnič. Potřeba možného vybíjení vozidla, pro kompenzaci sítě, byla zmíněna v kapitole (1 Obecné seznámení s nabíjecími stanicemi). Pulzní měnič má možnost použití, jak pro zvyšování, tak snižování výstupní úrovně napětí. Modul měniče se skládá ze dvou spínačů IGBT, které provádějí režim Buck a Boost [48].

Měnič v režimu Buck nebo-li pulzní měnič pro snižování napětí převádí vstupní DC úroveň napětí, na nižší výstupní úroveň DC napětí. Zapojení měniče je znázorněno na obrázku 22, na kterém je zobrazen spínací prvek V (IGBT tranzistor), nulové diody a obecná R, L, U_i zátěž. Činnost převodníku je řízena spínacím prvkem V, při jeho sepnutí se napětí zdroje U rovná napětí na zátěži u_d , proud procházející spínačem se uzavírá přes zátěž ($i_d = i_v$) a část energie spotřebovává zdroj U_i a akumuluje cívka L. Pokud je spínač V rozepnut $u_d = 0V$, proud i_d klesá k nule a uvolňuje se naakumulovaná energie z cívky L, která se ztrácí na R a spotřebovává U_i [52].



Obr. 22 Schéma pulzního měniče pro snižování napětí

Pulzní měnič pro zvyšování napětí nebo-li Boost měnič, převádí DC napětí vstupní na DC výstupní vyšší úrovně a skládá se ze stejných částí jako Buck měnič. Zvyšující měnič může přenášet energii ze zátěže do zdroje (rekuperovat), oproti snižujícímu měniči, který je schopen přenosu energie pouze ze zdroje do zátěže. Při sepnutém spínacím prvku V , proud i_d klesá a uzavírá se do smyčky přes prvek V , zároveň se uvolňuje dříve naakumulovaná energie z cívky L , která se ztrácí na odporu R a je spotřebována na U_i . V případě rozepnutí spínacího prvku V , dochází k průchodu proudu i_{V0} přes nulovou diodu V_0 až do zdroje U , napětí $U = u_d$ a do cívky L se akumuluje energie.



Obr. 23 Schéma pulzního měniče pro zvyšování napětí

4.4 Elektrifikace stanice a zatížení distribuční sítě

Primární způsob elektrifikace se u všech nabíjecích stanic provádí připojením stanice na distribuční síť, může být případně doplněna o sekundární zdroje energie (obnovitelné zdroje energie, úložné systémy energie). Připojení stanice je provedeno přes síťový transformátor, zajišťující požadované napájení nabíjecích stání. Rozdíl mezi připojeními jednotlivých typů stanic udává celkový příkon stanice, který může dosáhnout až řádů jednotek MVA [42]. Nárůst příkonu do takových to hodnot vyžaduje adekvátní dimenzování přívodního vedení a transformátorů, aby se vypořádalo s tak velkým nabíjecím zatížením [49]. Dalším důsledkem je, že nabíjecí zatížení EV je přenášeno do elektrické sítě pomocí rozvodu a zvyšuje tak ztrátu elektrické sítě [50]. Ve skutečnosti mohou být účinky zatížení

takové, že kompletně modifikuje toky energie, napět'ové profily a ztráty distribučního systému. Negativní účinky vyvolají přetížení sítě, to způsobí proudy nad limity celkové kapacity vedení a napětí pod regulačními okraji [49]. Všechny tyto dopady nabíjení na elektrickou síť lze snížit a to několika způsoby.

Nejběžnějším způsobem, který byl již zmíněn, je posílení sítě nebo její úplně nové vybudování. V tomto případě jsou nabíjecí stanice považovány za konvenční nekontrolovatelné zatížení. Proto je nutné investovat do klasických síťových aktiv, vedení a transformátorů, aby se vypořádalo s dalším zatížením. Tento způsob však není možné použít v hustě obydlených oblastech, v kterých se využívá podzemní síť. Důvodem jsou vysoké náklady na vybudování a zabezpečení takového připojení. Dalším způsobem je optimalizace polohy stanice, kdy lze použít řadu metod k nalezení optimální polohy [49], viz kapitola (4.2 Umístění). Všechny dříve zmíněné způsoby se snaží zajistit maximální příkon stanice, to ale neřeší průběh denní křivky zatížení sítě.

Za účelem optimálního vyrovnání křivky, byly vytvořeny algoritmy nabíjení (zatížení), které se snaží rozptýlit zatížení na jednotlivé stanice v místní oblasti. Celý tento systém funguje na základě výpočtů centralizovaných algoritmů, které vyžadují složitou komunikační infrastrukturu pro shromažďování dat z měření a zasílání odpovídajících požadovaných dat pro konkrétní aktivity rozložení zatížení. Nedostatkem centralizace je, závislost na komunikační infrastruktuře, která může selhat, a výpočetní složitost v případě velkého množství EV. Naopak decentralizované algoritmy, vyvinuté pro odstranění nedostatků centralizovaných algoritmů, distribuují rozhodování nezávislým kontrolérům s komunikační schopností nebo existují i jednodušší přístupy, které berou v úvahu pouze lokální měření. Pokud jde o sledovaný cíl, řízení uzlových napětí v určitých regulačních mezích a minimalizace ztrát v síti [49], nedostatkem je pouze místní charakter vlivu algoritmů na distribuční síť. Z důvodů výše zmíněných nedostatků jsou algoritmy kombinovány s nabíjecími tarify provozovatelů distribuční soustavy, určující cenu nabíjení v jednotlivých časových rozmezích dne. Cenově regulované nabíjení má za cíl snížit špičkové zatížení soustavy.

Snížení poptávky je posledním zmíněným způsobem, který se snaží zmenšit aktivní příkon energie nabíjecí stanice tak, aby se zmírnila zátěž na distribuční soustavu, a to pomocí úložných systémů, obnovitelných zdrojů energie (fotovoltaická, větrná energie) nebo

kombinací obou těchto zdrojů energie. Snížení poptávky probíhá tak, že v případě malého zatížení stanice, je část energie obnovitelných zdrojů nebo sítě, akumulována v úložných systémech. V případě zvýšení zatížení, by se vozidla nabíjela kombinovaně, jak energií z distribuční sítě, tak z úložných systémů [49].

5 Komunikační systémy

S narůstající potřebou množství digitálních řídicích jednotek, pro zajištění bezpečnosti jízdy, dobré ovladatelnosti, nízkého opotřebením vozidla, pro uživatelský komfort a ochranu během nabíjení, začaly automobily jak u konvenčních automobilů, tak i elektromobilů, používat komunikační systémy, přenášející data mezi jednotkami. Nejstarší používaný způsob přenosu dat ve vozidle je přenos jednotlivými vodiči [59] neboli (Point to point) [60], kdy každý vodič přenáší pouze jeden druh informace. Nevýhodou této možnosti je, že úměrně se vzrůstajícím počtem přenášených informací vzrůstá i počet vodičů, proto se hodí pro aplikace s malým počtem informací [59]. Komunikací Point to point se dále nebude zabýváno, protože se nepoužívá pro komunikaci při nabíjení. Druhou možností je komunikace pomocí dvou vodičů datové sběrnice, například CAN (Controller Area Network), která je používána u EV. Objem přenášených dat sběrnici je nezávislý na počtu připojených řídicích jednotek. Datová sběrnice umožňuje snížit množství vodičů, při zachování velkého počtu řídicích jednotek a přenášených informací [59]. Posledním způsobem komunikace mezi EV a nabíječkou je technologie PLC (Power Line Communication), probíhající po vedeních vozidla, současně využívaných pro přenos střídavého nabíjecího proudu [61]. Systém PLC je také označován jako HomePlug AV nebo IP over powerline [62], systém umožňuje zvětšit flexibilitu zavádění nových aplikací, a také zvětšit přenosovou rychlost signálu [60]. Podrobnější popis dvou posledních možností přenosů dat je v kapitolách (5.1 Datové sběrnice, 5.2 Technologie PLC).

Další existující rozdělení komunikačních sítí je definováno společností SAE (Society of Automotive Engineers) [63] na čtyři třídy (A až D) na základě přenosové rychlosti a aplikací. Dvě první třídy A a B používají protokoly pro nízkou rychlost přenosu dat, v použití komfortních funkcí nevyžadujících vysoké rychlosti. Mezi typické aplikace zahrnující tyto třídy patří ovládání světel, stěrače čelního skla, zamykání dveří nebo polohování sedadla [64]. Poslední třídy C a D se spoléhají na vysokorychlostní protokoly (CAN, FlexRay, MOST) zajišťující komunikace v reálném čase. Komunikace v reálném čase je podstatná pro funkce zajišťující bezpečnost jako je ABS, airbagy nebo bezpečné odpojení vozidla od stanice [60], latence protokolů se pohybuje kolem 5ms [65]. Podrobnější hodnoty definovaných tříd jsou uvedeny v tabulce 7.

