

Pracoviště: Regionální inovační centrum elektrotechniky
Výzkumná zpráva č.: 22190 - 25 - 2015

Přehledová studie nabíjecích stanic pro elektrická vozidla lehké trakce (2015)

Druh úkolu: Vědecko-výzkumný
Řešitelé: Ing. Vojtěch Blahník, Ph.D., Ing. Martin Jára
Vedoucí úkolu: prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
Počet stran: 23
Datum vydání: prosinec 2015
Revize: 1

Práce vznikla s podporou projektu TA ČR TE01020038 (CKDV) a
CZ.1.05/2.1.00/03.094 Regionální inovační centrum elektrotechniky (RICE)

Anotace

Tato výzkumná zpráva zpracovává základní přehled topologií výkonových měničů určených jako nabíjecí stanice pro lehká trakční elektrická vozidla. Zpráva zpracovává a třídí nejnovější poznatky uvedených topologií k roku 2015. Součástí zprávy je základní rozdělení, shrnutí publikovaných známých topologií.

Seznam symbolů a zkratek

AC/DC	Polovodičový měnič pro přeměnu střídavé el. energie na stejnosměrnou
DC/DC	Polovodičový měnič pro přeměnu stejnosměrné el. energie na stejnosměrnou
TB	Trakční baterie
SAE	Society of Automotive Engineers
BESS	Battery energy storage system
STATCOM	Static synchronous compensator
CHAdeMO	O cha demo ikago desuka
OCS	Opportunity charging system
MVDC	Medium voltage direct current

Obsah

1	ÚVODNÍ SPECIFIKACE NABÍJECÍCH STANIC PRO ELEKTRICKÁ VOZIDLA LEHKÉ TRAKCE	4
2	ZÁKLADNÍ DĚLENÍ NABÍJECÍCH STANIC	6
3	KLASICKÉ NABÍJECÍ STANICE.....	7
4	ULTRA RYCHLÉ NABÍJECÍ STANICE	15
5	ZÁVĚR.....	18

1 Úvodní specifikace nabíjecích stanic pro elektrická vozidla lehké trakce

Elektrickým vozidlem lehké trakce se myslí například plně bateriová tramvaj nebo trolejbus, vozidlo je kompletně napájeno z trakčních baterií, případně jiných zásobníků energie, umístěných, přímo ve vozidle. Předpokládaný výkon jednoho vozidla je možné uvažovat v rozsahu desítek až stovek kilowatů. Předpokládaná kapacita baterie může být značně rozdílná podle konkrétního řešení dané dopravní linky v závislosti na rozložení nabíjecích míst, profilu trati a dalších a může se pohybovat až ve stovkách kWh.

Technologie nabíjení elektrických vozidel je stále v začátcích. V současné době existuje celá řada technologií používaných v závislosti na místní legislativě a regulaci. K nim lze řadit například japonský CHAdeMO standard, Society of Automotive Engineers (SAE) International J1772 Combo standard nebo IEC 61851-1:2010 conductive charging standard.

Obecně je kategorizace nabíjecích stanic podle SAE a IEC založena na výkonových úrovních tzv. levelech 1-3 (SAE J1772 2009, viz [1]).

	Level 1 Charging	Level 2 Charging	DC Fast Charge (Level 3)
Voltage	Single Phase AC, 120V	Single or Three Phase AC, 240V	Direct Current DC, 200-600V
Peak Current	16A	80A (since 2009)	400A
Maximum Power	1.92kW	19.2kW	240kW
Charging Station	grounded receptacles for domestic application, domestic socket outlet, or Level 1 charging station	Level 2 charging station, cable permanently fixed to charging station	Level 3 charging station
Coupler/Connector	domestic power cord, SAE J1772	IEC 62196-2 Type 2, IEC 62196-2 Type 3, etc.	SAE J1772 Hybrid Coupler, CHAdeMO, etc.
Charge times	6h (PHEV) to 24h (BEV)	2h (PHEV) to 8h (BEV)	10min (PHEV) to 30min (BEV)

Obr. 1 - Kategorizace výkonových nabíjecích úrovní podle SAE J1772 (2009) [1]

Detailní přehled úrovní 1-3 spolu s popisem standardizovaných konektorů lze nalézt v [1] a [2]. V literatuře je dále zmiňován level 4, zpravidla jako stejnosměrné nabíjecí místo s výkonem nad 240kW. Ten je zároveň volně zaměňován za pojmy jako superfast charging pokud je nabíjecí doba vozidla pod tři minuty (v analogii k průměrné době zastávky na čerpací stanici klasických automobilů) případně ultrafast charging, pokud je doba nabíjení pod minutu.

Tato zpráva je zaměřena pouze na nabíjecí stanice obsahující výkonový měnič a jejich výstup je stejnosměrný určený přímo pro nabíjení trakční baterie (TB). Nejedná se tedy o připojovací místa se střídavým výstupem, kde samotné nabíjení baterie je realizováno skrze měnič umístěným ve vozidle. Jedná se tedy o stanice level 3 a 4.



Obr. 2 - Nabíjecí stanice v čínském Zhanjiang (vlevo)[4] a Ningbo (vpravo)[5].



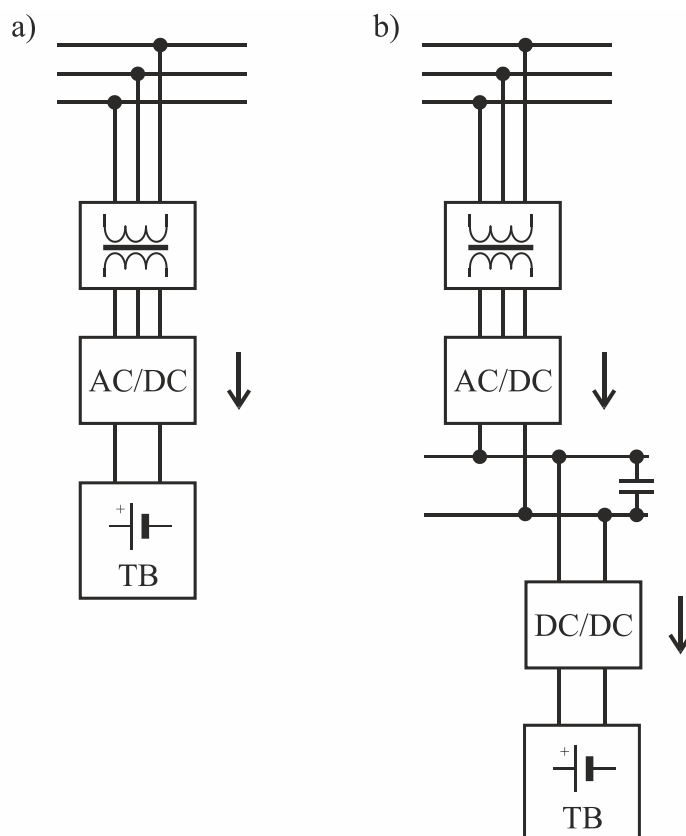
Obr. 3 - Nabíjecí stanice Opbrid Busbaar ve Švédsku [6], vpravo systém V3 s výkonem 650kW.

