

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Michal Ficbauer

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Návrh nabíjecí stanice pro elektromobilitu
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Michal Ficbauer**
Osobní číslo: **D17180**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě**
Téma práce: **Návrh nabíjecí stanice pro elektromobilitu**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

Zásady pro vypracování

1. Sestavte přehled variant pro nabíjení elektromobilů
2. Analyzujte možné koncepce řešení výkonových obvodů nabíjecích stanic
3. Proveďte návrh nabíjecí stanice napájené z vn distribuční sítě

Rozsah pracovní zprávy: **dle zadání**
Rozsah grafických prací: **dle zadání**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Lettl, J., Pavelka, J., Bauer, J.: Výkonová elektronika, skriptum ČVUT v Praze, FEL, 2019, ISBN 9788001065143

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jaroslav Novák, CSc.**
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací
techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **24. února 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **1. června 2020**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Dušan Čermák, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 12. května 2020

Michal Ficbauer

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce prof. Ing. Jaroslavu Novákovi, CSc. za účinnou metodickou a odbornou pomoc a vstřícný postup při konzultacích při zpracování bakalářské práce.

Poděkování patří rovněž firmě Trafo CZ, a. s., zejména jejímu řediteli Aleši Radníkovi a vedoucímu výroby Ing. Vojtěchu Kladívkovi, za cenné rady a poskytnutí praktických informací.

V Pardubicích dne 12. května 2020

Michal Ficbauer

ANOTACE

Hlavním úkolem bakalářské práce je návrh realizace nabíjecí stanice napájené z distribuční sítě VN. Práce obsahuje teoretické informace o jednotlivých, prakticky používaných typech nabíjecích stanic, jejich vnitřní struktuře a zapojení. Dále shrnuje poznatky o distribučních transformátorech a jejich připojení na distribuční síť. Následně již práce obsahuje konkrétní návrh kompaktní nabíjecí stanice.

KLÍČOVÁ SLOVA

nabíjecí stanice, elektromobilita, distribuční transformátor, měnič napětí

TITLE

Design of E-mobility Charger

ANNOTATION

This bachelor thesis deals with design a E-mobility charging station, which is powered from high voltage distribution network. The thesis contains theoretical information about practically used types of charging stations, their internal structure and connection. It also summarizes the knowledge about power three-phase transformers, their connection to the high voltage distribution network. Subsequently, the thesis contains a concrete design of a compact E-mobility charging station.

KEYWORDS

charging station, E-mobility, power three-phase transformer, voltage converter

OBSAH

ÚVOD.....	10
1 ELEKTROMOBILITA A NABÍJECÍ STANICE	11
1.1 Možnosti nabíjení v domácích podmínkách	11
1.2 Veřejné nabíjecí stanice	11
1.3 Používané konektory	12
1.4 Vnitřní topologie používaných rychlonabíjecích stanic.....	13
1.4.1 Se síťovým transformátorem	14
1.4.2 S vysokofrekvenčním transformátorem	14
1.5 Akumulátory pro elektromobilitu	15
2 DISTRIBUČNÍ TRANSFORMÁTORY	16
2.1 Distribuční soustava České republiky	16
2.2 Vnitřní zapojení distribučního transformátoru.....	16
3 SPECIFIKACE ZADÁNÍ	18
3.1 Základní požadavky	18
3.2 Stanovení základních technických parametrů	18
4 BLOKOVÉ SCHÉMA SILOVÉ ČÁSTI NABÍJECÍ STANICE.....	19
4.1 Odpínač VN a zkratová ochrana	19
4.2 Volba transformátoru a jeho dimenzování	21
4.3 Ochrany proti přepětí, zkratu a přetížení NN.....	22
4.3.1 Přepět'ová ochrana	22
4.3.2 Nadproudová ochrana.....	23
4.4 Nabíjecí obvod pro kondenzátor	24
4.5 Vysokofrekvenční odrušovací filtr.....	26
4.6 Filtrační tlumivka	27
4.6.1 Vstupní kondenzátory.....	27
4.6.2 Vybíjecí rezistory	27
4.6.3 Parametrizace filtrační tlumivky	28

4.7	Pulzní usměrňovač	30
4.7.1	Princip funkce.....	30
4.7.2	Řízení pulzního usměrňovače.....	31
4.7.3	Specifikace výkonových tranzistorových modulů.....	32
4.7.4	Varianta s SiC FET.....	32
4.7.5	Vyhlazovací kondenzátory	33
4.7.6	Vybíjecí rezistor	34
4.8	Pulzní snižovací měnič.....	35
4.8.1	Specifikace výstupní tlumivky	37
4.8.2	Specifikace výkonových polovodičových modulů.....	38
4.8.3	Princip jednotného řízení pulzního usměrňovače a měniče	38
4.9	Proudové jištění výstupu	39
5	NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ.....	40
5.1	Výběr vhodného trafokiosku.....	40
5.2	Uspořádání jednotlivých komponentů	40
5.3	Celkový ztrátový výkon	42
5.4	Varianta s více nabíjecími místy	43
5.4.1	Rozšíření počtu míst pro rychlé dobíjení.....	43
5.4.2	Vytvoření míst pro pomalé dobíjení.....	44
5.5	Způsob připojení na VN síť	45
5.6	Normy týkající se řešení nabíjecích stanic.....	45
	ZÁVĚR.....	46
	Použitá literatura.....	47
	Seznam obrázků.....	48
	Seznam tabulek.....	49
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	50
	SEZNAM PŘÍLOH	51

ÚVOD

V současné době dochází ke snižování všeobecné závislosti na fosilních palivech, a to nejen v dopravě, ale prakticky ve všech oborech lidské činnosti. Následkem odklonu od „tradičních“ paliv, používaných v dopravě, je postupný rozmach elektromobility, což je komplexní řešení pohybu dopravních prostředků pomocí elektrické energie, která je ve vozidle uchovávána v bateriových článcích. Nedílnou součástí rozvoje elektromobility je tedy vytvoření sítě nabíjecích stanic, které umožní rychlé dobítí těchto článků.

V České republice je momentálně, i přes rostoucí tendenci registrovaného počtu elektromobilů, nedostatečné pokrytí takových stanic, zejména mimo velká krajská města. Vzhledem k poměrně velkému nabíjecímu výkonu není mnohdy možné při budování nabíjecích stanic využít současné rozvodné sítě NN. S ohledem na volné distribuční kapacity v sítích VN je velmi vhodné při budování nových nabíjecích stanic zajistit napájení právě přímo z těchto distribučních sítí. Návrhem řešení nabíjecí stanice napájené z VN distribuční sítě se zabývá tato práce. Je rozdělena na pět částí.

První část obsahuje teoretické poznatky týkající se vlastních nabíjecích stanic. V této kapitole jsou popsány jednotlivé typy nabíjecích stanic, dle druhu nabíjecího proudu. Ke každému typu nabíjecí stanice jsou uvedeny základní parametry. Následně jsou popsány v Evropě nejčastěji používané nabíjecí konektory. Nedílnou součástí kapitoly je popis vlastností trakčních akumulátorů, které jsou využívány v elektromobilitě.

Druhá část se zabývá distribučními transformátory. Tato kapitola zahrnuje význam a stručný popis distribuční soustavy v České republice, zejména používaných napětí na hladině VN. Následuje pasáž týkající se distribučních transformátorů, popisu jejich funkce, vlastností a vnitřního zapojení.

Ve třetí části je blíže specifikováno zadání a základní technické požadavky, které jsou nezbytné pro návrh nabíjecí stanice.

Čtvrtá část obsahuje návrh konkrétní nabíjecí stanice napájené z distribuční sítě VN. V této kapitole jsou nejprve shrnuty základní technické požadavky, následně je navrženo blokové schéma celé nabíjecí stanice, přičemž následně je detailně pojednáváno o jednotlivých blocích tohoto schématu, jejich parametrech a dimenzování použitých komponentů.

V poslední části je navrženo vlastní konstrukční řešení rychlonabíjecí stanice, respektive návrh umístění jejich komponent do vybraného prefabrikovaného kiosku.

1 ELEKTROMOBILITA A NABÍJECÍ STANICE

V současné době existuje více způsobů, jak zajistit nabití baterií elektromobilu. Samotný proces nabíjení lze rozdělit dle výkonu, potažmo rychlosti nabíjení, na nabíjení v domácích podmínkách a s pomocí veřejných nabíjecích stanic.

1.1 Možnosti nabíjení v domácích podmínkách

Přenosná nabíječka

Většina elektromobilů má v běžné výbavě přenosnou nabíječku, což je základní způsob doplňování energie u elektromobilů. Tato nabíječka je většinou uzpůsobena pro jednofázové připojení s maximálním proudem 16A a příkonem 3,68kW. V případě použití třífázového napájení pomocí zásuvky CEE32A lze dosáhnout maximálního proudu až 32A a příkonu 22kW.

Nabíjení touto cestou je nejobvyklejší. Značnou nevýhodou je ovšem čas nabíjení, který může, díky omezenému nabíjecímu proudu, přesáhnout až 10 hodin [1].