Tab. 7 Třídy automobilových komunikačních sítí definované společností SAE [64] [65]

Třída	Protokol	Přenosová rychlost	Latence	Použití
A	LIN	< 10kb/s	10 - 100ms	komfortní funkce
B	CAN	10 - 125kb/s	10 - 100ms	komfortní funkce
C	CAN, PLC	125kb/s - 1Mb/s	5ms	pohonné jednotky
D	FlexRay, MOST, PLC	> 1Mb/s	5ms	bezpečnostní jednotky, multimédia

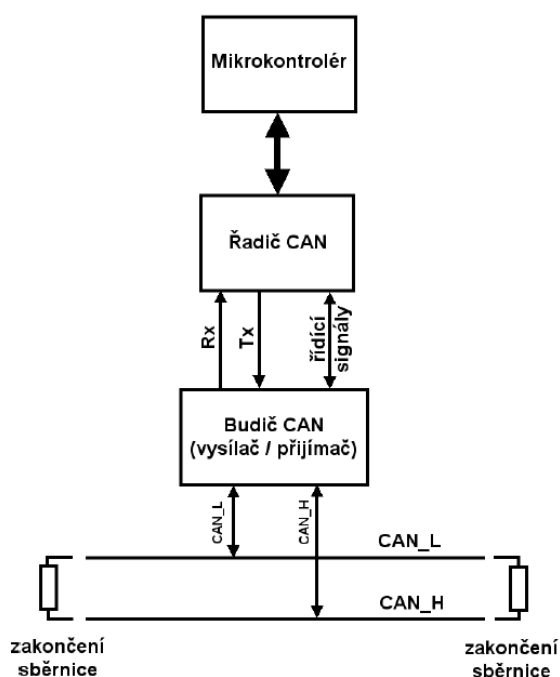
5.1 Datové sběrnice

5.1.1 Controller area network (CAN)

Datová sběrnice CAN neboli CAN-BUS byla vyvinuta firmou BOSCH roku 1986, pro použití v automobilovém průmyslu a dnes je jednou z nejvíce využívaných sběrnic v EV např. automobilkami (Nissan, Mitsubishi, Toyota, Great Wall a Aiways) a v nabíjecích stanicích s protokoly (CHAdemo, GB/T 20234.2-2011 a GB/T 20234.3-2011) [67]. Sběrnice využívá sériového přenosu dat v reálném čase s rychlostí přenosu 1Mb/s a klade velký důraz na zajištění bezchybného přenosu dat. Síť vytvořená sběrnici CAN propojuje všechny řídicí jednotky ve vozidle, teoreticky nezávisle na jejich počtu, reálně je počet připojených jednotek na jednu sběrnici omezen na 30. Omezení počtu připojených jednotek zajišťuje optimální statické (odpor- R, indukčnost- L, kapacita- C, svod- G) i dynamické parametry (vlnová impedance- Z_0 , měrný útlum- γ), při maximální délce 40m [66].

Princip funkce je založen na principu, že vždy vysílá data (zprávu) po síti jen jedna jednotka a zbylé jednotky tyto data přijímají a vyhodnocují. V případě, že nějaká jednotka vyhodnotí přijatá data jako potřebná, tak je dále zpracovává [66]. Pokud nějaká jednotka vysílá, ostatní jednotky mohou začít vysílat, až po ukončení tohoto vysílání. Výjimku jsou chybové rámce, kterými může jakákoliv jednotka upozornit na chybu ve vysílané zprávě. Po vyslání tohoto rámce, vysílací jednotka opakuje své vysílání. Celá síť je decentralizována, takže každá jednotka sítě může, jak vysílat, tak přijímat, což zvyšuje spolehlivost. V případě kolize dvou vysílání, určuje pořadí vyšší prioritou jedné ze zpráv. Zpráva obsahuje mimo priority také identifikátor, podle kterého se jednotky rozhodují zda budou zprávu dále zpracovávat [66].

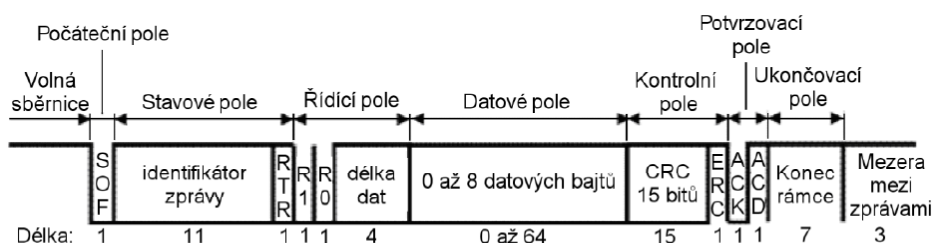
Sběrnice CAN se skládá z dvou vodičů sběrnice (CAN_H, CAN_L), které jsou na každém konci ukončeny odpory hodnoty 120Ω [59], ty zajišťují impedanční přizpůsobení vedení, zabraňující zpětnému odrazu signálu a zkreslení nově vyslaného. Zbylé části struktury CAN jsou integrovány v připojených jednotkách, mezi tyto části patří budič, řadič a mikro kontrolér. Mikro-kontrolér zpracovává přijatá data a rozhoduje o jejich přijetí nebo vyslání. Řadič seřazuje přijatá data z mikro-kontroléru do rámců a vysílá je na budič nebo data z budiče upravuje pro mikro-kontrolér, struktura je zobrazena na obrázku 24, Struktura jednotlivých částí sběrnice CAN. Budič jednotky zajišťuje vysílání nebo příjem elektrického signálu sběrnice, získaného převedením dat z řadiče. Budič zároveň reprezentuje fyzickou vrstvu sběrnice, definující hodnoty bitu aktivního stavu (domain = log. 0) a pasivního stavu (recessive = log. 1) [66]. Reálné hodnoty obou stavů, vyjádřené v hodnotě napětí, mohou být různé, protože sběrnice CAN tyto hodnoty nespécifikuje. Nejčastěji se ale postupuje podle normy ISO 11898, která stanovuje úroveň log. 1 a 0 pomocí rozdílového napětí. Velikost rozdílového napětí je stanovena u log. 1 na $U_{dif}=0V$ a log. 0 na $U_{dif}=2-5V$ [66].



Obr. 24 Struktura jednotlivých částí sběrnice CAN [66]

Datové rámce (datové protokoly) neboli zprávy, které jsou sběrnici CAN přenášeny, rozdělujeme na čtyři typy zpráv (datovou zprávu, žádost o data, chybovou zprávu a

přetížení). Nejpodstatnější je datová zpráva, zajišťující základní komunikaci po sběrnici, pomocí datového pole (0 - 8 bajtů), které nese informace o stavu řídicí jednotky [66]. Datové pole je schopné měnit počet vyslaných bitů (0 až 64 bitů) podle potřeby, při oznámení zapnutí nebo vypnutí nejsou zapotřebí žádné bity. Datové zprávy CAN sběrnice se dále rozdělují na standardní formát zprávy 2.0A (Standart Frame) a rozšířený formát zprávy 2.0B (Extended Frame). Formáty se vzájemně odlišují pouze délkou identifikátoru, který je u standardního formátu 11 bitů a rozšířeného formátu 29 bitů, dále se budeme zabývat pouze standardním formátem datové zprávy. Struktura datového rámce formátu 2.0A [66] je zobrazena na obrázku 25, Zobrazení částí datové zprávy ve formátu 2.0A sběrnice CAN a vysvětlena v tabulce 8, Popis funkcí polí formátu 2.0A sběrnice CAN.

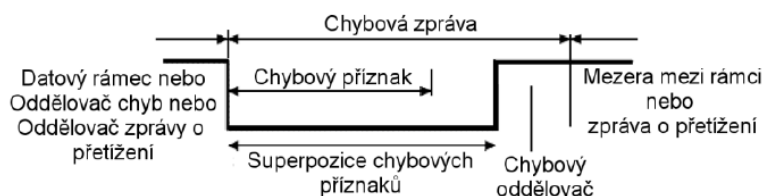


Obr. 25 Zobrazení částí datové zprávy ve formátu 2.0A sběrnice CAN s uvedeným počtem bitů [66]

Před samotným vysláním datové zprávy je potřeba vyslat žádost o data, určenou identifikátorem pro konkrétní jednotky, po kterých jsou data požadována. Žádost o data se od datové zprávy liší bitem RTR nalézající se ve stavu recessive a tím, že jí chybí datové pole [66]. Poslední dva uvedené typy zpráv o chybě a přetížení, slouží k řízení komunikace v případě chyby nebo pro zvýšení časového intervalu mezi jednotlivými datovými rámci.

Chybová zpráva je vyslána jakoukoliv jednotkou, která přijímá datovou zprávu a v tomto průběhu zaznamená přenos chyby [66] (jiná délka datového pole, chyby CRC kódu, nepotvrzení přijetí zprávy bitem ACK). Jednotka nejdříve generuje příznak chyby, buď aktivních (dominant) nebo pasivních (recessive) šest bitů to je zobrazeno na obrázku 26, Struktura chybové zprávy sběrnice CAN. Následně po vyslání příznaku chyby, vysílá každá jednotka další bity recessive a po detekci stavu recessive na sběrnici vysílá dalších 7 bitů recessive [66].

Zpráva o přetížení se vysílá v případě zahlcení sběrnice zprávami a zvětšuje časový interval mezi nimi. Posloupnost vyslaných bitů je podobná jako u chybové zprávy, ale oproti ní může být vysílána, až po ukončení vysílání datové zprávy. Zpráva se skládá z příznaku přetížení (šest bitů dominant) a oddělovače (sedm bitů recessive) [66].