Provedení stanic je různorodé a k nabíjení vozidel lehké trakce lze použít stávající level 3 stanice se standardní zásuvkou (Obr. 2 vlevo) nebo s proprietárními sběrači (Obr. 2 vpravo). Na posledním jmenovaném obrázku je zobrazen autobus firmy Zhuzhou Electric Locomotive ve městě Ningbo (Čína) s organickými superkapacitami. Podle prohlášení výrobce je vozidlo schopné dojet 5km po méně než 10 sekundách rychlonabíjení [5]. V EU získává na popularitě otevřený standard OCS (Opportunity charging system) od firmy Volvo, podpořený rovněž společnostmi jako Opbrid, Siemens, Schaffer a ABB [6][7].

2 Základní dělení nabíjecích stanic

Jak již bylo zmíněno, nabíjecí stanice lze dělit na klasické nabíjecí (level 3) stanice a ultra rychlé nabíjecí stanice (ultra fast charging station). V případě klasické nabíjecí stanice je z napájecí sítě přenášen výkon úměrný aktuální potřebné energii pro nabíjení baterie elektrického vozidla. To znamená, že výkonový usměrňovač (a tedy i polovodičové prvky) musí být navržen na plný výkon nabíjecí stanice. V případě ultra rychlé nabíjecí stanice je dále zpravidla využívána akumulace elektrické energie přímo v nabíjecí stanici (jako akumulátory energie se nejčastěji využívají baterie). To sebou přináší možnost nabíjení akumulátorů stanice po delší dobu a tedy i nižším výkonem (většinou konstantním) a v případě potřeby nabití elektrického vozidla za co nejrychlejší možný čas (který umožňují baterie vozidla) za pomoci výkonového měniče navrženého již na plný výkon.

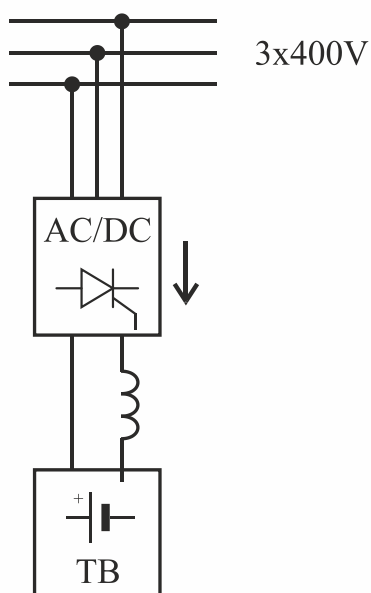
Druhý možný způsob dělení je na individuální (separátní nebo jednobuněčné) nabíjecí stanice a na sdílené (vícebuněčné – s větším počtem míst k nabíjení). V prvním případě se jedná o nabíjecí stanice, kde jedna měničová soustava – jedna stanice nabíjí právě jedno elektrické vozidlo (Obr. 4a), takže v případě potřeby nabíjení vyššího počtu vozidel je nutné použití ekvivalentní počet nabíjecích stanic. V druhém případě je stanice schopná nabíjet větší počet elektrických vozidel avšak k napájecí síti je připojena pomocí jednoho výkonového měniče. Základní blokové schéma pro individuální i sdílenou nabíjecí stanici je představeno na Obr. 4. V případě sdílené nabíjecí stanice (Obr. 4b) je možné využít oba typy nabíjecích stanic klasické a ultra rychlé nabíjecí stanice (u ultra rychlé nabíjecí stanice stačí dodat vhodný akumulární prvek do DC obvodu).



Obr. 4 - Blokové schémata nabíjecích stanic: a) individuální nabíjecí stanice, b) sdílená nabíjecí stanice

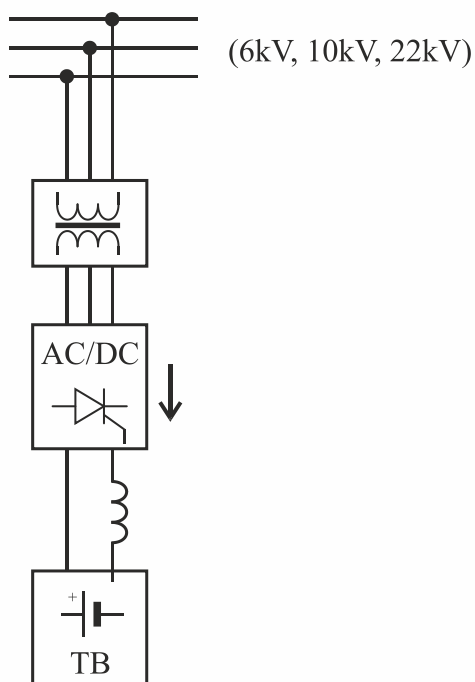
3 Klasické nabíjecí stanice

Klasické nabíjecí stanice jsou z hlediska topologie většinou nejjednodušší. Protože je možné vynechat prvek pro akumulaci velkého množství energie, což vede i na snížení pořizovací ceny. Při realizaci klasické nabíjecí stanice je možné použít měnič proudového i napěťového typu. Nejjednodušší možná topologie je pak uvedena na Obr. 5, kde je přímo na síť 400V připojen řízený usměrňovač, který napájí přímo trakční baterii přes indukčnost (pro vyhlazení proudu). Předpokládaný typ AC/DC měniče je tyristorový půlmůstek, případně plně řízený tyristorový usměrňovač (zde bude záležet hlavně na ceně), protože se nepředpokládá přenos energie z baterie do sítě. Nevýhoda této topologie je v přenášení malého výkonu, který je dán možnostmi distribuční sítě 3x400V v místě instalace. Dále zde není realizováno galvanické oddělení (v případě poruchy by vozidlo bylo na potenciálu napájecí sítě).