Domácí wallbox

Domácí wallboxy bývají již většinou napájeny třífázově. Umožňují kromě samotného nabíjení elektromobilu také sledování průběhu nabíjení, disponují řadou ochran proti přehřátí a přetížení a v neposlední řadě některé wallboxy umožňují propojení s domácím fotovoltaickým systémem či koordinaci s HDO.

1.2 Veřejné nabíjecí stanice

Na území České republiky lze nalézt řadu soukromých, ale i veřejných nabíjecích stanic velkých distributorů ČEZ, PRE nebo E.ON. Veřejné nabíjecí stanice lze dělit podle výkonu a druhu proudu – střídavý či stejnosměrný.

Nabíjecí stanice do 22kW – AC

Mají prakticky stejné nabíjecí možnosti jako domácí wallboxy. Nabíjení trvá řádově hodiny.

Rychlonabíjecí stanice do 43kW – AC

Umožňují velmi rychlé nabíjení. V současné době ovšem nejsou zatím tak rozšířené, jelikož integrovanou palubní nabíječku s možností nabíjení 43kW aktuálně nemá téměř žádný elektromobil. Bývají standartně vybaveny neodnímatelným konektorem Type 2 – Mennekes.

Rychlonabíjecí stanice do 50kW – DC

V České republice jsou běžným standardem rychlonabíjecí stanice do 50kW, avšak v jiných evropských zemích existují stanice s nabíjecím výkonem až 350kW. Stejnosemřené nabíjecí stanice umožňují velmi rychlé dobíjení baterií, na 80% úroveň nabití řádově v desítkách minut.

Tesla Supercharger

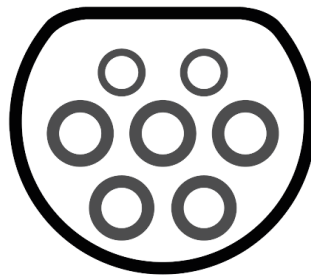
Jedná se o rychlonabíjecí stanice společnosti Tesla. Jsou nejvíce rozšířeny v USA, v České republice se v současné době nachází pouze několik těchto rychlonabíjecích stanic, které aktuálně disponují nabíjecím výkonem až 120kW

1.3 Používané konektory

S nabíjecím výkonem přímo souvisí druh použitého konektoru. V současnosti se v Evropě nejčastěji používají tři typy konektorů: Type 2, CHAdeMO a CCS. Liší se zejména nabíjecím výkonem, který mohou konstrukčně bezpečně přenést.

Type 2 – Mennekes

Jedná se o konektor, jímž jsou vybaveny takřka všechny evropské automobily, jelikož byl v roce 2014 schválen jako standart pro celou Evropskou unii. Je využíván pro nabíjení střídavým proudem do výkonu 22kW. Konstrukčně je ale uzpůsoben až do výkonů 43kW.



Obr. 1 Nabíjecí konektor Typ 2 – Mennekes [2]

CHAdEMO konektor

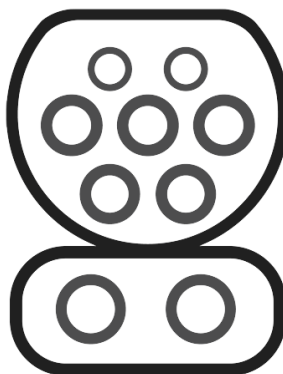
Tento konektor je světově nejpoužívanější pro rychlé stejnosměrné nabíjení. Umožňuje nabíjení výkonem až 50kW, přenášený proud až 125A. Tento konektor je spolu s konektorem CCS v tuzemsku využíván u rychlonabíjecích stanic.



Obr. 2 Nabíjecí konektor CHAdEMO [2]

CCS (Combined Charging System)

Konektor CCS konstrukčně vychází z konektoru Type 2, oproti které má dva další napájecí kontakty pro rychlé nabíjení. Podporuje nabíjení stejnosměrným proudem až do hodnoty 200A, maximální přenášený výkon až 170kW. V praxi je tato hodnota kolem 50kW. Používá se u rychlonabíjecích stanic.



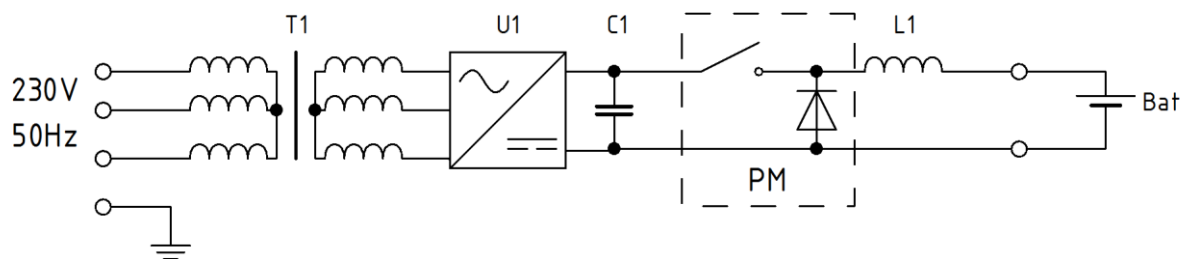
Obr. 3 Nabíjecí konektor CCS [2]

1.4 Vnitřní topologie používaných rychlonabíjecích stanic

Společným rysem všech topologií rychlonabíjecích stanic je galvanické oddělení výstupu a napájecího vstupního napětí, což je nezbytný prvek, sloužící k zajištění uživatelské bezpečnosti před úrazem elektrickým proudem. V praxi jsou nejčastěji používány dvě topologie rychlonabíjecích nabíjecích stanic, které lze rozdělit dle pracovní frekvence oddělovacího transformátoru.

1.4.1 Se síťovým transformátorem

U této topologie se transformátor nachází přímo na vstupu obvodu. Jedná se zpravidla o třífázový transformátor, který je napájen standardní síťovou frekvencí 50Hz. Transformované napětí je dále usměrněno, pomocí usměrňovače U1, a přivedeno na pulzní měnič PM, který mění plynule a s malými ztrátami vstupní hodnotu stejnosměrného proudu na jinou hodnotu výstupního proudu. Tlumivka L1 je určena pro vyhlazení proudu.

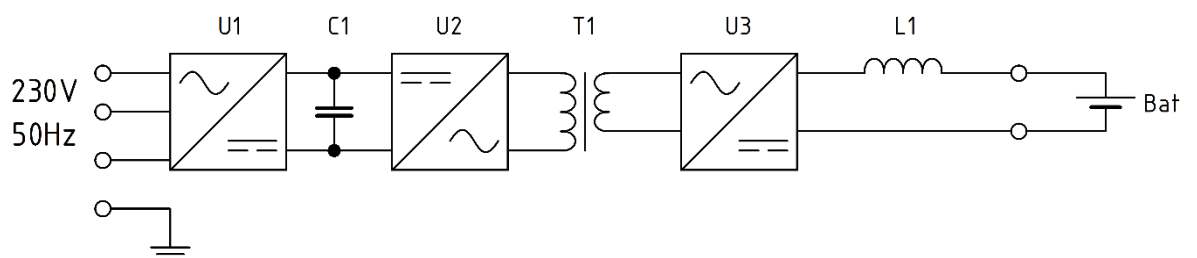


Obr. 4 Topologie rychlonabíjecí stanice se síťovým transformátorem

Výhodou tohoto řešení je relativní jednoduchost konstrukce. Značnou nevýhodou je ovšem vstupní transformátor, který musí být patřičně dimenzován, s čímž souvisí jeho velké rozměry a pořizovací cena.

1.4.2 S vysokofrekvenčním transformátorem

V principu architektura této topologie rychlonabíjecí stanice vychází z konstrukce napájecích spínaných zdrojů. Vstupní napájecí napětí je nejprve usměrněno pomocí pulzního usměrňovače U1, vyhlazeno na kondenzátoru C1 a dále rozstředáno pomocí střídače U2 na vysoké frekvenci řádově desítek kHz. Toto napětí je transformováno a následně znovu usměrněno. Akční člen, kterým se řídí velikost výstupního proudu, je střídač U2. Výstupní proud je opět vyhlazen tlumivkou.



Obr. 5 Topologie rychlonabíjecích stanic s vysokofrekvenčním transformátorem

Díky vysoké spínací frekvenci jsou rozměry transformátoru u této topologie podstatně menší, ve srovnání s topologií rychlonabíjecí stanice se síťovým transformátorem o stejném výkonu. Nevýhodou je poměrně značná složitost a náročnost celého řešení.