Obr. 26 Struktura chybové zprávy sběrnice CAN [66]

Tab. 8 Popis funkcí polí formátu 2.0A sběrnice CAN [66]

Pole	Pod části	Bitů	Funkce
Počáteční	SOF	1	označení začátku zprávy
Stavové	identifikátor	11	určuje prioritu zprávy
	RTR	1	rozlišuje datovou zprávu (dominant) nebo žádost o dat (recessive)
Řídící	R1, R0	2	rezervní
	délka dat	4	udává délku datového pole
Datové	-	0 - 64	vlastní přenášená informace
Kontrolní	CRC	15	kód k odhalení chyb
	ERC	1	oddělovač v úrovni recessive
Potvrzovací	ACK	1	potvrzení o správném přijetí
	ACD	1	oddělovač v úrovni recessive
Ukončovací	-	7	označení konce zprávy

5.1.2 Local interconnect network (LIN)

Sériová sběrnice LIN byla vyvinuta na konci 90. let společnostmi (BMW, Volkswagen, Audi, Volvo Cars a Mercedes-Benz), s důrazem na nízkou cenu, pro doplnění sítě sběrnice CAN, FlexRay [68] [64]. Běžná přenosová rychlost sběrnice LIN je 10Kb/s, reálně může

dosáhnout až 19,2Kb/s [64], tato rychlost udává použití v komfortních funkcích (ovládání oken, zámků, nastavování světel, polohování sedadel, atd.). Hlavním rozdílem oproti sběrnici CAN je centralizace sítě [68], kdy je jedna řídicí jednotka (Master), která inicializuje zbylé jednotky (Slave) v pravidelných intervalech mezi sebou, na jedné jednotce (master) může být připojeno maximálně 15 jednotek. Postupnou inicializací všech jednotek (Slave) této technologie, odpadají problémy s kolizemi a přehlcením sítě [64]. Nedostatkem je snížená spolehlivost, porucha jednotky (Master), zpoždění způsobené postupnou inicializací a nízký počet připojených jednotek.

5.1.3 FlexRay

Společnosti BMW, Daimler, Chrysler, Philips a Motorola vytvořili sběrnici FlexRay za účelem komunikace v reálném čase (přenosová rychlost 20 Mb/s při vzdálenosti 24 m mezi řídicími jednotkami), s vysokou odolností vůči elektromagnetickému rušení [69] [71]. Systém komunikace FlexRay je unikátní tím, že využívá, jak periodicky se opakující postupné inicializace všech jednotek v čase (statické) (LIN), tak inicializace vyvolané událostmi (dynamické) (CAN). Inicializace spouštěná v časovém sledu, zajišťuje účinnost a brání kolizi a přehlcení sítě, oproti dynamickému přístupu však nezachytí události mezi jednotlivými inicializacemi. Obě dvě metody inicializace sdílí přenosový kanál metodou mnohonásobného přístupu TDMA (Time Division Multiple Access) [64], při které má každá řídicí jednotka svůj vyhrazený časový slot (časový interval), který se periodicky opakuje a v kterém vysílá data sběrnici [70]. Nejvyšší prioritu mají sloty přidělené staticky (spouštěné časem) a nižší prioritu dynamicky (spouštěné událostmi) [64]. Pro umožnění obou zmíněných možností přístupu ke sběrnici (statické nebo dynamické) se sběrnice FlexRay skládá ze dvou kanálů A B. Řídicí jednotky mohou být připojeny, jak k oběma kanálům, tak jen k jednomu kanálu. Připojená jednotka pak může komunikovat se všemi připojenými jednotkami na totožném kanálu, na kanály dohromady lze připojit až 2047 řídicích jednotek [69]. Sběrnice FlexRay se využívají ve vysoké míře vozidla BMW, jako páteřní datovou síť doplněnou sběrnici CAN a LIN na méně náročné aplikace [72].

5.1.4 Media oriented system transport (MOST)

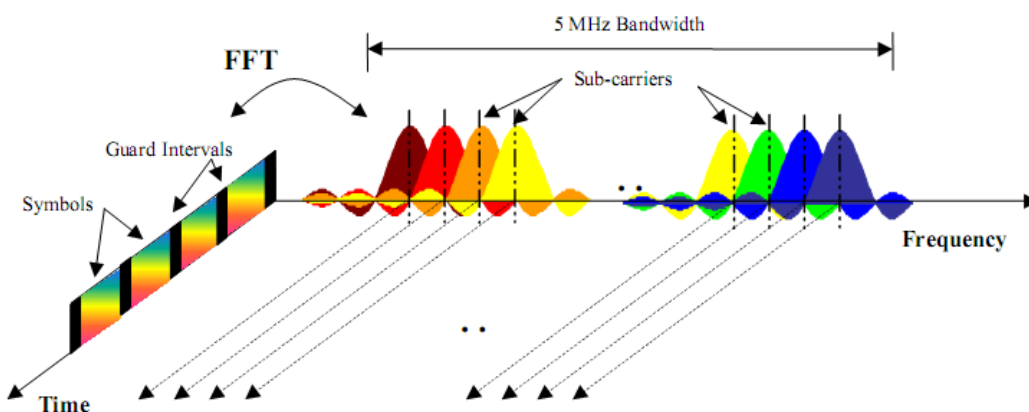
MOST je označení pro datovou sběrnici určenou pro přenos zvuku a videa mezi multimediálními zařízeními (GPS navigace, video displeje, zesilovače, atd.) v automobilovém průmyslu. Technologie sběrnice je založena na datových a řídicích kanálech, kde řídicí kanály nastavují, který datový kanál bude přijímat a odesílat informace o multimediální jednotce. Přenos dat zvuku a videa probíhá s datovou rychlostí až 24,8 Mb/s [64]. Typem sběrnice MOST se více zabývat nebudeme, protože je určena pouze pro multimediální aplikace a ve vozidlech se ve vysoké míře nevyužívá.

5.2 Technologie PLC

PLC (Power Line Communication) označuje technologii komunikace po elektrickém vedení, které zároveň distribuuje elektrickou energii mezi spotřebiči přenosové soustavy, v budovách, stanicích společností (IONITY, Electrify America) a vozidlech (BMW, Mercedes Benz, Audi, Volkswagen, Volvo, Porsche) [9]. Hlavním důvodem pro zavádění tohoto způsobu komunikace je vysoká hustota napájecího vedení v nabíječkách a vozidlech, s tím spojená flexibilita, nižší cena při zavádění a vysoká přenosová rychlost [74] [60], která se u PLC pohybuje až 200 Mb/s [73]. Problémem samotné technologie je to, že elektrické vedení není primárně uzpůsobeno k přenosu dat, a proto má řadu negativních účinků na přenášený signál. Hlavním problémem je měnící se zatížení a impedance sítě, která není impedančně přizpůsobena, to způsobuje zpětný odraz vyslaného signálu a zkraslení a útlum. Dalším problémem je značný šum v distribuční síti, zkreslující data, typickými zdroji jsou motory, spínané zdroje, střídače, halogenové zářivky a další spotřebiče. V neposlední řadě je vysoký útlum, který se zvyšuje s rostoucí hodnotou frekvence [74]. Aby bylo možné zavést PLC do automobilů, je třeba znát kanály a možné změny faktorů, ovlivňujících kvalitu signálu. Tyto informace lze zjistit pouze podrobným experimentálním měřením na síti. Měření na síti vozidla definuje nejlepší parametry pro zpracování signálu, jako je šířka pásma, modulace a vyrovnání během změn zatížení. Technologie PLC je schopná dynamicky měnit své parametry v závislosti na změnách v síti, potřebě přenosové rychlosti a stavu vozidla [74].

Mimo optimalizace parametrů sítě, jsou data modulována za pomoci ortogonálního multiplexování s frekvenčním dělením OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), pro zabránění jejich zkreslení. OFDM patří mezi digitální modulační, které přenášejí data pomocí K subnosných frekvencí rovnoměrně rozložených v jednom kanálu. Data každého kanálu jsou přivedena na modulátor, který je rozdělí na N subnosných [74] [77], zobrazených na obrázku 26, Převod jednotlivých subnosných z frekvenční do časové roviny, jejich počet se váže k módu OFDM, 2k (1 705 subnosných) nebo 8k (6 817 subnosných) [75]. Následuje digitální modulační každé subnosné, pomocí schématu (16 - QAM, 64 - QAM).

Pro vyslání se data vysílají ve zprávách (paketech) označovaných jako symboly, kdy každý symbol reprezentuje jeden konkrétní stav všech nosných, následovaný kódem k odhalení chyb. Za účelem zabránění intersymbolu interference (ISI), je část dat z konce symbolu přesunuta na jeho začátek, to je označováno jako cyklická předpona [74]. Intersymbol interference je zkreslení symbolu, při kterém se dva symboly částečně překrývají a informace na okrajích se mohou ztratit. Překrytí je způsobeno zpožděním jednotlivých symbolů [76]. Přístup na síť PLC je dynamický pomocí metody CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), zabráňující kolizím. Každá stanice, která chce vysílat, čeká na uvolnění linky, a po jejím uvolnění vysílá. V případě kolize stanice opakuje vysílání [74], tento způsob přístupu je podrobněji popsán v kapitole (5.4 Bezdrátová komunikace). Na technologii PLC je založen standart Homeplug, používaný v domácnostech a vozidle. Roku 2011 byla společnostmi Ford, General Motors, Audi, BMW, Daimler, Porsche a Volkswagen přijata vylepšená specifikace HomePlug Green PHY, jako standart pro EV s přenosovou rychlostí až 200 Mb/s [73].