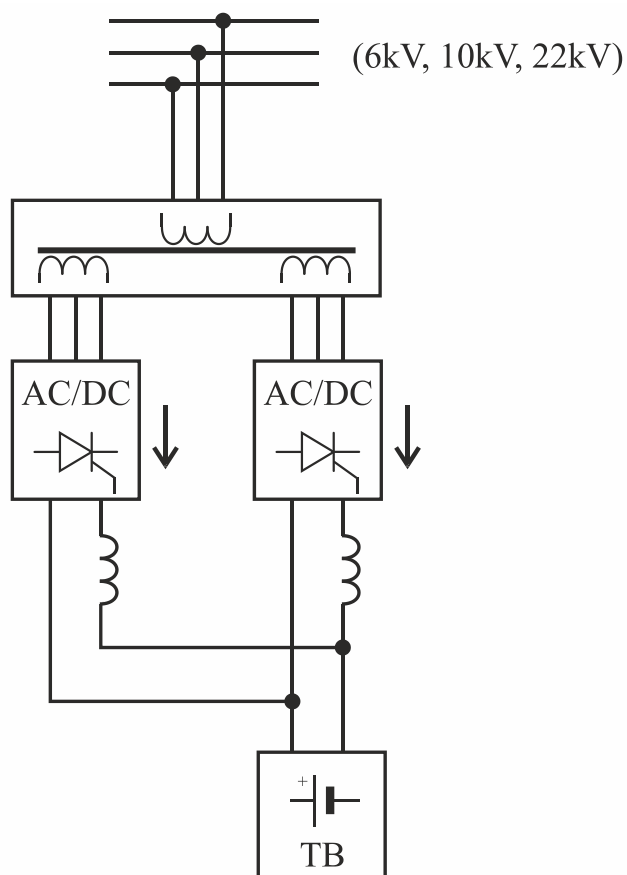


Obr. 5 - Blokové schémata nabíjecích stanic: a) individuální nabíjecí stanice, b) sdílená nabíjecí stanice

Reálněji použitelná možnost je pak připojení AC/DC měniče přes snižovací transformátor na distribuční síť vysokého napětí (6kV, nebo 10kV, nebo 22kV), jak je znázorněno na Obr. 6. V tomto případě je nutné řešit typ transformátoru (zapojení a převod, který je dán požadovaným výstupním napětím). V případě požadavku na větší výkon napájecí stanice, je žádoucí použít paralelní spojení usměrňovačů, kde je možné využít tzv. přesazené řízení. Tento typ zapojení zajišťuje vyšší kvalitu proudu odebíraného z napájecí sítě. Základní blokové schéma takovéto stanice je uvedeno na Obr. 7.



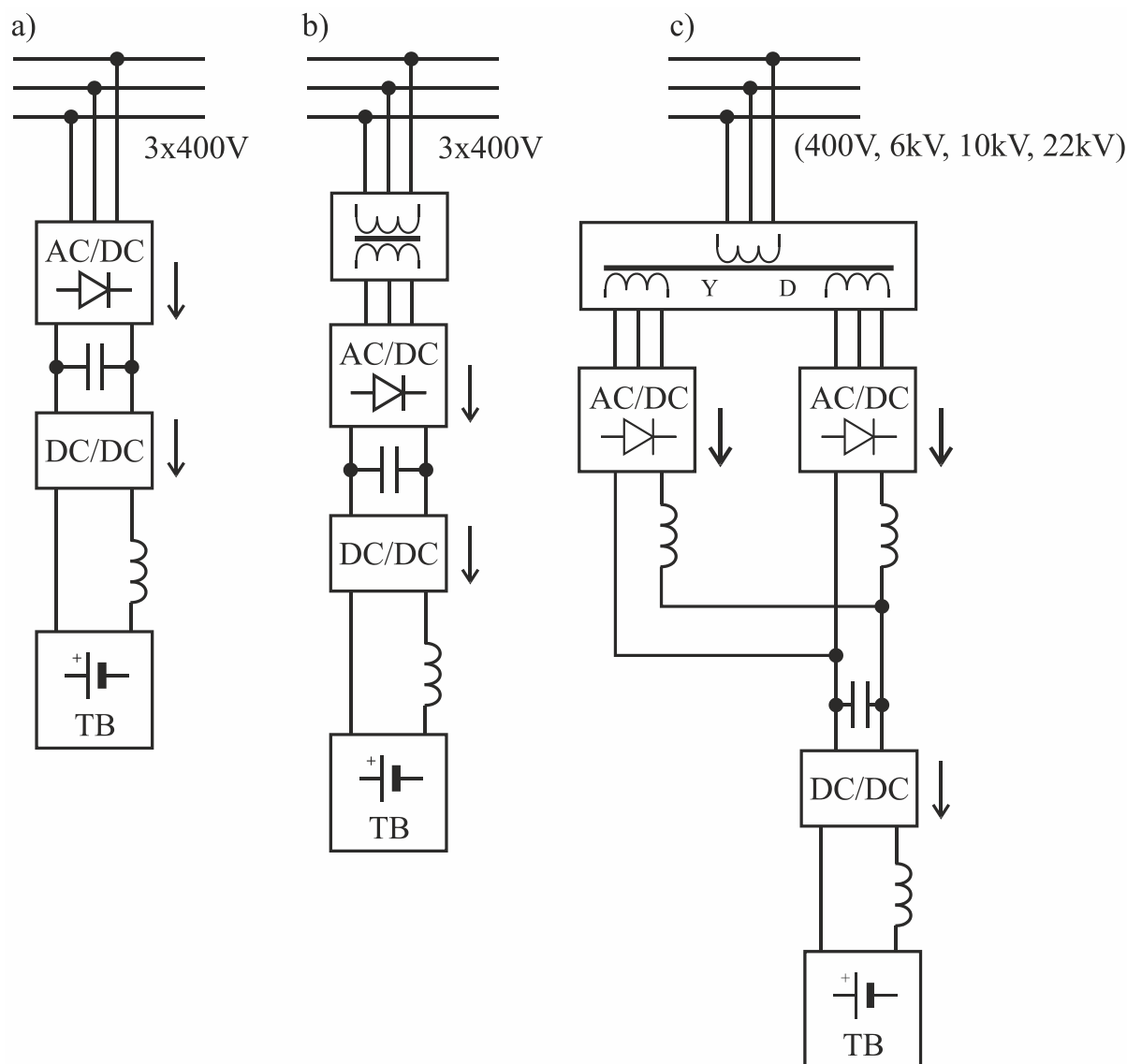
Obr. 6 - Blokové schéma tyristorové nabíjecí stanice připojené přes transformátor



Obr. 7 - Blokové schéma nabíjecí stanice s paralelním spojením tyristorových usměrňovačů

Při volbě měniče pro napájecí stanici je možnost nasazení proudového typu usměrňovače (tyristorového), nebo i napěťového. Bloková schémata klasických nabíjecích stanic s použitím proudového typu usměrňovače byly již představeny na obrázcích Obr. 5, Obr. 6 a Obr. 7.