1.5 Akumulátory pro elektromobilitu

V současné době se v oblasti elektromobility uplatňuje zejména technologie lithiových akumulátorů, které disponují vysokou hustotou energie vzhledem ke svému objemu. V porovnání s olověným akumulátorovým modulem, který je tvořen v podstatě jen olověnými články umístěnými do vhodného pouzdra s vývody, je v případě lithiových akumulátorů nutno dovybavit akumulátorový modul další nezbytnou technologií, a to zejména z důvodu striktní nutnosti udržení napětí jednotlivých článků v pevně daných tolerancích, které jsou dány technologií a typem článku. Jakákoliv změna napětí článku mimo tyto výrobcem dané meze vede ke značnému omezení jeho životnosti či, v krajním případě, k jejich zničení. Obdobně, jako napětí na jednotlivých člancích, je nutné sledovat i jejich teplotu, která má nezanedbatelný vliv na vlastní životnost samotného akumulátoru. I u tohoto parametru je nutné vycházet z dokumentace a doporučení výrobce. [4]

Sledování výše uvedených parametrů zajišťuje v celém bateriovém modulu soustava elektrických obvodů, tzv. battery management system (BMS). Jelikož články baterie nikdy nemají zcela shodné parametry, nabíjejí se nesymetricky – u některých článků dojde k nabití dříve. Tyto rychleji nabíjecí články jsou pomocí BMS částečně vybíjeny do chvíle, než se napětí na všech člancích nevyrovná. Při vybíjení naopak BMS hlídá pokles napětí některého z článků pod kritickou úroveň. V tom okamžiku dojde k odpojení baterie. K jednotce BMS jsou připojeny také výstupy z teplotních čidel jednotlivých článků, čímž je zajištěno případné odpojení článku při překročení jeho teplotních provozních parametrů. [5]

I přes poměrně náročnou přídavnou řídicí elektroniku u lithiových článků, mají baterie z těchto článků složené velký potenciál pro použití v elektromobilitě, zejména pro své, dříve uvedené, výhodné vlastnosti.

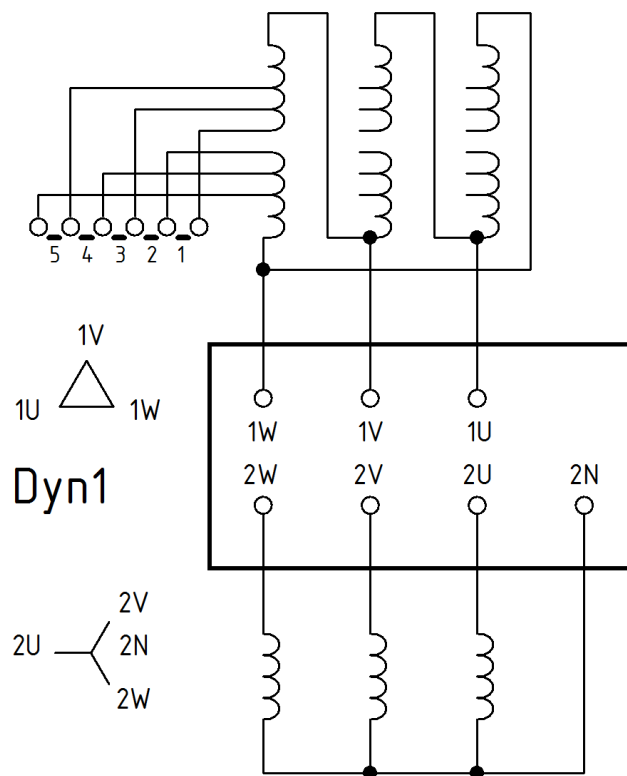
2 DISTRIBUČNÍ TRANSFORMÁTORY

2.1 Distribuční soustava České republiky

Distribuční soustava je určena k distribuci elektrické energie k odběratelům. V České republice ji tvoří síť velmi vysokého napětí 110kV a síť vysokého napětí na napěťových úrovních 35kV, 22kV, 10kV a 6kV, které je transformováno pomocí distribučních transformátorů na úroveň nízkého napětí 400/230V, která je určena pro běžné odběratele.

2.2 Vnitřní zapojení distribučního transformátoru

Distribuční transformátory se využívají pro distribuci energie koncovým odběratelům. V současné době jsou prakticky veškeré třífázové distribuční transformátory z produkce firmy Trafo CZ, a. s., což je přední český výrobce distribučních transformátorů, vyráběny v zapojení Dyn1.



Obr. 6 Vnitřní zapojení distribučního transformátoru Dyn1

Primární strana transformátoru je zapojena do trojúhelníka. Součástí je třípólový pětipolohový přepojovač odboček, který umožňuje přemostit určitý počet závitů primárního vinutí, čímž dojde ke změně převodového poměru, což v jistých mezích umožňuje regulovat výstupní napětí transformátoru (řádově jednotky %). Manipulace s tímto přepojovačem je možná pouze v beznapěťovém stavu.

Sekundární strana transformátoru je zapojena do hvězdy, jejíž střed je vyveden a většinou uzemněn. V sítích TN-C je tento vodič označován PEN.

Hodinový úhel vyjadřuje fázový posun mezi fázory odpovídajícího vstupního a výstupního napětí fáze, je udáván v hodinách. V případě zapojení Dyn1 je hodinový úhel fázového (popř. sdruženého) napětí mezi stejnou fází primární a sekundární strany 30° .



Obr. 7 Distribuční transformátory s převodem 35/0,4kV o výkonu 160kVA

Distribuční transformátory jsou konstruovány s olejovým chlazením v uzavřené nádobě, která je přirozeně ochlazována vzduchem.

3 SPECIFIKACE ZADÁNÍ

3.1 Základní požadavky

Vzhledem k poměrně velkým nabíjecím výkonům v elektromobilitě není mnohdy možné při budování nabíjecích stanic využít současné rozvodné sítě NN. S ohledem na volné distribuční kapacity v sítích VN je velmi vhodné při budování nových nabíjecích stanic zajistit napájení právě přímo z těchto distribučních sítí.

Tato část práce se tedy zabývá vytvořením předprojekčního návrhu silové části rychlonabíjecí stanice, napájené z VN distribuční sítě, a specifikací zadání pro řídicí systém z hlediska řízení výkonových toků v kontextu s požadavky baterie a součinnosti s battery managementem.

3.2 Stanovení základních technických parametrů

Nabíjecí stanice by měla být určena především pro rychlodobíjení akumulátorů elektromobilů. S ohledem na tento požadavek, a parametry v současnosti vyráběných rychlonabíjecích stanic, byly učeny základní technické parametry nabíjecí stanice napájené z VN sítě. Tyto parametry jsou shrnuty v tabulce 1.

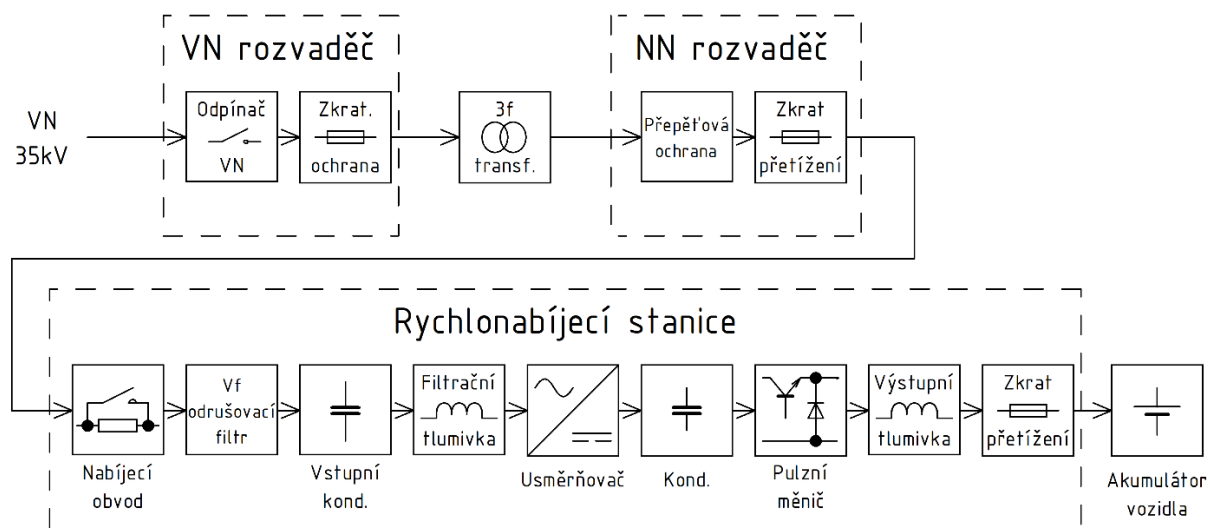
<i>Veličina</i>	<i>Zadaná hodnota</i>
Vstupní napětí	35kV
Tolerance vstupního napětí	±10%
Výstupní výkon	100kW
Výstupní napětí	350 ÷ 750V
Výstupní proud	200A

Tab. 1 Tabulka základních technických parametrů nabíjecí stanice napájené z VN sítě

Nezbytnou podmínkou, kterou je vzhledem k bezpečnosti celého zařízení nutné dodržet, je galvanické oddělení výstupu nabíjecí stanice od napájecí sítě.

4 BLOKOVÉ SCHÉMA SILOVÉ ČÁSTI NABÍJECÍ STANICE

Základem návrhu nabíjecí stanice napájené z distribuční vysokonapěťové sítě je topologie nabíjecích stanic se síťovým transformátorem, jelikož distribuční transformátor poskytuje galvanické oddělení primární VN části a sekundární části NN. Část nabíjecí stanice za vstupním distribučním transformátorem již tedy pracuje s galvanicky odděleným napětím, respektive v izolované síti IT.