Obr. 27 Převod jednotlivých subnosných z frekvenční do časové roviny pomocí Rychlé Fourierovi transformace (FFT) a vytvoření symbolů [88]

5.3 Bezdrátová komunikace

Termín bezdrátová komunikace označuje technologie, v kterých jsou informace (bity) přenášeny vzduchem, postrádající jakékoliv kontaktní spojení mezi vysílačem a přijímačem [78]. V dnešní době je tento typ přenosu informací využíván v široké škále aplikací (sdělovací prostředky, spotřební elektronika, zabezpečovací systémy, atd.), mezi které patří i elektro mobilita. Bezdrátový přenos informací v elektromobilech zajišťuje, jak komfortní služby (rádio, GPS, internetové připojení), tak služby zaručující správnou funkci a ochranu vozidla, odesílání dat o stavu vozidla a komunikaci během nabíjení. Jedním z nejčastěji používaných druhů sítí pro tyto účely jsou označovány jako WLAN (Wireless Local Area Network).

5.3.1 WLAN

WLAN je označení pro místní bezdrátovou síť se standardem IEEE 802.11 pracující ve vysokofrekvenčním pásmu (2,4 - 5 GHz) a přenosovou rychlostí až 600 Mb/s, propojující dvě a více zařízení a umožňující připojení k internetu [79], až na vzdálenost 1 km. Standard IEEE 802.11 definuje protokoly v různých verzích (a, b, g, n), pro přístup k síťovým zařízením s MAC adresou (identifikátor) a k fyzické vrstvě [80]. Pásmo WLAN sítě se dělí na dvě další podpásma, rozdělená na jednotlivé kanály pro přenos dat. Prvním podpásmem

je označováno jako pásmo 2,4GHz s rozsahem (2,412 - 2,483 GHz), obsahující 14 kanálů se vzájemným odstupem 5 MHz, u 14. kanálu je odstup 12 MHz. Druhým podpásmem je pásmo 5GHz (5,18 - 5,7 GHz) s 19 kanály, z kterých je prvních osm použitelných ve vnitřních prostorách budov a zbylých jedenáct je pro venkovní prostory [81] [83].

Modulace signálu se provádí buď metodou FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) s rychlostí modulace 1, 2 a 3Mb/s. Tato metoda mění, během vysílání, frekvence na kterých vysílá a tím snižuje riziko rušení a odposlouchávání signálu. V mezích frekvenčního rozsahu kanálu, mění vysílač pseudonáhodně sekvenci vysílaných frekvencí známou příjemci. Na každé frekvenci je vysílána krátká datová zpráva a frekvence se mění více jak dvakrát za sekundu [85] [84]. Druhou metodou modulace je DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) s rychlostí modulace 1; 2; 5,5 a 3Mb/s. Oproti metodě FHSS, tato metoda vysílá data najednou na různých hodnotách frekvencí, s délkou zprávy 11bitů. Tento přístup umožňuje větší propustnost kanálu a v případě ztráty části dat, jejich opětovnou rekonstrukci [85] [84].

Přístup k médiu protokolu IEEE 802.11 probíhá na základě metody CSMA/CA, snižující riziko kolizí [79]. Nejprve je sledována obsazenost přenosového média, kanál WLAN sítě (případně vodič PLC sítě). V případě obsazenosti kanálu je zahájeno náhodné zpoždění, po kterém je médium opětovně testováno. Pokud je kanál volný, vyčká se dobu označovanou jako DIFS, po této době začne náhodné zpoždění a v případě trvalé volnosti kanálu se vyšle rámec RTS (ready to send) společně s NAV (network allocation vector) [86]. RTS rámec určený příjemci, žádající o možnost vyslání dat. Ve stejný okamžik jsou upozorněna ostatní zařízení, na obsazenost kanálu pomocí rámce NAV. Pokud je přijímač připraven přijímat, odešle vysílači zprávu CRT (clear to send) [84]. Vysílač začne odesílat dat a po každém jejich správném doručení, vyšle přijímač zprávu ACK (Acknowledge). Nezaznamenání zprávy vysílačem je považováno za kolizi a vysílání je znovu opakováno [86].

Každé připojené zařízení sítě je vybaveno řadičem WNIC a dělí se na přístupové body (routry) přeposílající data a klienty (EV, výpočetní techniku a další zařízení). Protokoly pracují v režimu ad hoc a infrastruktura [79]. Ad hoc režim komunikuje „peer to peer“ (P2P), to znamená, že si zařízení vyměňují data přímo mezi sebou [82], bez přesměrovávání přes centrální uzel (přístupový bod). Režim infrastruktura využívá přístupového bodu, pro přístup

k dalším zařízením a rozdílným sítím (Ethernet, internet) [79]. Základním zabezpečením přenosového média, před získáním dat třetí stranou, se provádí kontrolou MAC adres povolených zařízení sítě. Pokročilejším zabezpečením je šifrování WEP (Wired Equivalent Privacy) statickými klíči symetrické šifry, které jsou nastaveny na straně vysílače a přijímače [87]. Zdokonalenější variantou WEP je WPA, WPA2, WPA3 (Wi-Fi Protected Access) která dynamicky mění přihlašovací klíče [79] [87].

6 Způsoby komunikace mezi nabíječkou a vozidlem

6.1 Sběrnice komunikace konektoru CHAdeMO

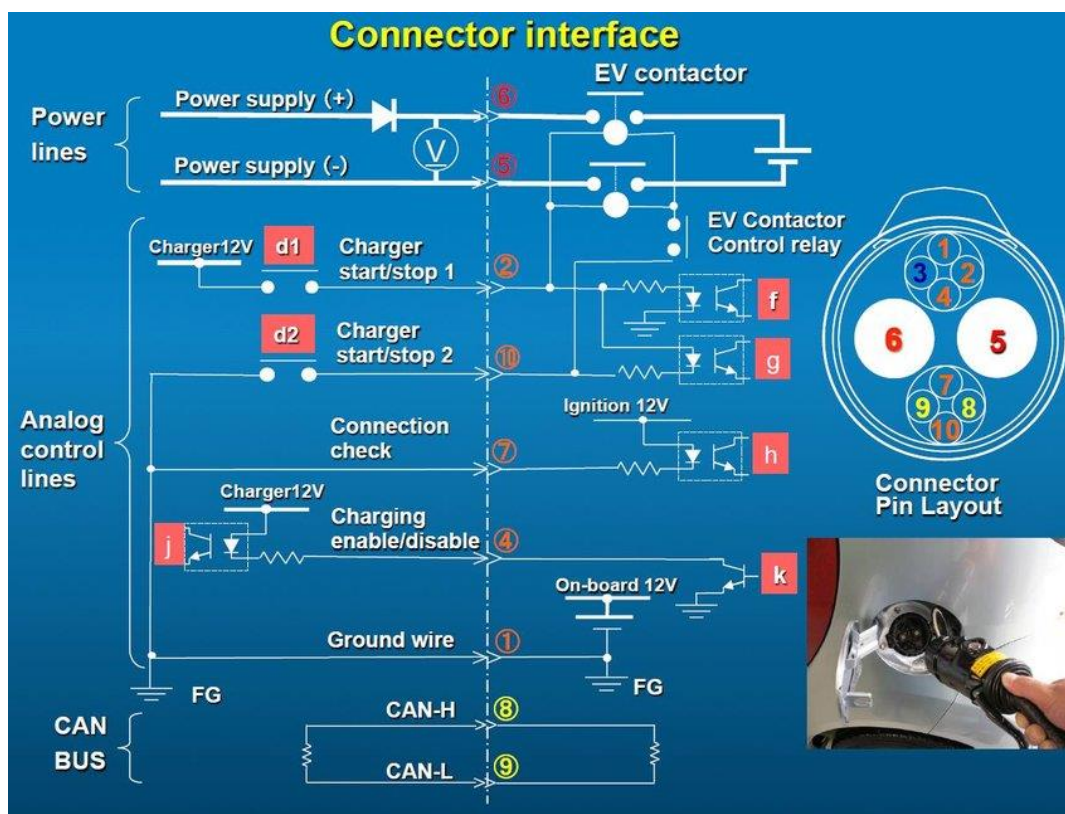
Konektor CHAdeMO se skládá z desíti pinů, z nichž jsou dva DC nabíjecí, dva komunikační sběrnice CAN, pět pro analogovou komunikaci a jeden je nevyužit, konkrétní funkce je popsána v tabulce 3, kapitoly (2.1.5 CHAdeMO). Ze schématu na obrázku 27, je patrné, že analogové piny zajišťují spouštění a ukončování nabíjecího cyklu, přepínání tranzistorů a izolační testy před přenosem energie do baterie vozidla. Hlavní přenos parametrů nabíječka a EV probíhá pomocí číslicové sběrnice CAN.