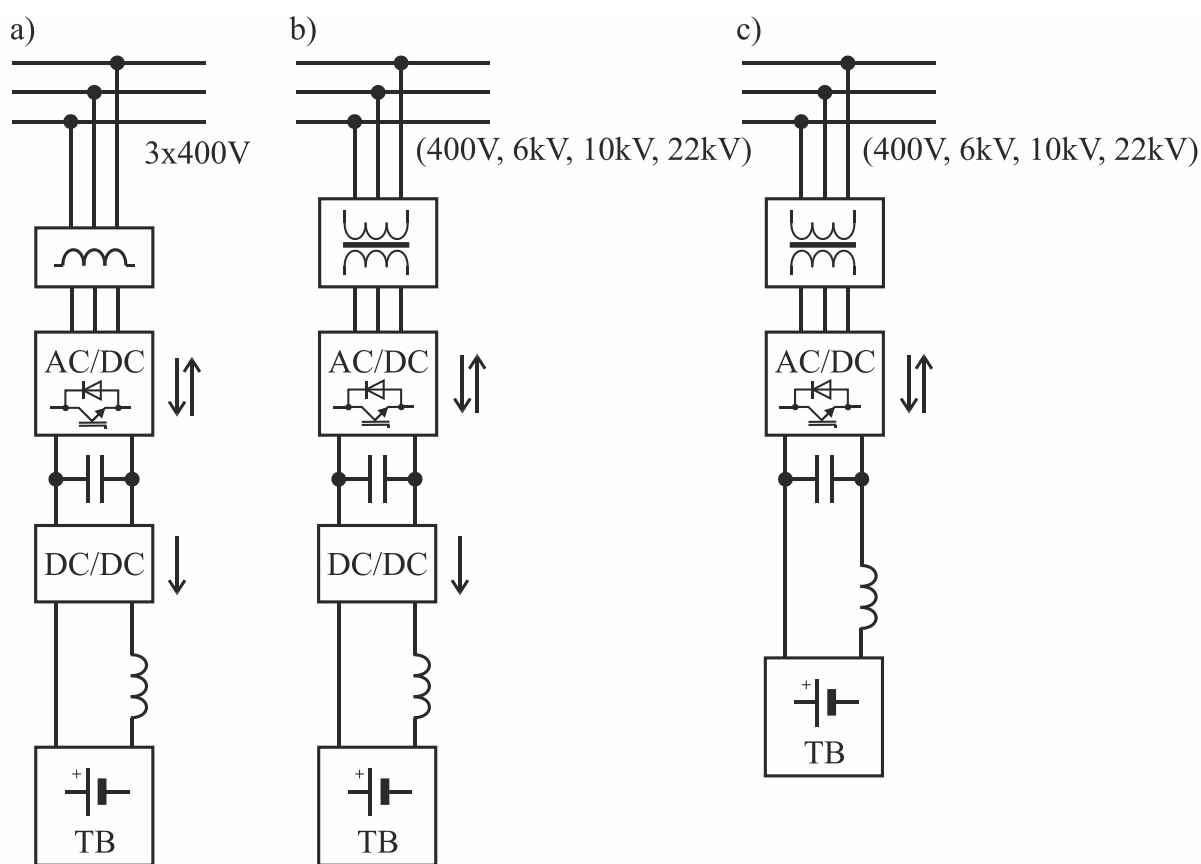
Zajímavou variantou vstupního měniče může být měnič napěťového typu (řízený i neřízený). Z hlediska jednoduchosti a dobré řiditelnosti je vhodné vstupní usměrňovač doplnit o řízený DC/DC měnič (který zajišťuje bezproblémové řízení napětí i proudu). Na Obr. 8 je uvedeno schéma základní topologie napájecí stanice s měničem napěťového typu, v tomto případě s diodovým usměrňovačem (jako AC/DC měničem) a to ve variantách: a) bez transformátoru – napětí a proud při nabíjení trakční baterie je řízeno pouze DC/DC měničem, b) s transformátorem – který plní funkci galvanického oddělení a umožňuje změnu napětí na vhodnou velikost, napětí a proud trakční baterie je opět řízen pouze DC/DC měničem, c) s transformátorem a dvěma paralelně pracujícími usměrňovači – varianta pro vyšší výkony, kde se vhodným hodinovým číslem transformátoru zlepšuje výsledná křivka proudu odebíraného z napájecí sítě. Nevýhoda první varianty (Obr. 8a) je v tom, že vozidlo při nabíjení není galvanicky odděleno od napájecí sítě (v případě poruchy AC/DC měniče se může dostat potenciál sítě přímo na trakční baterii). Nevýhoda všech variant spočívá v nemožnosti řídit křivku odebíraného proudu ze sítě, což vede na neharmonický proud s obsahem vyšších harmonických, jak je detailně vysvětleno v [8]. Parametry varianty c) vykazují příznivější hodnoty viz. [9]. Problematický stav je také startovní nabití kondenzátoru po připojení měniče k napájecí síti (nenabitý kondenzátor se chová jako zkrat, což vede na veliký proudový ráz).



Obr. 8 - Bloková schémata nabíjecích stanic se vstupním diodovým usměrňovačem: a) bez transformátoru, b) s transformátorem, c) s transformátorem a paralelním spojením usměrňovačů

V případě požadavku na možnost řízení odebíraného proudu ze sítě je vhodná varianta s napěťovým pulzním usměrňovačem jako vstupním AC/DC měničem, jak je blokově znázorněno na Obr. 9 (opět ve variantě bez transformátoru a s transformátorem). Výhodou pulzního usměrňovače je navíc možnost zvýšení výstupního napětí a jeho přesné řízení na požadovanou hodnotu napětí. Problematický stav s nabitím kondenzátoru po připojení měniče k napájecí síti, zde přetrvává (prvotní nabití je realizováno, bez řízení pouze přes diody). Výhodou pulzního usměrňovače je i v možnosti přenášení výkonu zpět do napájecí sítě (v případě požadavku na zálohu –backup sítě – tato možnost přichází v úvahu pro ultra

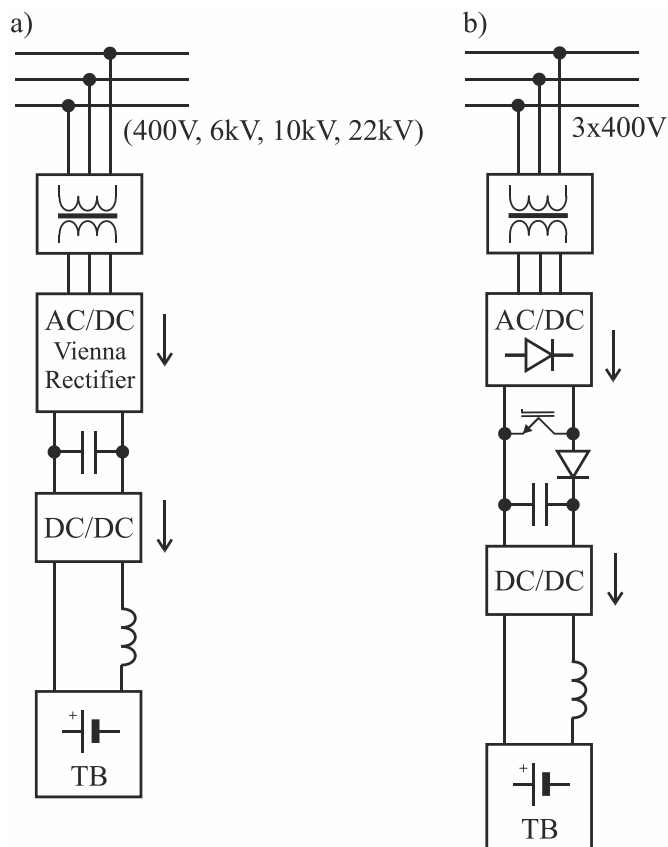
rychlé napájecí stanice kde je DC obvod doplněn dostatečně velikým úložištěm energie). Varianta znázorněná na Obr. 9c představuje připojení pulzního usměrňovače přes transformátor, který vhodně přizpůsobí napěťovou hladinu, aby pak pomocí řízení výstupního napětí pulzního usměrňovače bylo možné řídit napětí a proud podle potřeb nabíjení trakční baterie. V této variantě by bylo velice problematické (pomalé) řízení nabíjecího proudu TB, které je zprostředkováno řízením napětím na kondenzátoru (dlouhá časová konstanta).