Obr. 8 Blokové schéma rychlonabíjecí stanice napájené z distribuční VN sítě

Vysoké napětí je přivedeno přes vysokonapěťový rozvaděč, který tvoří odpínač a zkratové ochrany, na primární stranu distribučního transformátoru. Na jeho výstupu je přepět'ová ochrana spolu s ochranou proti zkratu a přetížení transformátoru. Následuje nabíjecí obvod, určený pro omezení proudové špičky při nabíjení kondenzátorů DC meziobvodu, dále vysokofrekvenční odrušovací filtr, který je určen k odrušení negativních vlivů šířkově pulzní modulační pulzního usměrňovače. Dále následuje filtrační tlumivka, za kterou je pulzní usměrňovač, stejnosměrný meziobvod s vyhlazovacím kondenzátorem, pulzní měnič, výstupní tlumivka, proudová ochrana výstupu a výstupní konektor pro připojení nabíjeného vozidla.

Detailnímu popisu jednotlivých bloků schématu silové části je věnována následující část práce. Bloky jsou popsány postupně ve směru toku elektrické energie od napájecí VN sítě, zleva směrem doprava k akumulátoru vozidla.

4.1 Odpínač VN a zkratová ochrana

Odpínač je elektrický přístroj, který slouží k viditelnému odpojení elektrického napětí nebo viditelnému rozpojení elektrického obvodu, až do jmenovité hodnoty protékajícího proudu.

Z bezpečnostního hlediska ve vypnuté poloze splňuje izolační požadavky na odpojovací vzdálenosti stanovené pro odpojovač, což je nutné pro bezpečné odpojení VN např. při údržbě či pravidelné revizi na prováděné na distribučním transformátoru.

Jištění na primární straně VN transformátoru je především určeno pro jištění vedení a zmenšení poškození transformátoru při zkratu na jeho primárních svorkách, dále při mezizávitovém zkratu jistí vedení a omezuje destrukci transformátoru a při zkratu na sekundárních svorkách jistí vinutí transformátoru před poškozením.

Pro správnou funkci VN pojistky je nutné, aby současně umožňovala zapnutí transformátoru, s čímž souvisí velký proudový náraz způsobený magnetizací jádra, dále nevypínala při zkratech v nízkonapěťové části obvodu, musí zvládnout běžné provozní přetížení, avšak dostatečně rychle vypínat v případě zkratu na sekundárních svorkách.

V současné době se již v nově budovaných kioskových trafostanicích samostatná kombinace odpínač – zkratová ochrana převážně nevyužívá. Technický pokrok umožnil používání kompaktních plynem izolovaných VN rozvaděčů, kde je v jedné přístrojové skříni kombinace odpínač – zkratová ochrana hermeticky uzavřena. Příkladem je VN rozvaděč 8DJH Compact výrobce Siemens, jehož předností jsou malé rozměry, což je zejména při aplikaci v kioskových trafostanicích velmi výhodné.



Obr. 9 VN rozvaděč Siemens 8DJH Compact [6]

Kromě malých rozměrů jsou dalšími nespornými výhodami této koncepce zejména bezpečnost obsluhy, provozní bezpečnost, bezúdržbovost a klimatická nezávislost. Rozvaděč

8DJH Siemens je určen pro jmenovité napětí do 24kV, jmenovitý krátkodobý výdržný proud do 25kA a jmenovitý proud do 630A [6].

4.2 Volba transformátoru a jeho dimenzování

Základní vlastností distribučního transformátoru je transformace vysokého napětí, v naší distribuční síti se jedná zpravidla o hodnotu napětí 35kV nebo 22kV, na nízké napětí 400/230V. Při transformaci zároveň dochází ke galvanickému oddělení primární a sekundární strany transformátoru. U transformátorů je vždy výrobcem udán jmenovitý zdánlivý výkon. Velikost činného výkonu, kterým může být transformátor zatěžován, závisí na účinníku $\cos \varphi$ zátěže. Ze stanovených základních parametrů je možné určit hodnotu zdánlivého výkonu (1) celé nabíjecí stanice:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} [VA] \quad (1)$$

Kde P je výstupní činný výkon a $\cos \varphi$ je hodnota účinníku, s jakým nabíjecí stanice pracuje. Vzhledem k použití pulzního usměrňovače (kapitola 4.7) můžeme považovat jeho hodnotu za téměř rovnu jedné, pro účely výpočtu byla použita hodnota $\cos \varphi$ 0,99.

$$S = \frac{100 \cdot 10^3}{0,99} [VA] \quad (2)$$

Hodnota zdánlivého výkonu vypočítaná z rovnice (2) je 101,01kVA. Díky velmi dobré hodnotě účinníku se vypočítaný zdánlivý výkon příliš neliší od činného výkonu. Distribuční transformátory jsou vyráběny v určité výkonové řadě. Základní parametry transformátorů o jednotlivých jmenovitých zdánlivých výkonech, vyráběných firmou Trafo CZ, a. s. pro primární napětí 35kV v zapojení Dyn1, shrnuje tabulka 2.

S[kVA]	Zapojení	U[kV]	U _k [%]	Ztráty		Rozměry		
				P _o [W]	P _k [W]	délka[mm]	šířka[mm]	výška[mm]
50	Dyn1	35/0,40	6	103	1210	1050	750	1350
100				167	1925	1010	780	1350
160				242	2585	1050	790	1380
250				345	3575	1180	790	1450
400				498	5060	1270	850	1525
630				690	7150	1390	980	1595
1000				886	11550	1730	1040	1900

Tab. 2 Parametry vybraných distribučních transformátorů Trafo CZ, a. s.

Pro účely nabíjecí stanice byl zvolen transformátor s udávaným zdánlivým výkonem 160kVA.

4.3 Ochrany proti přepětí, zkratu a přetížení NN

Tento blok je určen primárně pro ochranu proti přepětí, zkratu na sekundárních svorkách a přetížení transformátoru. Je nezbytně nutné, aby tato ochrana byla plně selektivní s jistěním primární strany.

4.3.1 Přepět'ová ochrana

Jedná se o specifický druh elektrického přístroje, který je určen pro omezení napět'ových špiček, vznikajících v důsledku atmosférických vlivů, tj. blesk, nebo vlivem spínacích procesů v síti. V případě blesku nemusí jít nutno o přímý úder do chráněného zařízení, k šíření přepětí po rozvodných sítích dochází i při úderu v blízkosti objektu, kde je chráněné zařízení umístěno. Charakteristickým znakem přepětí je značná nepředvídatelnost a jeho velmi krátká doba trvání, řádově několik milisekund.

Přepětí je definováno jako napětí, jehož hodnota přesahuje nejvyšší hodnotu provozního napětí v elektrickém obvodu. Pro distribuční rozvodné sítě se udává tolerance $\pm 20\%$ provozního napětí.

Přepět'ové ochrany lze na základě principu dělit na polovodičové, které ke své funkci využívají vlastností speciálních polovodičových prvků, zejména varistoru a transilu, a na jiskřiště a bleskojistky.

Odpor varistoru a transilu, tedy součástek závislých na napětí, s rostoucím napětím výrazně klesá, čímž je sveden proud z pracovního vodiče pomocí ochranného vodiče do země. Oproti tomu jiskřiště a bleskojistky využívají elektrické pevnosti vzduchu. Zapálením výboje v jiskřišti dojde ke svedení proudu do ochranného vodiče a vyrovnání potenciálů.

Pro účely přepět'ové ochrany nabíjecí stanice, způsobené nepřímým úderem blesku je vhodné použít svodič přepětí třídy C, ve které jsou využívány varistory nebo transily. Ochrana je zajištěna jednorázově čili po zachyceném přepětí je nutné celý přístroj vyměnit. Praktickým příkladem takové ochrany pro umístění na DIN lištu v rozvaděči je svodič přepětí SVC-350 Minia firmy OEZ Letohrad [8].



Obr. 10 SVC svodič přepětí OEZ Letohrad

4.3.2 Nadproudová ochrana

Nadproudová ochrana je určena k ochraně před zkraty a přetížením na sekundárních svorkách transformátoru. Současně je tento jističí prvek použit jako hlavní jistič celého zařízení. Pro tyto účely vyhoví jistič BD250 MCCB firmy OEZ Letohrad se jmenovitým pracovním proudem 250A [10], jehož hodnota jmenovitého proudu byla zvolena v kontinuitě s dimenzováním výstupní DC ochrany, vůči které musí být tento hlavní jistič, jako nadřazený jističí prvek, selektivní.