Nabíjecí cyklus je zahájen, po připojení konektoru do vozidla, tlačítkem d1 (Charger start/stop 1), přenášející 12V do optočlenu „f“ ve vozidle. V okamžiku, kdy vozidlo detekuje na „f“ zahájení cyklu, vyšle po sběrnici CAN hodnoty maximálního napětí, proudu a kapacitu baterie. Po obdržení hodnot, zkontroluje nabíječka svou kompatibilitu a v případě vyhovujících parametrů, vyšle data o svém maximálním nabíjecím napětí a proudu. Pokud i vozidlu vyhovují parametry nabíječky, sepne tranzistor „k“ a tím nabíječka předá informaci o povolení nabíjet. Následně nabíječka provede bezpečnostní zkoušku izolace a zemnění, touto zkouškou je ověřen dobrý technický stav kabelu nabíječky a konektoru. Po úspěšném provedení zkoušky, sepne nabíječka relé d2 a přes optočlen „g“ předá vozidlu informaci, o dokončení zkoušky a povolení začít samotné nabíjení baterie. Přímé vodivé propojení mezi nabíječkou a baterií ve vozidle je provedeno sepnutím stykače vozidla (EV contactor), pomocí řídicího relé (EV contactor control relay). Sepnutí stykače vozidla je umožněno předešlým stisknutím tlačítka d1 a sepnutím relé d2. Během celého nabíjení EV neustále sleduje hodnoty proudu, napětí, teploty, atd. a každých 0,1 sekundy vysílá po CAN sběrnici, do nabíječky data o požadovaném proudu.

Vozidlo může zastavit proces nabíjení v případě jakéhokoliv problému. Mezi tyto problémy patří vyžádání nulového proudu přes sběrnici CAN, vyslání chybové zprávy sběrnici CAN, rozepnutí tranzistoru „k“ nebo stykače EV. Zastavení procesu je možné i ze strany nabíječky, v případě, že by její parametry (napětí, proud, teplota, atd.) přesáhly bezpečných hodnot, vyšle chybové hlášení, po kterém vozidlo zastaví nabíjení. Mezi další způsoby zastavení nabíjení ze strany nabíječky patří, vnitřní blokování signálu pohonu na převodníku nabíječky nebo otevření vstupního stykače a jističe.

Po úspěšném nabití baterie, vyšle EV žádost o nulový proud a nabíječka přestane nabíjet. V okamžiku, kdy vozidlo začne detekovat nulový proud, vypne stykač vozidla a tranzistor „k“ přepnutím začne blokovat nabíjení. Nabíječka detekuje nulový výstupní proud na DC pinech, rozeptne tlačítko d1 a relé d2, tím ukončí proces nabíjení.

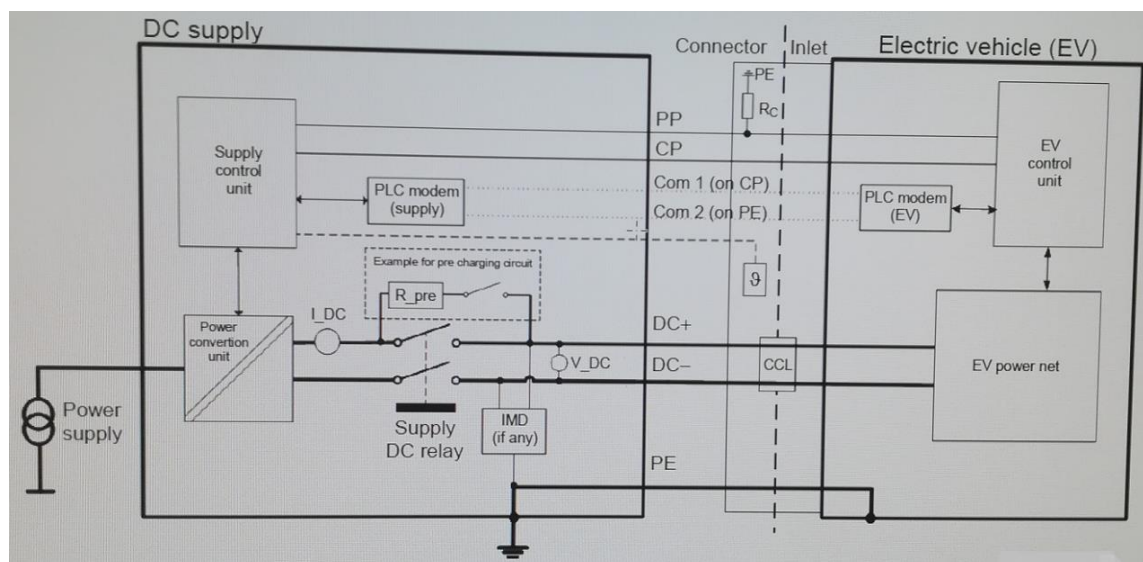
Více stupňové analogovo číslicové zabezpečení, zabraňuje chybnému spuštění, v důsledku špatného přenosu číslicových dat a poruch na vozidle a nabíječce. Pokud by došlo ke ztrátě analogového signálu nebo jiné poruše, nabíjení je ukončeno rychleji, než v případě číslicového přenosu po sběrnici. Zvýšení bezpečnosti je provedeno duálním jištěním, pro sepnutí stykače ve vozidle, je zapotřebí sepnout tlačítko d1 a relé d2 nabíječky a řídicí relé vozidla (EV contactor control relay). Tato metoda zajišťuje, že bez připojeného konektoru, se nemůže objevit na DC pinech vozidla napětí akumulátoru [89].



Obr. 28 Schéma zapojení a označení jednotlivých částí, nabíječky a konektoru CHAdeMO [89]

6.2 PLC komunikační technologie konektoru CCS 1

Konektor CCS 1 je uzpůsoben k nabíjení, jak střídavým, tak stejnosměrným proudem, stejně jako CCS 2. Způsob komunikace, popsáný v této kapitole, mezi nabíječkou a vozidlem probíhá stejně i u konektorů CCS 2, SAE J1772 a Typ „Mennekes“. Kombinování dvou druhů nabíjení je u CCS 1 umožněno sedmi piny, z kterých jsou dva pro stejnosměrné a další dva pro střídavé nabíjení, zbylé tři piny jsou určeny pro komunikaci analogovou a zároveň i číslicovou (PLC). Konkrétní popis zmíněných pinů je uveden v tabulce 1 a kapitolách (2.1.1 SAE J1772, 2.1.2 Combo 1 (CCS1)). Zapojení pinů konektoru a blokové schéma stanice a vozidla je uvedeno na obrázku 28.



Obr. 29 Schéma kombinovaného nabíjecího systému DC stanice s uvedenými popisy [91]

Po připojení konektoru nabíječky do vozidla, je na pinu CP změněn spojitě stav A (nepřipojen) na B (příprava nabíjení) a je zahájena vzájemná číslicová komunikace PLC přes piny CP a PE. Vozidlo a nabíječka si zašlou parametry nabíjení, mezi kterými jsou i maximální limity napětí a proudu. Následuje kontrola vzájemné kompatibility ze zaslaných dat a změna signálu pinu CP na stav C/D (izolační testy a přenos energie), v případě nekompatibility je ukončena příprava nabíjení. Vozidlo změní stav na „Připraven“ uzamkne zásuvku a začne testovat izolaci a kabel nabíječky, to samé opakuje nabíječka a údaje o zkoušce neustále přeposílá vozidlu, v průběhu zkoušky nesmí být výstupní napětí konektoru vyšší, jak 500V a izolační odpor musí být vyšší jak 100 kΩ. Testování izolace DC nabíječkou

probíhá do té doby, než začne přenos energie. Po úspěšném indikování velikosti izolačního odporu, vyšle stanice zprávu, že je vše v pořádku, následovanou zprávou o připravenosti. Proběhne zahájení přednabíjecí fáze, kdy vozidlo vyšle zprávu „Požadavek na přednabití“, v které si od nabíječky vyžádá dodání proudu nižšího než 2A a požadované úrovně DC napětí. Nabíječka přizpůsobí výstupní parametry požadavkům vozidla. V průběhu přednabíjecí fáze, probíhá stále test izolace, během kterého je snižována odchylka výstupního napětí stanice a baterie na méně než 20 V, tento test je ukončen vozidlem, před ukončením přednabíjecí fáze. Po ukončení přednabíjecí fáze, vyšle vozidlo zprávu „Připravenost na přenos energie“ ve stavu „Připraven k nabíjení“ na hodnotě „Pravda“, tato hodnota umožňuje spuštění nabíjecích výstupů nabíječky. V další vyslané zprávě, nastaví vozidlo požadavek na hodnotu stejnosměrného proudu. Nabíječka pak mění úroveň výstupního proudu a napětí, v závislosti na momentálních požadavcích vozidla.

Pro standartní ukončení nabíjení (plné nabití baterie, inicializované uživatelem), vyšle vozidlo požadavek na snížení proudu, dokud není hodnota proudu nižší jak 1 A, není odpojen výstup. Po snížení výstupního proudu a obdržení zprávy EV s parametrem připravenosti k nabíjení ve stavu „Nepřipraven“, vypne stanice výstupní stykač a po určitém čase, pro vybití výstupní kapacity, je odemknuta zásuvka. EV následně ukončí komunikaci po PLC a konektor lze odebrat z vozidla. V případě problémů může vozidlo i stanice inicializovat nouzové ukončení nabíjení. Mezi důvody nouzového ukončení patří chyba v komunikaci (CP nebo PE), odpor izolace nižší jak 100 k Ω , odemknutí zásuvky nebo překročení teplotních mezí konektoru a kabelu. Nouzové vypnutí snižuje výstupní proud s rychlostí 200 A/s, pro dosažení úrovně nižší jak 5 A za 1 s [91].