Obr. 9 - Bloková schémata nabíjecích stanic se vstupním napěťovým pulzním usměrňovačem:
 a) bez transformátoru, b) s transformátorem, c) s transformátorem bez výstupního DC/DC měniče

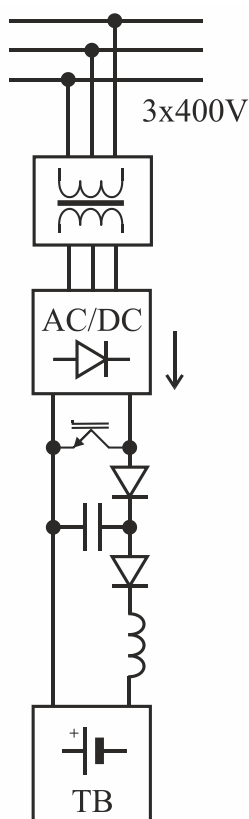
Při požadavku na co nejlevnější vstupní AC/DC měnič je možné nahradit pulzní usměrňovač tzv. Vienna usměrňovačem, který zachová většinu výhod pulzního usměrňovače, ale neumožňuje rekuperaci energie, zjednodušené blokové schéma na Obr. 10a. Další možná zjednodušená varianta měniče je uvedena na Obr. 10b. Tato varianta umožňuje řízení

výstupního napětí AC/DC měniče na vyšší hodnotu a v případě složitějšího řízení umožňuje omezené řízení odebíraného proudu.



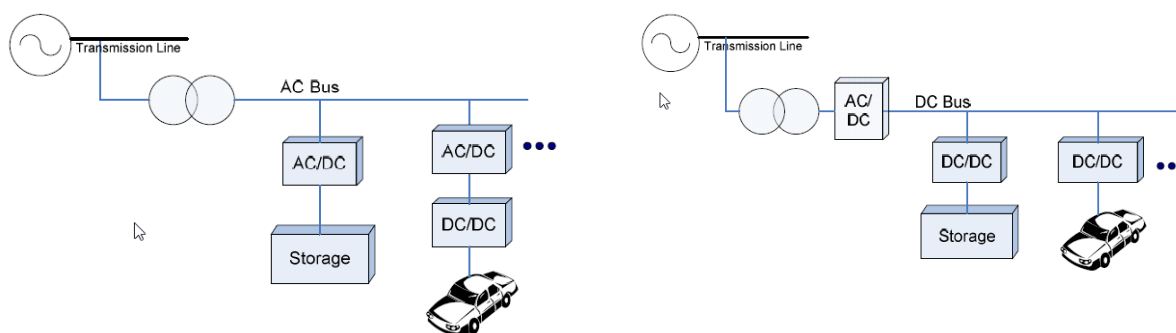
Obr. 10 - Bloková schémata nabíjecích stanic: a) se vstupním Vienna usměrňovačem a výstupním DC/DC měničem, b) se vstupním usměrňovačem s řízeným napětím a výstupním DC/DC měničem

Při požadavku na maximální zjednodušení (a zlevnění) celého topologie nabíjecí stanice je možné uvažovat o odstranění DC/DC měniče (zajišťuje řízení napětí a proudu podle požadavku trakční baterie). Pak je nutné vhodně zvolit převod transformátoru a řídit napětí a proud pro nabíjení trakční baterie pouze jedním IGBT tranzistorem, jedná se o nevyzkoušenou variantu, jejíž blokové schéma je uvedeno na Obr. 11. V této variantě by bylo opět velice problematické (pomalé) řízení nabíjecího proudu TB, které je zprostředkováno řízením napětím na kondenzátoru (dlouhá časová konstanta).



Obr. 11 - Bloková schémata nabíjecích stanice ve zjednodušené variantě se vstupním usměrňovačem s řízeným napětím a bez výstupního DC/DC měniče

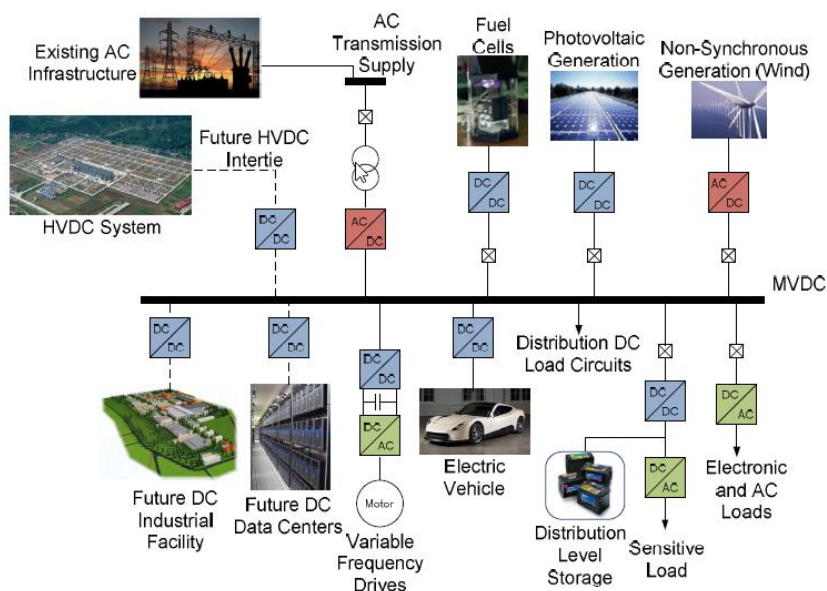
Při návrhu fast charging stanice je třeba brát v úvahu vliv stanice na distribuční síť. Problematikou THD a aktivní kompenzace účinníku se zabývají práce [10] a [11]. V [12] jsou analyzovány harmonické ztráty v nelineárních distribučních transformátorech. K minimalizaci stresu na distribuční síť lze přispět využitím vlastních zásobníků energie (typicky baterií) jak je zpracováno v [13] Obr. 12.