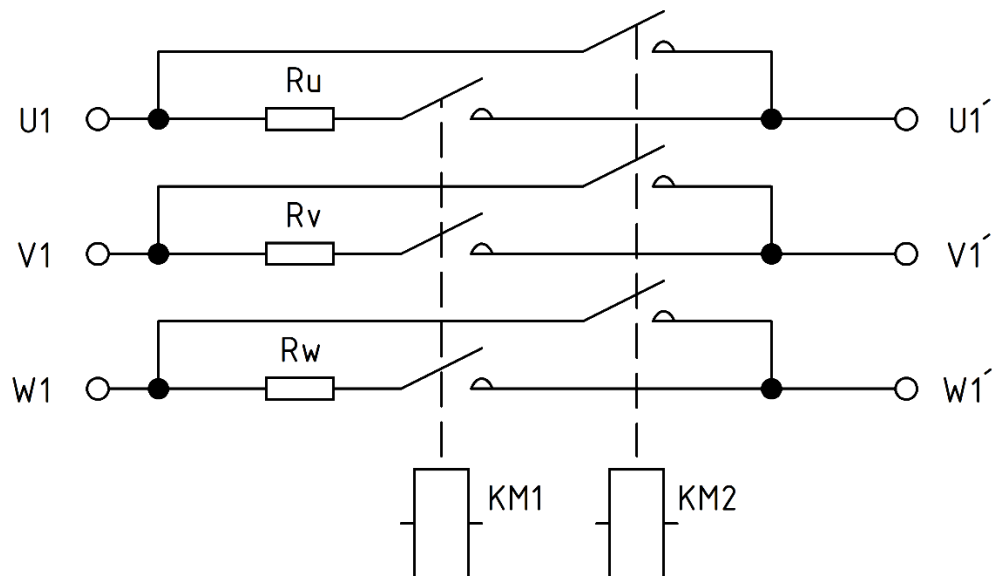


Obr. 11 BD250 Jistič MCCB 250 A OEZ Letohrad [10]

4.4 Nabíjecí obvod pro kondenzátor

Pro omezení nabíjecího proudu vyhlazovacích kondenzátorů, které jsou popsány v kapitole 4.7.5 a umístěny na výstupu pulzního usměrňovače, je využito nabíjecího obvodu. Nabíjecí proud se uzavře přes diody v pulzním usměrňovači.

Nabíjecí obvod je tvořen sériově zapojenými rezistory, umístěnými v každé fázi. Nejprve jsou sepnuty kontakty relé KM1, které umožní nabití kondenzátorů přes nabíjecí rezistory R_u , R_v a R_w . Po nabití kondenzátorů se tyto rezistory překlenou pomocí kontaktů stykače KM2. Kontakty stykače KM1 je nyní možné rozepnout. Tyto kontakty, spolu s kontakty stykače KM2, umožňují, v případě rozepnutí obou sad kontaktů stykačů, galvanické odpojení vstupu měniče. Schéma zapojení zobrazuje obr. 12. Svorky vstupních fází jsou označeny U_1 , V_1 a W_1 . Výstupní svorky jsou U_1' , V_1' a W_1' .



Obr. 12 Schéma zapojení nabíjecího obvodu kondenzátorů

Pro určení hodnoty odporu rezistoru byl použit následující vztah:

$$\tau = R \cdot C \text{ [s]} \quad (1)$$

Kde τ [s] je časová konstanta obvodu, R [Ω] je hodnota odporu rezistoru a C [F] je kapacita kondenzátoru. Z uvedeného vztahu lze vyjádřit R :

$$R = \frac{\tau}{C} \text{ [\Omega]} \quad (2)$$

Celková hodnota kondenzátorů C , popsaných v kapitole 4.7.5., bude rovna 15mF. Uvažujeme-li, že kondenzátory se budou nabíjet 30 sekund, hodnota časové konstanty τ bude třetinová, tedy 10 sekund.

Po dosazení do (2):

$$R = \frac{10}{15 \cdot 10^{-3}} [\Omega] \quad (3)$$

Hodnota rezistoru spočítané z rovnice (3) je 666,67 Ω . Nabíjecí odpory v jednotlivých fázích (R_u , R_v a R_w) jsou voleny s poloviční hodnotou, tedy 333,33 Ω .

Při praktické realizaci se vychází např. z odporové řady E12, na základě které by nejbližší prakticky vyráběná hodnota rezistoru byla 330 Ω .

Pomocí Ohmova zákona je nyní možné ověřit hodnotu proudové špičky I_p :

$$I_p = \frac{U_{max}}{R} [A] \quad (4)$$

Kde $I_p[A]$ je hodnota proudové špičky, $U_{max}[V]$ je maximální hodnota sdruženého efektivního napětí 400V, tedy 565V, a $R[\Omega]$ je dvojnásobná hodnota odporů rezistorů v jednotlivých fázích, tedy 666,67 Ω .

Po dosazení do (4):

$$I_p = \frac{565}{666,67} [A] \quad (5)$$

Spočítaná hodnota proudové špičky I_p z rovnice (5) je 0,848A. Nyní je nutné navrhnout výkonové dimenzování rezistorů. Špičkový ztrátový výkon P_z lze určit z rovnice:

$$P_z = U_{max} \cdot I_p [W] \quad (6)$$

Kde $P_z[W]$ je ztrátový výkon, $U_{max}[V]$ je maximální hodnota sdruženého efektivního napětí 400V, tedy 565V, a $I_p[A]$ je hodnota špičkového proudu.

Po dosazení do (6):

$$P_z = 565 \cdot 0,848 [W] \quad (7)$$

Výsledná hodnota špičkového ztrátového výkonu, určená z rovnice (7), je 478,8W.

Pro účely výkonového dimenzování rezistorů, které jsou v tomto případě zatíženy jen velmi krátkodobě, je možné prakticky brát hodnotu 15% z trvalého výkonu špičkové hodnoty.

Ve výsledku lze tedy rezistory R_u , R_v a R_w výkonově dimenzovat přibližně na 71,8W, v praxi na hodnotu 100W.

4.5 Vysokofrekvenční odrušovací filtr

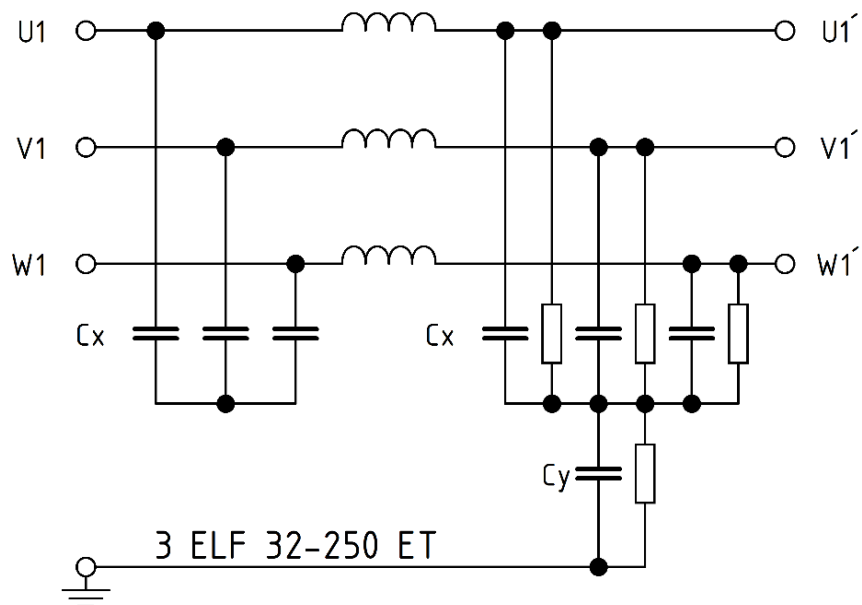
Vf filtr slouží k odrušení negativních vlivů pulzně šířkové modulační pulzního usměrňovače, zejména v pásmu 150kHz až 30MHz. Vf odrušovací filtr se dimenzuje napěťově a proudově podle jmenovitého vstupního napětí a proudu použitého zařízení. Je nutné, aby byl filtr schopen přenést bez poškození nárazový proud, který je způsoben například nabitím kondenzátorů.

Pro aplikaci nabíjecí stanice pro elektromobilitu je možné využít komerčně vyráběné odrušovací filtry pro frekvenční měniče, které umožňují snadné a kompaktní odrušení. Firma Elfis spol. s r.o. nabízí odrušovací filtry s různými parametry, pro různé provozní proudy a napětí. Na základě zadaného jmenovitého proudu a napětí byl zvolen třífázový odrušovací filtr 3ELF250ET, jehož základní technické parametry jsou shrnuty v tabulce 3. Tento odrušovací filtr splňuje požadavky na odrušení pro obytná prostředí.

I_N [A]	U_N [V]	Typ	I_{UNIK} [mA]	P_{Cu} [W]	ΣL [mH]	ΣC_x [μ F]	ΣC_y [μ F]
250	440	3EL250ET	1,9	30	1,8	4	0,22

Tab. 3 Základní technické parametry odrušovacího filtru 3EL250ET výrobce ELFIS [9]

Obr. 13 znázorňuje vnitřní zapojení trojfázového odrušovacího filtru zvolené řady. Svorky vstupních fází jsou označeny U1, V1 a W1. Výstupní svorky jsou U1', V1' a W1'.