Závěr

Současný trend v nabíjení elektromobilů je takový, že nejprosazovanější formou, která je užívána k nabíjení vozidel, je manuální kontaktní nabíjení, za pomoci vysoko výkonných nabíječek, výkon až stovky kW. Důvody zavádění této formy jsou, jak technické (menší technologická složitost, velké množství energie přenesené za krátký čas, bezpečnost, účinnost, atd.), tak čistě ekonomické (menší pořizovací náklady, rychlá návratnost investic, atd.) oproti jiným formám. Mezi společnostmi prosazující manuální formu nabíjení v současnosti patří Tesla Inc., IONITY a další. Množství podobných společností vytváří inovace, zlepšující technologii a dostupnost zmíněné formy nabíjení, mezi tyto inovace patří například čínský konektor GB/T, který je, v přepočtu na množství uživatelů, nejvíce užívaným konektorem na světě. Zároveň se ale předpokládá, že po budoucí optimalizaci parametrů bezkontaktního přenosů energie, se dominantní formou nabíjení stane rezonančně induktivní a kapacitní. Mezi důvody pro budoucí zavádění těchto forem je možnost dynamického nabíjení během jízdy (ERS), mechanické neopotřebovávání systému, zbavení se závislosti na různých typech konektorů, vyšší míra komfortu při nabíjení a další výhody.

Dále bylo zjištěno, že před samotnou výstavbou stanice, je prioritní z analyzovat hustotu provozu a trasy vozidel v určené oblasti, pro co nejlepší pokrytí oblasti a zároveň minimalizaci počtu nabíjecích stanic. Při výstavbě je nutné tuto stanicí dimenzovat na dostatečně velký počet vozidel. Klíčovými faktorem pro dostatečné dimenzování stanice je elektrifikace a metody ochrany distribuční sítě, před jejím nadměrným zatížením. V dnešní době jsou nejpoužívanější kombinace řady těchto metod, jako je posílení místní části sítě, snížení poptávky úložnými systémy a napojení na obnovitelné zdroje energie. Jako velmi efektivní se pro tyto účely jeví možnost vytvoření rozsáhlé komunikační sítě mezi stanicemi a vozidly, umožňující rovnoměrné rozložení zatížení na všechny stanice. Tato možnost byla v této práci pouze okrajově zmíněna.

Závěrečná část práce se zabývala druhy komunikačních systémů (CAN, PLC, WLAN) a vzájemnému průběhu předávání informací mezi vozidlem a stanicí. Ze získaných údajů se došlo k závěru, že jednou z nejlepších komunikací je technologie PLC, s vysokou přenosovou rychlostí, spolehlivostí a flexibilitou v zavádění. V současné době je z hlediska vzájemné komunikace nabíječka-vozdlo, optimální kontaktní analogovo číslicový přenos dat. Analogová část zajišťuje rychlou odezvu a v případě chyby, rychlé odpojení vozidla od

nabíjecí stanice. Číslicová část zajišťuje přenos dat, udávající vzájemnou kompatibilitu a informace o průběhu nabíjení. Předpokládá se, že v budoucnu se budou ve větší míře používat bezdrátové sítě typu WLAN, po zlepšení jejich vlastností (EMC, zabezpečení, atd.). Výhodami těchto sítí jsou komunikace s jedoucím vozidlem, vysoká přenosová rychlost a kapacita a vyšší míra flexibility při zavádění ve vozidlech a stanicích.

Seznam obrázků

Obr. 1 Princip střídavého a stejnosměrného nabíjení [38].....	13
Obr. 2 Domácí nabíječka (wallbox) Mennekes Basic E [92].....	16
Obr. 3 Autobus Volvo 7900 v Göteborgu při nabíjení střešním sběračem [39].....	18
Obr. 4 Tahač Scania R450 na dálnici nedaleko švédského města Sanvikenu [40].....	19
Obr. 5 Testovací vozidlo Honda nabíjené z boku [56].....	20
Obr. 6 Tahač Volvo FH12 na testovacím okruhu společnosti Volvo Group nedaleko města Göteborg ve švédsku [41].....	21
Obr. 7 Princip bezkontaktního nabíjení magnetického převodu (MGWPT) [25].....	22
Obr. 8 Princip rezonančně induktivního nabíjení (RIPT) [25].....	23
Obr. 9 Princip kapacitního nabíjení (CWPT) [25].....	24
Obr. 10 Konektor a zásuvka SAE J1772 [27] [28].....	27
Obr. 11 Konektor a zásuvka CCS 1 [26] [29].....	28
Obr. 12 Konektor a zásuvka Typ 2 [30] [31].....	29
Obr. 13 Konektor a zásuvka CCS 2 [33] [32].....	30
Obr. 14 Konektor a zásuvka CHAdeMO [34] [35].....	31
Obr. 15 Konektor a zásuvka GB/T 20234.3-2011 [36] [37].....	32
Obr. 16 Konektor standardu Tesla Supercharger [5].....	34
Obr. 17 Zásuvka standardu Tesla Supercharger [5].....	34
Obr. 18 Optimalizovaná síť nabíjecích stanic v jižním Švédsku. Blesky znamenají nabíjecí stanice a trojúhelníky městskou oblast s již vybudovanou infrastrukturou [45].....	38
Obr. 19 Půdorys přízemního patra vícepodlažní nabíjecí stanice [42].....	39
Obr. 20 Půdorys podzemního patra vícepodlažní nabíjecí stanice [42].....	39
Obr. 21 Blokové schéma nabíjecí stanice EV [48].....	40
Obr. 22 Schéma pulzního měniče pro snižování napětí [52].....	41
Obr. 23 Schéma pulzního měniče pro zvyšování napětí [53].....	42
Obr. 24 Struktura jednotlivých částí sběrnice CAN [66]	47
Obr. 25 Zobrazení částí datové zprávy ve formátu 2.0A sběrnice CAN s uvedeným počtem bitů [66].....	48
Obr. 26 Struktura chybové zprávy sběrnice CAN [66].....	49
Obr. 27 Převod jednotlivých subnosných z frekvenční do časové roviny pomocí Rychlé Fourierovi transformace (FFT) a vytvoření symbolů [88]	53
Obr. 28 Schéma zapojení a označení jednotlivých částí, nabíjecí stanice a konektoru CHAdeMO [89].....	57
Obr. 29 Schéma kombinovaného nabíjecího systému DC stanice s uvedenými popisy [91].....	58

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] CHMELÍK, Tomáš. Výstavba veřejné dobíjecí infrastruktury v České republice, *Energetika*, 2017, **67**(4), 208-211. ISSN 0375-8842
- [2] KNEZ, Matjaz, ZEVNIK, Kozelj Gašper, MATEVZ, Obrecht. A review of available chargers for electric vehicles: United States of America, Europe Union, and Asia [online]. 19 April 2019, **109** (2019), 284–293 [cit. 25.9.2019]. ISSN 1364-0321. Dostupné prostřednictvím Science Direct z: doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.013
- [3] SAE J1772 [online], [cit. 29.9.2019], Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772
- [4] FALVO, Maria C., SBORDONE, Danilo. EV Charging Stations and Modes: International Standards Politechnika Lubelska [online], June 2014 [cit. 29.9.2019], Dostupné prostřednictvím Research Gate z: DOI: 10.1109/SPEEDAM.2014.6872107
- [5] HYDRO QUÉBEC. ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS [online], Technical Installation Guide - 2nd edition August 2015 [cit. 29.9.2019], ISBN 978-2-550-73913-5. Dostupné z: <http://www.hydroquebec.com/data/electrification-transport/pdf/technical-guide.pdf>
- [6] Type 2 connector [online], [cit. 29.9.2019], Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Type_2_connector
- [7] JIMÉNEZ, Ignácio M., CARRERAS, Carlos A., AZNAR, Gregorio F., OSORIO, José F. S., IA-HEV Task 20 “Quick Charging Technology” [online], IEA [cit. 29.9.2019], Dostupné z: <http://www.ieahev.org/tasks/task-20-quick-charging/>
- [8] Nabíjecí stanice elektromobilita [online], Schrack technik [cit. 6.10.2019], Dostupné z: <https://www.schrack.cz>
- [9] Combined Charging System [online], [cit. 6.10.2019], Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Combined_Charging_System
- [10] CHAdeMO [online], [cit. 6.10.2019], Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/CHAdeMO>
- [11] CHAdeMO [online], [cit. 13.3.2020], Dostupné z: <https://www.chademo.com/>
- [12] EUROP ELECTRO. GB 2023.2 2011 Connection set for conductive charging of electric vehicles- Part 2: AC charging coupler [online], March 01, 2012 [cit. 17.10.2019], ICS 43.040.99. Dostupné z: http://electroeuropa.org/fileadmin/user_upload/library/GBT_20234.2-2011_Connection_set_of_Conductive_Charging_for_Electric_Vehicles_-_Part_2_AC_charging_coupler.pdf
- [13] State Grid Corporation of China. EV infrastructure and standardization in China [online], October 2013 [cit. 17.10.2019], Dostupné z: http://www.sgcc.com.cn/html/sgcc_main_en/col2017112842/column_2017112842_1.shtml#tab
- [14] MIKOLAJEK, Martin, VALA, David, FREIEDRISCHKOVA, Kristýna, KOZIOREK, Jiri. Proposal discharging station compatible with CHAdeMO automotive standard [online]. 17 Listopadu 2015, **51-6** (2018), 277–282 [cit. 17.10.2019]. ISSN neuvedeno. Dostupné prostřednictvím Science Direct z: doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.07.166
- [15] Tesla [online], [cit. 14.3.2020], Dostupné z: https://www.tesla.com/cs_CZ/supercharger
- [16] Tesla Supercharger [online], [cit. 23.10.2019], Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Supercharger
- [17] Supercharger V3- Shocking Power & Smart Strategy by Tesla (Charts!) [online], [cit.