Obr. 12 - Architektury stanic se zásobníky energie [13]

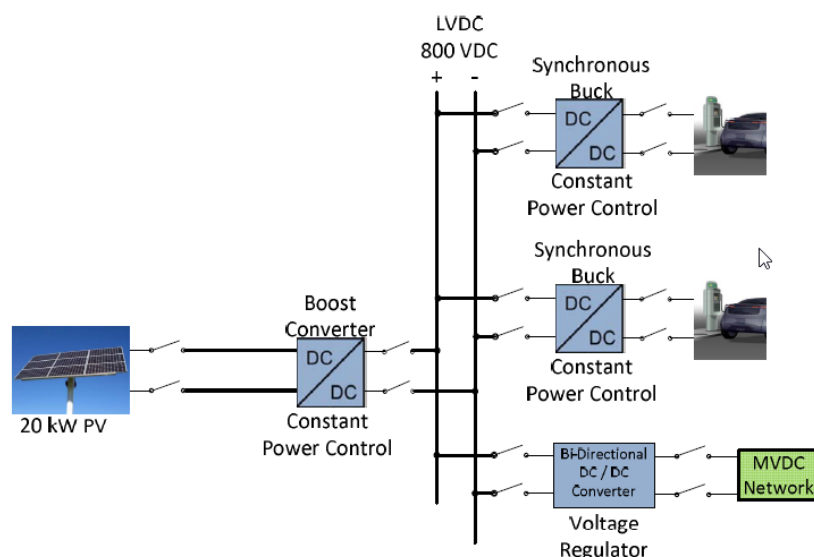
4 Ultra rychlé nabíjecí stanice

Ultra rychlé nabíjecí (ultra fast - UF) stanice jsou složeny ze vstupního AC/DC měniče DC linku, kde je vzhledem k vysokým výkonům realizována akumulace energie a DC/DC měniče určeného pro nabíjení trakční baterie. Lze je opět realizovat jako individuální i sdílené. Jako část pro akumulaci elektrické energie se nejčastěji využívají baterie, tak je umožněno nabíjení těchto akumulátorů po delší dobu při sníženém výkonu. Hlavní výhodou je tedy snížení výkonu (a tedy i ceny) vstupního AC/DC měniče a především snížení požadavků na velikost proudu pro připojení napájecí stanice, dále pak možnost rozložení nabíjení do vhodných časových úseků (např. nabíjení v průběhu nižších cen elektrické energie. Při návrhu AC/DC měniče je vhodné specifikovat, jestli se bude nabíjecí stanice provozovat i jako záloha sítě (tzv. backup sítě), neboť měničovou sestavu stanice lze realizovat podobnými, běžně průmyslově používanými bloky STATCOM nebo BESS [15]. Výstupní DC/DC měnič určený pro nabíjení trakční baterie je nutné navrhnout na plný výkon využitý během nabíjení trakční baterie. Vzhledem k vysokým nabíjecím výkonům mohou být UF stanice řešeny jako součást lokální sítě středního napětí [16][17] (MVDC), ke které je připojena řada dalších průmyslových odběrných míst a která je napájena z přenosových soustav a zároveň z lokálních alternativních zdrojů energie jak je znázorněno na Obr. 13.



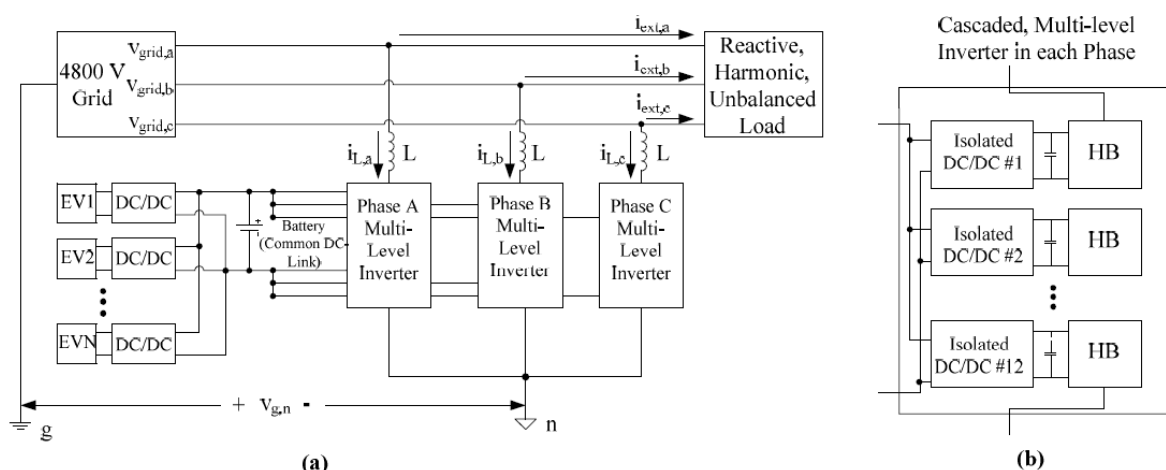
Obr. 13 - Architektura s lokální sítě středního napětí [16]

Vlastní blokové schéma stanice (Obr. 14) pak obsahuje vlastní nízkonapěťovou stejnosměrnou sběrnici (generovanou z lokální MVDC), ke které mohou být dále připojena nízkovýkonové alternativní zdroje, případně zásobníky energie. Návrhy [16][17] počítají ve svých simulacích instalovaným výkonem větrných elektráren 20MW a lokální sítě středního napětí 5kV_{AC}.



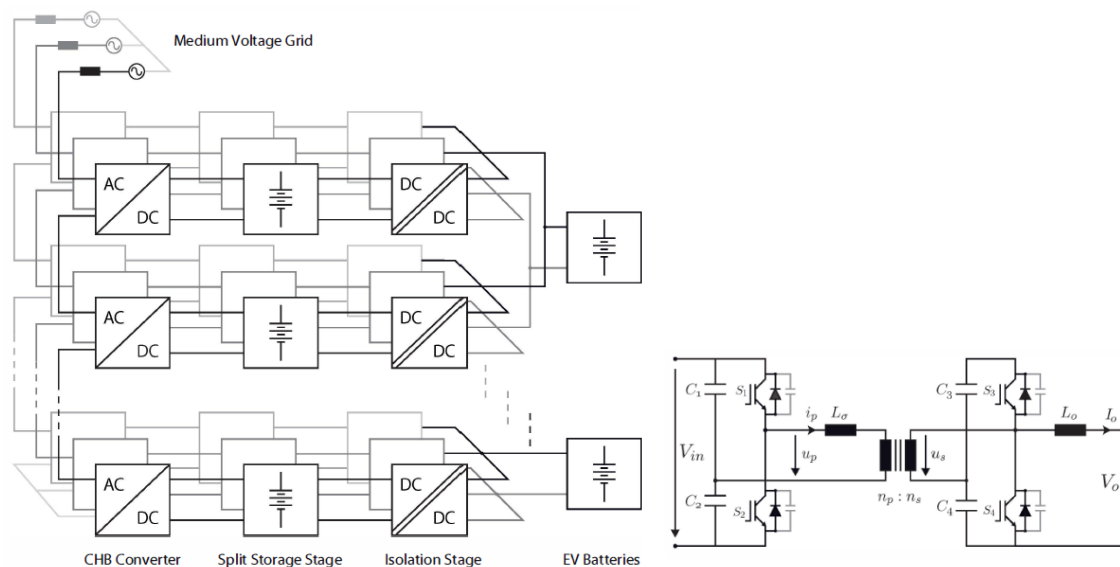
Obr. 14 - Blokové schéma vlastní stanice [16]