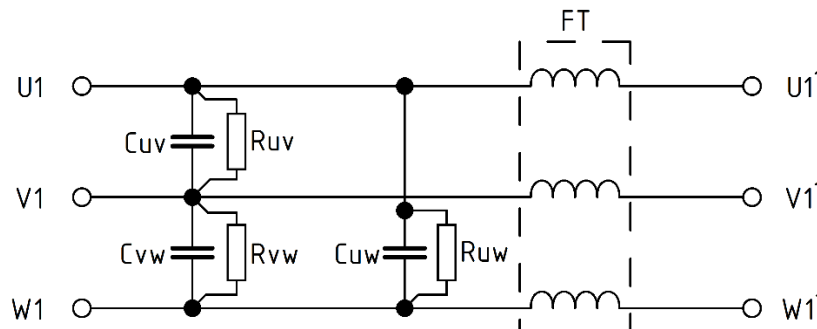


Obr. 13 Vnitřní schéma zapojení odrušovacích filtrů řady 3ELxxET výrobce ELFIS [9]

4.6 Filtrační tlumivka

4.6.1 Vstupní kondenzátory

Pro zajištění impedančního oddělení mezi vstupní tlumivkou (FT) pulzního usměrňovače a transformátorem jsou zapojeny mezi jednotlivé fáze kondenzátory (C_{uv} , C_{vw} a C_{uw}), o jmenovité hodnotě $10\mu\text{F}$. Tyto kondenzátory vytvoří tvrdší charakter zdroje a sníží namáhání vinutí transformátoru vyššími harmonickými. Napět'ově jsou dimenzovány na sdružené napětí.



Obr. 14 Sestava vstupních kondenzátorů a filtrační tlumivky

Použity jsou kondenzátory s co nejmenší parazitní indukčností, vhodné pro filtry, např. polypropylénové kondenzátory s maximální pracovní efektivní hodnotou napětí 450V .

4.6.2 Vybíjecí rezistory

Jejich účelem je postupné vybití náboje, řádově během několika desítek sekund, který zůstane na kondenzátoru po jeho odpojení od zdroje napětí. Vybíjecí rezistory R_{uv} , R_{vw} a R_{uw} jsou zapojeny paralelně k vstupním kondenzátorům a jejich postupným vybitím zabraňují případnému úrazu elektrickým proudem při práci na elektrickém zařízení, který by v případě nabitého kondenzátoru mohl nastat i po odpojení zařízení od zdroje napětí.

Při určení hodnoty vybíjecího rezistoru vycházíme z následujícího vztahu:

$$U_{C(t)} = U_{C0} \cdot e^{-\frac{1}{R \cdot C} t} \text{ [V]} \quad (8)$$

Kde $U_{C(t)}$ [V] je konečná hodnota napětí na kondenzátoru v čase t , U_{C0} [V] je počáteční hodnota napětí na kondenzátoru, tedy v okamžiku odpojení napájení. R [Ω] je hodnota odporu vybíjecího rezistoru, C [F] je hodnota kapacity kondenzátoru a t [s] je doba dosažení hodnoty napětí $U_{C(t)}$ na kondenzátoru. Z uvedeného vztahu (8) je dále vyjádřena neznámá veličina R :

$$R = \frac{t}{\ln\left(\frac{U_{C0}}{U_{C(t)}}\right) \cdot C} \text{ [\Omega]} \quad (9)$$

Řekněme, že na kondenzátoru by měla být za dobu uplynutí jedné minuty hodnota dotykového napětí $U_{c(t)}$ rovna 50V, kterou již lze, samozřejmě v závislosti na daném prostředí, považovat za bezpečnou. Za U_{C0} je dosazena maximální hodnota sdruženého efektivního napětí 400V, která může na kondenzátoru v okamžiku odpojení napájení být, tedy 565V. Uvažovaná hodnota kapacity kondenzátoru je 10 μ F. Dosazení do (9):

$$R = \frac{60}{\ln\left(\frac{565}{50}\right) \cdot 10 \cdot 10^{-6}} [\Omega] \quad (10)$$

Výsledná hodnota odporu vybíjecího rezistoru, určená z rovnice (10), je zhruba 2,5M Ω . Při praktické realizaci se vychází např. z odporové řady E12, na základě které by nejbližší prakticky vyráběná hodnota rezistoru byla 2,2 nebo 2,7M Ω .

Výkonovou ztrátu na vybíjecím rezistoru lze určit z následujícího vztahu:

$$P = \frac{U_{C0}^2}{R} [\text{W}] \quad (11)$$

Kde P[W] je ztrátový výkon, U_{C0} [V] je maximální hodnota sdruženého efektivního napětí 400V, tedy 565V, a R[Ω] je hodnota odporu určená z (10).

Po dosazení do (11):

$$P = \frac{565^2}{2,5 \cdot 10^6} [\text{W}] \quad (12)$$

Hodnota ztrátového výkonu na vybíjecím rezistoru, určeného z rovnice (12), je 0,129W.

4.6.3 Parametrizace filtrační tlumivky

Filtrační tlumivka (FT) je umístěna na vstupu pulzního usměrňovače. Vyhlazuje proud, který usměrňovač odebírá, a zároveň dává vstupu usměrňovače charakter proudového obvodu.

Nejprve je nutné z Ohmova zákona určit indukanci tlumivky:

$$X_L = \frac{U_f}{I} [\Omega] \quad (13)$$

Kde X_L [Ω] je indukance tlumivky, I[A] je proud a U_f [V] je hodnota fázového napětí. Na tlumivce by měl být úbytek 5-8 % fázového napětí. Pro účely výpočtu je uvažována hodnota úbytku 6% z 230V, tedy přibližně 13,8V, za proud je dosazena hodnota 150A:

$$X_L = \frac{13,8}{150} [\Omega] \quad (14)$$

Hodnota indukčnosti tlumivky určená z rovnice (14) je $0,092\Omega$. Nyní je možné určit indukčnost z následujícího vztahu:

$$L = \frac{X_L}{\omega} \text{ [H]} \quad (15)$$

Kde $X_L[\Omega]$ je indukčnost tlumivky, $\omega[s^{-1}]$ je úhlová frekvence a $L[H]$ je hodnota indukčnosti.

Po dosazení do (15):

$$L = \frac{0,092}{2 \cdot \pi \cdot 50} \text{ [H]} \quad (16)$$

Z rovnice (16) byla určena hodnota indukčnosti filtrační tlumivky $2,93 \cdot 10^{-4}H$, tedy přibližně $0,3mH$.

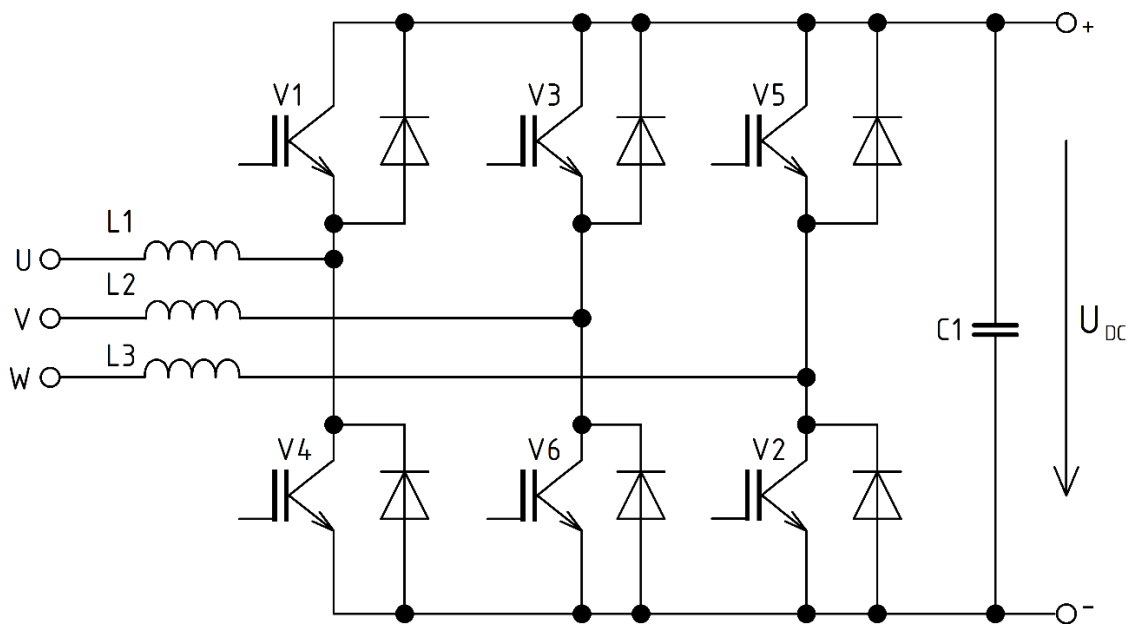
Obr. 15 znázorňuje příklad praktického provedení třífázové filtrační tlumivky, pro jmenovitý proud 200A, výrobce EATON [13].