- 23.10.2019], Dostupné z: <https://cleantechnica.com/2019/03/08/supercharger-v3-shocking-power-smart-strategy-by-tesla-charts/>
- [18] DCE&S. Future of electric vehicle charging [online], [cit. 17.10.2019], Dostupné z: <https://www.futureofcharging.com/presentations/7-bauer-tud.pdf>
- [19] Tesla's V3 Supercharger, Tested [online], [cit. 17.10.2019], Dostupné z: <https://www.motortrend.com/news/teslas-v3-supercharger-tested/>
- [20] Netherlands Enterprise Agency. Electric vehicle charging Definitions and explanation [online], 13 January 2019 [cit. 17.10.2019], Publication number: RVO-169-1801/RP-DUZA. Dostupné z: https://www.nklnederland.com/uploads/files/Electric_Vehicle_Charging_-_Definitions_and_Explanation_-_january_2019.pdf
- [21] KABEŠ, Karel. Bez kabelové dobíjení elektromobilů [online]. Elektro, 2011, 7 (2011), 208 [cit. 17.10.2019]. ISSN neuvedeno, Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/44155.pdf>
- [22] COLLIN, Ryan, MIAO, Yu, YOKOCHI, Alex, ENJETI, Prasad, von JOUANNE, Annette. Advanced Electric Vehicle Fast-Charging Technologies [online], Energies, 15 May 2019, 12 (2019), 1–26 [cit. 17.10.2019], Dostupné z: <http://www.mdpi.com>
- [23] EVEXPERT. Electric current in EV world [online], [cit. 23.10.2019], Dostupné z: <https://www.evexpert.eu/tips-advice-manual-curiosities-information-electromobility-evexpert/basics-of-electromobility-basic-abc/ac-dc-charging-electromobil-current-alternating-direct>
- [24] Power Electronics Europe. Electric Vehicle Fast Charging Challenge [online]. Automotive power, 1 (2019), 30-32 [cit. 23.10.2019]. ISSN neuvedeno, Dostupné z: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Electric_Vehicle_Fast_Charging_Challenges-Article-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d462696dbf120169b9f185334b35
- [25] PANCHAL, Chirag, STEGEN, Sacha, LU, Junwei. Review of static and dynamic wireless electric vehicle charging system [online]. 27 June 2018, 21 (2018), 923–936 [cit. 25.9.2019]. ISSN 2215-0986. Dostupné prostřednictvím Science Direct z: doi.org/10.1016/j.jestch.2018.06.015
- [26] JET CHARGER. Plug Types [online], [cit. 18.3.2019], Dostupné z: <https://jetcharge.com.au/resources/ev-guide/vehicle-plug-types>
- [27] Made-in-China. SAE J1772 Battery EV Connector Plug for Charging [online], [cit. 11.6.2020], Dostupné z: <https://evcharger.en.made-in-china.com/product/ACYJgmDuOBkq/China-SAE-J1772-Battery-EV-Connector-Plug-for-Charging-16A.html>
- [28] JPSO.COM. J1772 Inlet/Socket Contacts/Pins 5pcs [online], [cit. 18.3.2020], Dostupné z: https://www.jpson.com/fr/product/j1772-socket-contacts/pins_p1316.html
- [29] YOCAR. CCS Combo 1 socket 125A 150A 200A [online], [cit. 18.3.2020], Dostupné z: <https://eyocar.com/Product/ccs-combo-1-socket-125a-150a-200a/>
- [30] MENNEKES. Mennekes- My Power Connection [online], [cit. 18.3.2020], Dostupné z: [http://www.mennek.es/index.php?id=latest0&L=2&tx_ttnews\[tt_news\]=929&cHash=46a00bad7f0d569c00bea9537556bbeb](http://www.mennek.es/index.php?id=latest0&L=2&tx_ttnews[tt_news]=929&cHash=46a00bad7f0d569c00bea9537556bbeb)
- [31] AMAZON.COM. Portable Type 2 (Mennekes) [online], [cit. 18.3.2020], Dostupné z: <https://www.amazon.com.au/Portable-Type-Mennekes-Charger-Australian/dp/B07HWL6681>
- [32] TUDelft dutch incert. Electric cars: Technology Lecture notes: Lecture 3.3 [online], [cit. 13.5.2020], Dostupné z: <https://ocw.tudelft.nl/wp->

- content/uploads/eCARS2x_Lecture_Notes_L3-3.pdf
- [33] ELECTRICCARHOME. CCS connector [online], [cit. 18.3.2020], Dostupné z: <https://electriccarhome.co.uk/charging-points/charging-point-connector-types/>
- [34] DYODEN. A Connector with a Copper Flexible Cable designed for EV Quick Charger in a CHAdeMO system [online], [cit. 18.3.2020], Dostupné z: http://www.dydencables.com/pdfs/EV_Quick_charger_Ver2_5.pdf
- [35] RICHARD, Jack. Your car are still bellong to them- but CHAdeMO may be more than [online], [cit. 18.3.2019], Dostupné z: <http://evtv.me/2014/10/car-still-belong-us/>
- [36] K.H.O.N.S., DC GB/T 20234 plug [online], [cit. 18.3.2020], Dostupné z: http://www.cnkhons.com/index.php/index/index/goods_detail/id/50/lang/en.html
- [37] VAD science technology cod. Contacts defined parametrs and service [online], [cit. 18.3.2019], Dostupné z: http://www.vadsz.com/en/product_detail.aspx?userinfo_id=652344&id=1467330&corpproductclass1_id=123238&corpproductclass2_id=150643
- [38] WALLBOX. EV Charging Current: What's the Difference Between AC and DC? [online], [cit. 19.3.2020], Dostupné z: https://wallbox.com/en_us/faqs-difference-ac-dc
- [39] ČESKOSLOVESKÝ DOPRAVÁK. Volvo představilo v Lucembursku systém nabíjení oppcharge [online], [cit. 18.3.2020], Dostupné z: <http://www.cs-dopravak.cz/zpravy/2017/1/5/volvo-pedstavilo-v-lucembursku-systm-nabjen-oppcharge>
- [40] SIEMENS. eHighway- Electrification of road freight transport [online], [cit. 5.5.2019], Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/road/ehighway.html>
- [41] IDNES.CZ. Elektrické kamiony Volva se inspirují u trolejbusů i Křižíka [online], [cit. 19.3.2019], Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/volvo-group-elektrifikovane-silnice.A130619_125709_automoto_vok
- [42] KNEZ, Matjaz, ZEVNIK, Kozelj Gašper, MATEVZ, Obrecht. Design scheme for far charging station for electric vehicles with distributed photovoltaic power generation [online]. 2 April 2019, **2** (2019), 150–159 [cit. 6.4.2020]. ISSN 2096-5117. Dostupné prostřednictvím Science Direct z: doi: 10.1016/j.gloi.2019.07.003
- [43] Airquality news.com. Beijing is in EV capital of the world [online], [cit. 6.4.2020], Dostupné z: <https://airqualitynews.com/2019/05/30/beijing-is-the-ev-capital-of-the-world/>
- [44] HUANG, Yantao, KOCKELMAN, Kara M.. Electric vehicle charging station locations: Elastic demand, statio congestion, and network equilibrium [online]. 26 November 2019, **78** (2020), 1-16 [cit. 8.4.2020]. ISSN 1361-9209. Dostupné prostřednictvím Science Direct z: doi.org/10.1016/j.trd.2019.11.008
- [45] FREDRIKSSON, Henrik, DAHL, Mattias, HOLMGREN, Johan. Optimal placement of charging station for electric vehicles in large-scale [online]. 4 November 2019, **160** (2019), 77–84 [cit. 8.4.2020]. ISSN 1877-0509. Dostupné prostřednictvím Science Direct z: doi: 10.1016/j.procs.2019.09.446
- [46] LUNER, Petr. Jemný úvod do genetických algoritmů [online], [cit. 8.4.2020], Dostupné z: <https://cgg.mff.cuni.cz/~pepca/prg022/luner.html>
- [47] KUDOVA, Petra. Genetický algoritmus [online], [cit. 8.4.2020], Dostupné z: <http://www.cs.cas.cz/~petra/diplomka/text/node29.html>
- [48] THOMAS, Polly, CHACKO, Fossy Mary. Electric vehicle integration to distribution grid ensuring quality power exchange [online]. 10 January 2014, **14** (2018), 1–6 [cit. 12.4.2020]. ISSN 978-1-4799-3612-0. Dostupné prostřednictvím Research Gate z:

- doi: 10.1109/EPSCION.2014.6887512
- [49] GARCÍA-LÓPEZ, Francisco de Paula, BARRAGÁN-VILLAREJO, Manuel, MAZA-ORTEGA, José María. Grid-friendly integration of electric vehicles fast charging station based on multiterminal DC link [online]. 5 July 2019, **114** (2020), 1-15 [cit. 15.4.2020]. ISSN 0142-0615. Dostupné prostřednictvím Science Direct z: doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.05.078
- [50] SADEGHI-BARZANI, Payam, RAJABI-GHAHNAVIEH, Abbas, KAZEMI-KAREGAR, Hosein. Optimal fast charging station placing and sizing [online]. 19 April 2014, **125** (2014), 289-299 [cit. 15.4.2020]. ISSN 0142-0615. Dostupné prostřednictvím Science Direct z: doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.077
- [51] U.S. Department of Transportation. Traffic Data Computation Method POCKET GUIDE [online], August 2018 [cit. 26.4.2020], Publication number: FHWA-PL-18-027. Dostupné z: https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/pubs/pl18027_traffic_data_pocket_guide.pdf
- [52] PAVLÍČEK, Jiří. Snižovací pulzní měnič [online], [cit. 2.5.2020], Dostupné z: <https://www.educon.zcu.cz/view.php?cislomodulu=2005022202>
- [53] RYBOVÁ, Kristýna. Bakalářská práce Simulační modely pulzních měničů [online], Západočeská univerzita v Plzni Fakulta elektrotechnická 2014 [cit. 2.5.2020], Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/14239/1/BP_Kristyna_Rybova_Simulacni_modely_pulznich_menicu.pdf
- [54] DOBRZANSKI, Damian. Overview and characteristics of the EV fast charging connector systems [online], Politechnika Lubelska, **2017** (115), 91-96 [cit. 3.5.2020], Publication number: 3. Dostupné z: http://www.komel.katowice.pl/ZRODLA/FULL/115/ref_15.pdf
- [55] DOMINGUESS-OLAVARRÍA, Gabriel, MÁRQUEZ-FERNÁNDEZ, Francisco J., FYHR, Pontus, REINAP, Avo, ALAKULA, Mats. Electric Roads: Analyzing the Societal Cost of Electrifying All Danish Road Transport [online]. 7 June 2018, **2018** (9), 1–11 [cit. 5.5.2020]. ISSN neuvedeno . Dostupné prostřednictvím MDPI z: doi:10.3390/9010009
- [56] ALAKULA, Mats, MÁRQUEZ-FERNÁNDEZ, Francisco J.. Dynamic charging solutions in Sweden: An overview [online]. 26 October 2017, st. neuvedeny [cit. 6.5.2020]. ISSN neuvedeno. Dostupné prostřednictvím Science Direct z: DOI: 10.1109/ITEC-AP.2017.8080781
- [57] ALDAMMAD, Mohammad, ANANIEV, Anani, KALAYKOV, Ivan. Current Collector for Heavy Vehicles on Electrified Road: Field Tests [online], June 2016, **1**, 1751-1757 [cit. 7.5.2020], Dostupné z: http://www.union-services.com/aevs/14_1751.pdf
- [58] BI, Zicheng, SONG, Lingjung, DE KLEINE, Robert, MI, Chunting Chris, KEOLEIAN, Gregory A.. Plug-in vs. Charging: Life Cycle Energy and Greenhouse Gas Emissions for an Electric Bus System [online]. May 2015, **146**, 11–19 [cit. 13.5.2020]. ISSN neuvedeno . Dostupné prostřednictvím Reseach Gate z: DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.02.031
- [59] neuveden. Controller Area Network Systém sériových sběrnic navržený speciálně pro použití v autech [online], [cit. 22.5.2020], Dostupné z: http://sevcikpeta.wz.cz/downloads/24_CAN%20Bus.pdf
- [60] NOUVEL, Fabienne, TANGUY, Philippe. In Vehicle Communication Networks: A Power Line Communication Study and Demonstrator for Infotainment Applications [online]. ICSNC 2014, January 2011, 79–85 [cit. 22.5.2020]. ISSN 978-1-61208-

- 368-1. Dostupné prostřednictvím Reseach Gate z: DOI: 10.1109/URSIGASS.2011.6050726
- [61] Power-line communication [online], [cit. 22.5.2020], Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Power-line_communication
- [62] Vector. Convenient Charging of Electric Vehicles [online], [cit. 22.5.2020], Dostupné z: https://assets.vector.com/cms/content/know-how/_technical-articles/MicrosarIP_ElektronikAutomotive_201107_PressArticle_EN.pdf
- [63] SAE International [online], [cit. 22.5.2020], Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_International
- [64] neuveden. A Survey of Automotive Networking Applications and Protocols [online], [cit. 22.5.2020], Dostupné z: http://users.sussex.ac.uk/~zs70/files/Survey_automotive_networking_report_zsheng.pdf
- [65] OBERMAISSER, Roman. Time-Triggered Communication. Taylor & Francis Group, 2012, str. 94. ISBN 978-1-4398-4662-9
- [66] DOCPLAYER. CAN BUS [online], [cit. 22.5.2020], Dostupné z: <https://docplayer.cz/23936760-1-can-bus-obr-1-1-datova-sbernice-can-struktura-ridici-jednotky-s-podpurnymi-obvody-pro-can-je-zobrazena-na-nasledujicim-obrazku.html>
- [67] CAN bus [online], [cit. 22.5.2020], Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus
- [68] Local Interconnect Network [online], [cit. 23.5.2020], Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Local_Interconnect_Network
- [69] Sběrnice a komunikace FlexRay nejen pro automobily [online], [cit. 24.5.2020], Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/sbernice-komunikace-flexray-nejen-pro-automobily>
- [70] TDMA [online], [cit. 24.5.2020], Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/TDMA>
- [71] ČTENÁŘSKÝ SERVIS. Možnost dekódování automobilových sběrnic FlexRay [online], ST 7/ 2011 ,str. 1 [cit. 24.5.2020], Dostupné z: www.stech.cz
- [72] Použití komunikace FlexRay a integrované řadiče Freescale [online], vyvoj.hw.cz [cit. 25.5.2020], Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/soucastky/pouziti-komunikace-flexray-a-integrované-radice-freescale.html>
- [73] HomePlug [online], [cit. 26.5.2020], Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/HomePlug>
- [74] MAJUMDER, Anindya, CAFFERY, James, SAMJANI, Azim A., SHETTY, Rahul R., MATHEW, Rohit George. Power line communication: An overview [online]. November 2004, 4–13 [cit. 26.5.2020]. ISSN 0278-6648. Dostupné prostřednictvím Reseach Gate z: DOI: 10.1109/MP.2004.1343222 · Source: IEEE Xplore
- [75] Jak cestuje digitální vysílání za svými diváky? [online], LUPA.CZ [cit. 26.5.2020], Dostupné z: <https://www.lupa.cz/clanky/jak-cestuje-digitalni-vysilani-za-svymi-divaky>
- [76] What is Inter Symbol Interference (ISI) ? [online], [cit. 26.5.2020], Dostupné z: <http://www.techplayon.com/inter-symbol-interference-isi-lte-cyclic-prefix-cp-helps-eliminating-isi-problem>
- [77] Concepts of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) and 802.11 WLAN [online], [cit. 26.5.2020], Dostupné z: http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600B/WebHelp/Subsystems/wlan-ofdm/content/ofdm_basicprinciplesoverview.htm
- [78] Wireless Local Area Network (WLAN) [online], [cit. 30.5.2020], Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/5107/wireless-local-area-network-wlan>

- [79] Wireless LAN [online], [cit. 30.5.2020], Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN
- [80] IEEE 802.11 [online], [cit. 30.5.2020], Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- [81] Všechno, co byste měli vědět o Wi-Fi [online], [cit. 30.5.2020], Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/vsechno-co-byste-meli-vedet-o-wi-fi/sc-3-a-162796/default.aspx>
- [82] PEER-TO-PEER SÍŤE: JAK FUNGUJÍ A KDE JE PROBLÉM [online], [cit. 30.5.2020], Dostupné z: <https://bezpecne-online.saferinternet.cz/surfuj-bezpecne/sosani-a-sdileni-dat/item/155-peer-to-peer-site-jak-funguji-a-kde-je-problem>
- [83] List of WLAN channels [online], [cit. 30.5.2020], Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_WLAN_channels
- [84] Wireless LAN: Teorie vs. Praxe [online], [cit. 31.5.2020], Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/wireless-lan-teorie-vs-praxe/sc-3-a-108434/default.aspx>
- [85] frequency-hopping spread spectrum [online], [cit. 31.5.2020], Dostupné z: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/frequency-hopping-spread-spectrum>
- [86] CSMA/CA: definition and explanation of the method [online], [cit. 31.5.2020], Dostupné z: <https://www.ionos.com/digitalguide/server/know-how/csmaca-carrier-sense-multiple-access-with-collision-avoidance/>
- [87] Wi-Fi Wreless LAN [online], [cit. 31.5.2020], Dostupné z: <http://wi-fi.unas.cz/>
- [88] Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Overview in a simple way [online], [cit. 31.5.2020], Dostupné z: https://www.electronicshobby.com/2016/08/orthogonal-frequency-division_19.html
- [89] WATSON, Neville, MILLER, Allan. Rapid EV Chargers: Implementation of a Charger [online]. June 2016, 1-17 [cit. 7.6.2020], Dostupné prostřednictvím Reseach Gate z: <https://www.researchgate.net/publication/319162700>
- [90] CHAdEMO: High Power [online], [cit. 10.6.2020], Dostupné z: <https://www.chademo.com/technology/high-power>
- [91] ČSN EN 61851-23. Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením – Část 23: DC nabíjecí stanice. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [92] Sok [online], [cit. 16.6.2020], Dostupné z: <https://www.bilbatteri24.no/products/mennekes-basic-e-type2-mkabel-75m-74kw>