Měniče pro konverzi MVDC na stejnosměrné napětí sběrnice vlastní sítě (obvykle 600-800V) mohou zahrnovat transformátor nebo víceúrovňové měniče. Častou v literatuře zmiňovanou variantou jsou kaskádně řazené H-můstky. Práce [18] se zabývá návrhem měniče pro stanici o výkonu 2,4MW (šest vozidel po 400kW) s topologií podle Obr. 15 popisuje vhodný řídicí algoritmus a modulaci pro účinnost nad 99% s redukovánými spínacími ztrátami.



Obr. 15 - Blokové schéma nabíjecí stanice [18](a), topologie jedné fáze (b)

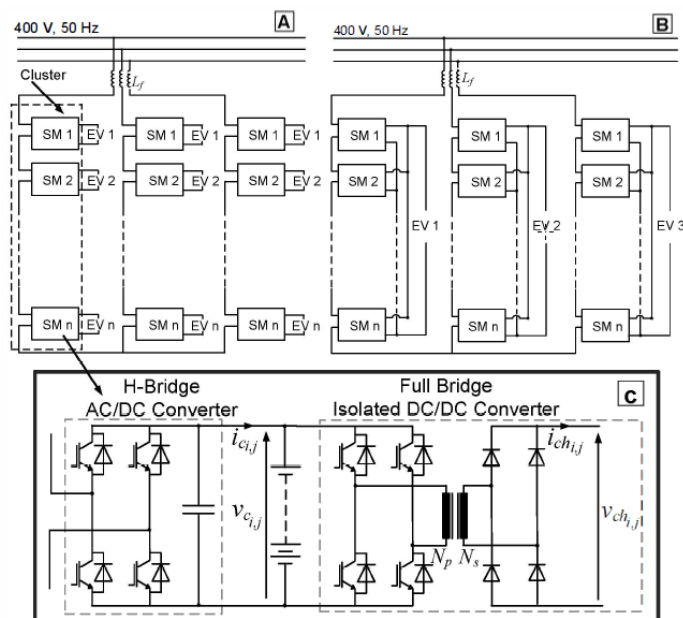
Obdobně práce [19][20] řeší připojení UF stanice k síti 11kV_{AC} se třemi nabíjecími porty s maximálním výstupním výkonem 250kW/port. Baterie jsou tentokrát součástí každé ze třinácti buněk měniče, které se skládají z můstkového pulsního usměrňovače, meziobvodu s baterií a izolujícího měniče s topologií dvojitého půlmůstku s proudovým výstupem.



Obr. 16 - Topologie nabíjecí stanice podle [19] (vlevo), topologie izolujícího měniče (vpravo)

Přístup s rozdělenými bateriemi po jednotlivých buňkách měniče lze využít pro stanice umístěné v dosahu pouze distribuční sítě malého napětí (400V_{AC}), jak ukazuje [21]. Topologicky jde o plně můstkovou obdobu předchozí topologie. S popsáním řízením toku

výkonu a nabíjecími cykly bylo dosaženo významného snížení zatížení sítě při nabíjení vozidla.



Obr. 17 - Topologie stanice napájené ze sítě nízkého napětí podle [21]

Z dalších prací lze jmenovat [22], kde je analyzována megawattová stanice s diodovým usměrňovačem v ACDC měniči připojeným k síti středního napětí. Dále [23], která popisuje výhody bipolární stejnosměrné sběrnice, a která je založena na tříúrovňovém NPC střídači se čtvrtou vyvažovací fází. Zajímavá varianta nabíjecí UF stanice, založená na rezonančních měničích s SiC tranzistory je uvedena v [24].

5 Závěr

Ve zprávě je zmapována současná kategorizace nabíjecích stanic pro elektrická vozidla lehké trakce. Důraz byl kladen na diskusi vhodných obecných topologií pro klasické stanice do 240kW. Dále byly popsány vybrané práce věnující se architektuрам ultra-fast nabíjecích stanic o výkonech zasahujících do MW oblasti.

Literatura

- [1] Internet: [http://evtc.fsec.ucf.edu/publications/documents/Project%2012 Hawaii ev-charger-report %203%202%2015.pdf](http://evtc.fsec.ucf.edu/publications/documents/Project%2012%20Hawaii%20ev-charger-report%203%202%2015.pdf)
- [2] Yilmaz, M.; Krein, P.T., "Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles," in *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol.28, no.5, pp.2151-2169, May 2013
- [3] Justino, J.C.G.; Parreiras, T.M.; Filho, B.J.C., "Hundreds kW Charging Stations for e-Buses Operating Under Regular Ultra-Fast Charging," in *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol.PP, no.99, pp.1-1
- [4] Internet: http://www.chinabuses.org/news/2015/0806/article_9055.html
- [5] Internet: http://www.chinabuses.org/news/2015/0810/article_9060.html
- [6] Internet: <http://opbrid.info>
- [7] [http://electrichybrid.volvobuses.com/pdf/Opportunity Charging System FS EN.pdf](http://electrichybrid.volvobuses.com/pdf/Opportunity_Charging_System_FS_EN.pdf)
- [8] Kůs V.: Nízkofrekvenční rušení, skripta ZČU
- [9] Vondrášek F.: Výkonová elektronika, svazek 3, Měniče s vlastní komutací a bez komutace, skripta ZČU
- [10] Zuzhi Zhang; Haiping Xu; Lei Shi; Dongxu Li; Yuchen Han, "A unit power factor DC fast charger for electric vehicle charging station," in *Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC), 2012 7th International*, vol.1, no., pp.411-415, 2-5 June 2012 doi: 10.1109/IPEMC.2012.6258896
- [11] Xiaomin Lu; Iyer, K.L.V.; Mukherjee, K.; Kar, N.C., "Development of a bi-directional off-board level-3 quick charging station for electric bus," in *Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2012 IEEE*, vol., no., pp.1-6, 18-20 June 2012 doi: 10.1109/ITEC.2012.6243500
- [12] Moses, P.S.; Masoum, M.A.S.; Smedley, K.M., "Harmonic losses and stresses of nonlinear three-phase distribution transformers serving Plug-In Electric Vehicle charging stations," in *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2011 IEEE PES*, vol., no., pp.1-6, 17-19 Jan. 2011, doi: 10.1109/ISGT.2011.5759145