Obr. 15 Příklad praktického provedení 3f filtrační tlumivky EATON [13]

4.7 Pulzní usměrňovač

Značnou nevýhodou klasické koncepce diodových nebo tyristorových usměrňovačů je zkreslený nesinusový proud, který je odebírán ze sítě. Tento nesinusový proud má za následek vznik vyšších harmonických v síti, které zatěžují vedení, způsobují rušení signálu HDO a způsobují nadměrné zahřívání transformátorů. Mělo by tedy být obecnou snahou, aby odebíraný proud zařízení měl v ideálním případě harmonický průběh. Průběh vstupního proudu pulzního usměrňovače je, s použitým vstupním filtrem, prakticky téměř harmonický. Pulzní usměrňovač také může pracovat s hodnotou $\cos\varphi$ téměř jedna, zatímco usměrňovač klasické tyristorové koncepce odebírá ze sítě značný jalový výkon.



Obr. 16 Schéma třífázového pulzního usměrňovače

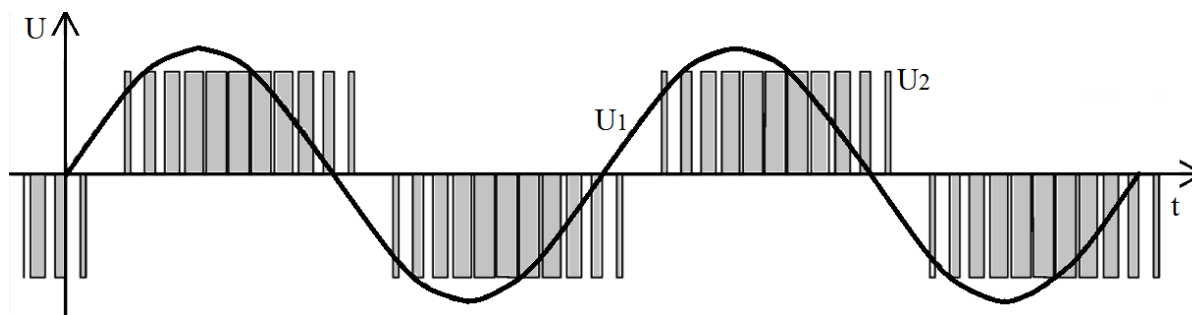
Indukčnosti L1, L2 a L3 na vstupu pulzního usměrňovače jsou filtrační tlumivky, o nichž pojednává kapitola 4.6.3.

4.7.1 Princip funkce

Místo běžných diod nebo tyristorů využívá tato topologie usměrňovače zpětné závěrné plně řízené polovodičové prvky, tj. převážně IGBT. Schéma třífázového pulzního usměrňovače vychází ze zapojení třífázového můstkového střídače. Z toho plyne, že pulzní usměrňovače umožňují rekuperaci, tedy změnu toku elektrické energie. V této konkrétní aplikaci ovšem tato vlastnost nebude využita.

Pulzní usměrňovač pracuje jako zvyšovací měnič, tzn. i to nejnižší stejnosměrné napětí na výstupu musí být vždy vyšší, než amplituda vstupního střídavého napětí.

Každá větev můstku je určena pro vedení proudu v obou směrech a blokování napětí jedné polarity. V každém okamžiku musí vést z každého vertikálního sloupce jedna větev, tedy současně vedou tři větve trojfázového můstku. [7]



Obr. 17 Průběhy vstupního napětí pulzního usměrňovače

Střídavý průběh napětí U_1 je před vstupní tlumivkou pulzního usměrňovače, tedy na výstupu z vf filtru. Modulované napětí U_2 je na vstupních střídavých svorkách usměrňovače

Při napájecím napětí 3x400V je možné pulzní usměrňovač efektivně používat až od hodnoty výstupního napětí cca 600V. Pod touto hodnotou lze pracovat jen s omezeným výstupním výkonem. Pro zajištění dostatečného výstupního výkonu i při nižších napětích je použit snižující pulzní měnič, který následuje za pulzním usměrňovačem.

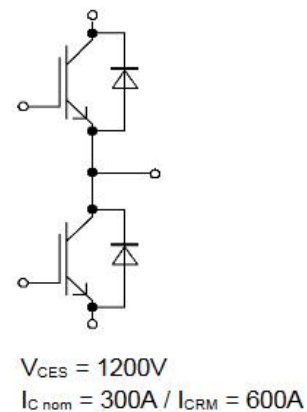
4.7.2 Řízení pulzního usměrňovače

Kritériem pro řízení je dosažení definovaných parametrů elektrických veličin na výstupu pulzního usměrňovače. V případě použití pro nabíjecí stanici se bude jednat o regulaci výstupního stejnosměrného proudu. Šířkově pulzní řízení se provádí střídavým vypínáním a zapínáním napětí zdroje pomocí měniče na zátěž vícekrát za dobu periody vstupního napětí měniče [7].

Řízení napětí na výstupu pulzního usměrňovače probíhá na základě informací z battery managementu vozidla v koordinaci s řízením pulzního snižujícího měniče. Jeho popisem, konkrétní formou a součinností celého řízení obou měničů se zabývá kapitola 4.8.3.

4.7.3 Specifikace výkonových tranzistorových modulů

Výkonové prvky IGBT se dodávají v provedení modulů. Výhodnou této koncepce je možný bezpotenciálový styk s chladičem, kompaktnost a možnost dosáhnout velké integrace obvodů a součástek v jednom modulu. Pro aplikaci nabíjecí stanice byly s dostatečnou rezervou zvoleny jmenovité parametry modulu o hodnotách závěrného napětí 1200V a proudu v rozsahu 300A. Uvedenému napěťovému i proudovému rozsahu vyhovuje IGBT modul FF300R12KT4P, který obsahuje integrovanou dvojici tranzistorů a diod [11]. Na celou sestavu pulzního usměrňovače by byly použity tři tyto moduly.



Obr. 18 Pouzdro a vnitřní struktura modulu FF300R12KT4P [11]

4.7.4 Varianta s SiC FET

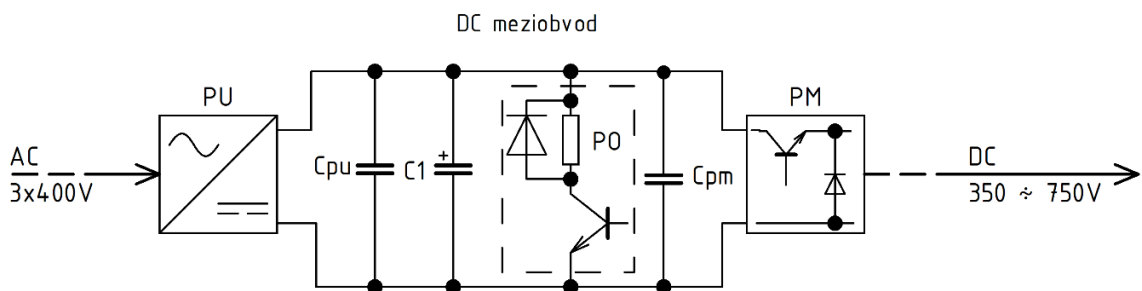
V základní variantě návrhu pulzního usměrňovače pro nabíjecí stanici je počítáno s použitím výkonových polovodičových součástek IGBT. V současné době se v mnoha výkonových polovodičových strukturách začínají využívat součástky na bázi karbidu křemíku SiC. Výkonové tranzistory této konstrukce vykazují, v porovnání s výkonovými polovodičovými součástkami na bázi křemíku, velmi dobrou tepelnou vodivost zajišťující podmínky pro odvod ztrátového tepla. Pracovat mohou i při vysokých teplotách až 600°C. Možnost využití výrazně vyšších spínacích frekvencí (až stovky kHz) a s tím souvisejícím snížením spínacích ztrát předurčuje použití SiC součástek pro specifické měničové struktury a řízení elektrických pohonů, které je možné provozovat se značně vyšší účinností.

Využívání vyšších spínacích frekvencí znamená věnovat zvýšenou pozornost vzniku nežádoucích rušivých vlivů a elektromagnetické kompatibility. Vzhledem k velmi krátkým spínacím časům SiC součástek je nutné podstatně potlačovat parazitní indukčnosti a kapacity obvodů i elektromagnetické vyzařování. Místo vstupních tlumivek usměrňovače je nutné použít sinusový LC filtr. V případě využití SiC FET tranzistorů v pulzním usměrňovači v navrhované nabíjecí stanici by s tímto samozřejmě bylo nutné počítat.