- [13] Sanzhong Bai; Du Yu; Lukic, S., "Optimum design of an EV/PHEV charging station with DC bus and storage system," in *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE* , vol., no., pp.1178-1184, 12-16 Sept. 2010, doi: 10.1109/ECCE.2010.5617834
- [14] Kutkut, N.H.; Divan, D.M.; Novotny, D.W.; Marion, R., "Design considerations and topology selection for a 120 kW IGBT converter for EV fast charging," in *Power Electronics Specialists Conference, 1995. PESC '95 Record., 26th Annual IEEE* , vol.1, no., pp.238-244 vol.1, 18-22 Jun 1995, doi: 10.1109/PESC.1995.474818
- [15] Internet: http://www.elforsk.se/Programomraden/Omv--System/Rapporter/?rid=10_45
- [16] Sparacino, A.R.; Grainger, B.M.; Kerestes, R.J.; Reed, G.F., "Design and simulation of a DC electric vehicle charging station connected to a MVDC infrastructure," in *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2012 IEEE* , vol., no., pp.1168-1175, 15-20 Sept. 2012, doi: 10.1109/ECCE.2012.6342685
- [17] Reed, G.F.; Grainger, B.M.; Sparacino, A.R.; Kerestes, R.J.; Korytowski, M.J., "Advancements in medium voltage DC architecture development with applications for powering electric vehicle charging stations," in *Energytech, 2012 IEEE* , vol., no., pp.1-8, 29-31 May 2012 doi: 10.1109/EnergyTech.2012.6304641
- [18] Crosier, R.; Shuo Wang; Jamshidi, M., "A 4800-V grid-connected electric vehicle charging station that provides STACOM-APF functions with a bi-directional, multi-level, cascaded converter," in *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2012 Twenty-Seventh Annual IEEE* , vol., no., pp.1508-1515, 5-9 Feb. 2012 doi: 10.1109/APEC.2012.6166020
- [19] Vasiladiotis, M.; Rufer, A.; Beguin, A., "Modular converter architecture for medium voltage ultra fast EV charging stations: Global system considerations," in *Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012 IEEE International* , vol., no., pp.1-7, 4-8 March 2012 doi: 10.1109/IEVC.2012.6183228
- [20] Vasiladiotis, M.; Bahrani, B.; Burger, N.; Rufer, A., "Modular converter architecture for medium voltage ultra fast EV charging stations: Dual half-bridge-based isolation stage," in *Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014 - ECCE-ASIA), 2014 International* , vol., no., pp.1386-1393, 18-21 May 2014, doi: 10.1109/IPEC.2014.6869766

- [21] Ciccarelli, F.; Del Pizzo, A.; Iannuzzi, D., "An ultra-fast charging architecture based on modular multilevel converters integrated with energy storage buffers," in *Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), 2013 8th International Conference and Exhibition on* , vol., no., pp.1-6, 27-30 March 2013, doi: 10.1109/EVER.2013.6521617
- [22] Sanzhong Bai; Lukic, S.M., "Unified Active Filter and Energy Storage System for an MW Electric Vehicle Charging Station," in *Power Electronics, IEEE Transactions on* , vol.28, no.12, pp.5793-5803, Dec. 2013, doi: 10.1109/TPEL.2013.2245146
- [23] Rivera, S.; Bin Wu; Kouro, S.; Yaramasu, V.; Jiacheng Wang, "Electric Vehicle Charging Station Using a Neutral Point Clamped Converter With Bipolar DC Bus," in *Industrial Electronics, IEEE Transactions on* , vol.62, no.4, pp.1999-2009, April 2015 doi: 10.1109/TIE.2014.2348937
- [24] Shuo Wang; Crosier, R.; Yongbin Chu, "Investigating the power architectures and circuit topologies for megawatt superfast electric vehicle charging stations with enhanced grid support functionality," in *Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012 IEEE International* , vol., no., pp.1-8, 4-8 March 2012, doi: 10.1109/IEVC.2012.6183177

Seznam obrázků

Obr. 1 - Kategorizace výkonových nabíjecích úrovní podle SAE J1772 (2009) [1]	4
Obr. 2 - Nabíjecí stanice v čínském Zhanjiang (vlevo)[4] a Ningbo (vpravo)[5].	5
Obr. 3 - Nabíjecí stanice Opbrid Busbaar ve Švédsku [6], vpravo systém V3 s výkonem 650kW.	5
Obr. 4 - Blokové schémata nabíjecích stanic: a) individuální nabíjecí stanice, b) sdílená nabíjecí stanice.....	7
Obr. 5 - Blokové schémata nabíjecích stanic: a) individuální nabíjecí stanice, b) sdílená nabíjecí stanice.....	8
Obr. 6 - Blokové schéma tyristorové nabíjecí stanice připojené přes transformátor.....	9
Obr. 7 - Blokové schéma nabíjecí stanice s paralelním spojením tyristorových usměrňovačů	9
Obr. 8 - Bloková schémata nabíjecích stanic se vstupním diodovým usměrňovačem: a)bez transformátoru, b) s transformátorem, c) s transformátorem a paralelním spojením usměrňovačů.....	11
Obr. 9 - Bloková schémata nabíjecích stanic se vstupním napěťovým pulzním usměrňovačem: a)bez transformátoru, b) s transformátorem, c) s transformátorem bez výstupního DC/DC měniče.....	12
Obr. 10 - Bloková schémata nabíjecích stanic: a) se vstupním Vienna usměrňovačem a výstupním DC/DC měničem, b) se vstupním usměrňovačem s řízeným napětím a výstupním DC/DC měničem	13
Obr. 11 - Bloková schémata nabíjecích stanice ve zjednodušené variantě se vstupním usměrňovačem s řízeným napětím a bez výstupního DC/DC měniče	14
Obr. 12 - Architektury stanic se zásobníky energie [13]	14
Obr. 13 - Architektura s lokální sítí středního napětí [16].....	15
Obr. 14 - Blokové schéma vlastní stanice [16]	16
Obr. 15 - Blokové schéma nabíjecí stanice [18](a), topologie jedné fáze (b).....	17
Obr. 16 - Topologie nabíjecí stanice podle [19] (vlevo), topologie izolujícího měniče (vpravo)	17
Obr. 17 - Topologie stanice napájené ze sítě nízkého napětí podle [21].....	18

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum Jméno / Odd.
1	Všechny	Publikování dokumentu	20.12.2015 MJ/KEV