4.7.5 Vyhlažovací kondenzátory

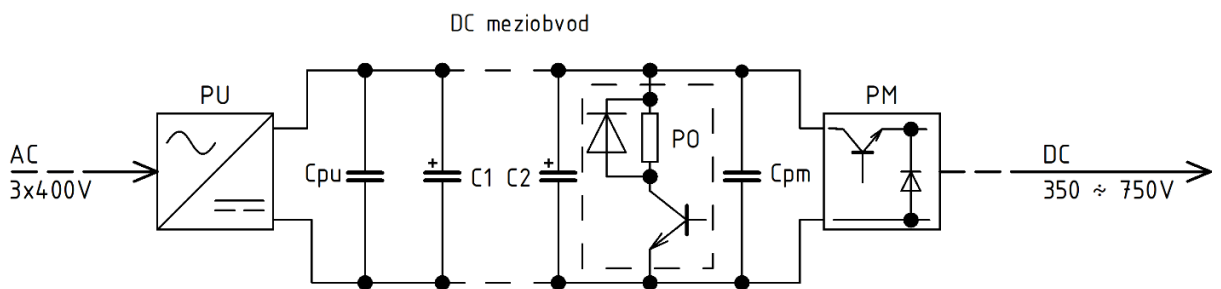
Na výstupu pulzního usměrňovače je připojena skupina kondenzátorů, která zajistí vyhlazení průběhu výstupního napětí. Napětí ově musí být dimenzována s dostatečnou rezervou, minimálně na nejvyšší přípustnou hodnotu napětí na výstupu pulzního usměrňovače.

V případě optimální konstrukce (obr. 19) budou pulzní usměrňovač (PU) i snižující pulzní měnič (PM) tvořit jeden konstrukční celek. Tudiž mezi nimi v stejnosměrném meziobvodu bude elektrolytický kondenzátor C1 s kapacitou přibližně 15mF a dva kondenzátory (Cpu a Cpm) s kapacitou řádově několika stovek nF, s minimální indukčností, každý připojen co nejbližší ke každému měniči.



Obr. 19 Umístění kondenzátorů v DC meziobvodu – jeden konstrukční celek měničů

V případě, že si prostorové uspořádání konstrukce vynutí oddělené umístění obou měničů (obr. 20), kondenzátory s malou kapacitou (C_{pu} a C_{pm}) u každého měniče zůstávají, avšak každý měnič má nyní svůj elektrolytický kondenzátor (C1 a C2) s kapacitou do 10mF.



Obr. 20 Umístění kondenzátorů v DC meziobvodu – oddělené umístění měničů

Pokud dojde k náhlému odpojení baterie, například v důsledku zareagování výstupní nadproudové ochrany, může dojít k rychlému a nebezpečnému nárůstu napětí na kondenzátoru. Pro omezení takto vzniklého přepětí je určena přepětěová ochrana (PO) DC meziobvodu, která je tvořena sériovou kombinací rezistoru, k němu paralelně připojené nulové diodě, a tranzistoru. Při jeho sepnutí je přebytečná energie z kondenzátoru měněna na teplo v rezistoru. Jeho hodnota je uvažována řádově několik desítek ohmů a výkon na menší stovky wattů.

4.7.6 Vybíjecí rezistor

Obdobně jako vybíjecí rezistory u vstupních kondenzátorů, které popisuje kapitola 4.6.2, je i u vyhlazovacích kondenzátorů DC meziobvodu nutné umístit vybíjecí rezistor, který zajistí jejich vybití na úroveň bezpečného dotykového napětí. Pro výpočet hodnoty odporu vybíjecího rezistoru je použit stejný vztah (9), jako při výpočtech v kapitole 4.6.2. Opět uvažujeme, že na kondenzátoru by měla být za dobu uplynutí jedné minuty hodnota dotykového napětí $U_{c(t)}$ rovna 50V. Za U_{C0} je dosazena maximální hodnota napětí na výstupu pulzního usměrňovače, tedy 750V. Uvažovaná hodnota kapacity kondenzátoru je 15mF. Dosazení do (9):

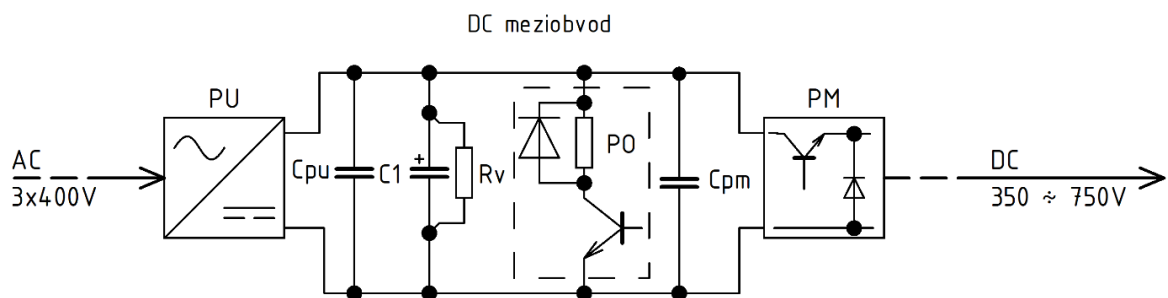
$$R = \frac{60}{\ln\left(\frac{750}{50}\right) \cdot 15 \cdot 10^{-3}} [\Omega] \quad (17)$$

Výsledná hodnota odporu vybíjecího rezistoru, určená z rovnice (17), je zhruba 1477 Ω . Výkonovou ztrátu na vybíjecím rezistoru lze určit dosazením do již použitého vztahu (11) v kapitole 4.6.2. Uvažujme maximální hodnotu napětí U_{C0} na výstupu pulzního usměrňovače rovnu 750V a hodnotu odporu rezistoru, určenou z rovnice (17):

$$P = \frac{750^2}{1477} [\text{W}] \quad (18)$$

Ztrátový výkon na vybíjecím rezistoru, určený z rovnice (17), je 380W. Tato hodnota ztrátového výkonu je ovšem trvale nepřijatelná a při případné praktické realizaci by bylo vhodné použít rezistor se zhruba desetkrát větší hodnotou, tedy alespoň 15k Ω , který zmenší trvalý proud tímto rezistorem a tím i výkonovou ztrátu, která by pak byla 38W.

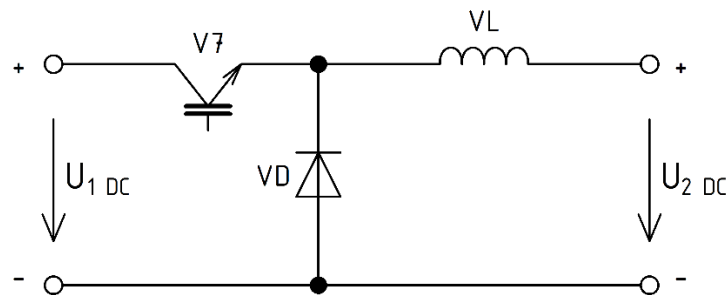
Zvětšení hodnoty odporu vybíjecího rezistoru (R_V) sice prodlouží dobu vybíjení kondenzátoru, avšak prakticky by se kondenzátor vybíjel i do přidružených řídicích obvodů měničů, což celý proces vybíjení urychlí. Při výpočtu byl také zanedbán vlastní svodový proud kondenzátoru.



Obr. 21 Umístění vybíjecího rezistoru (R_V) v DC meziobvodu

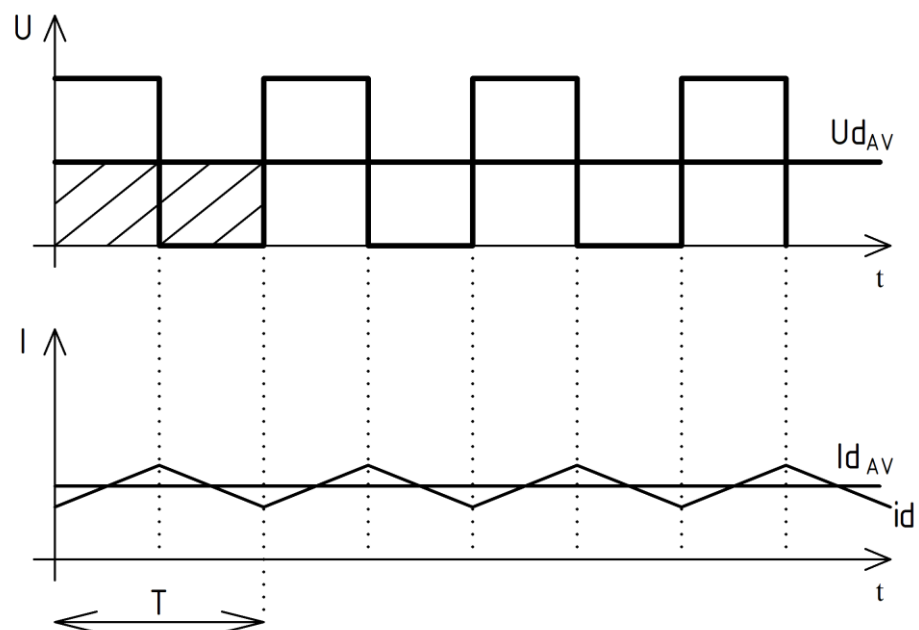
4.8 Pulzní snižovací měnič

Vzhledem k poměrně značnému rozsahu výstupního napětí rychlonabíjecí stanice, který není možné celý dostatečně napětově pokrýt pouze pulzním usměrňovačem, je nutné zařadit za pulzní usměrňovač snižovací pulzní měnič. Tento měnič pracuje při požadavku na hodnotu výstupního napětí pod úroveň 600V, což je nejnižší možná hodnota výstupního napětí pulzního usměrňovače, při které ještě nedojde k napětovému omezení.



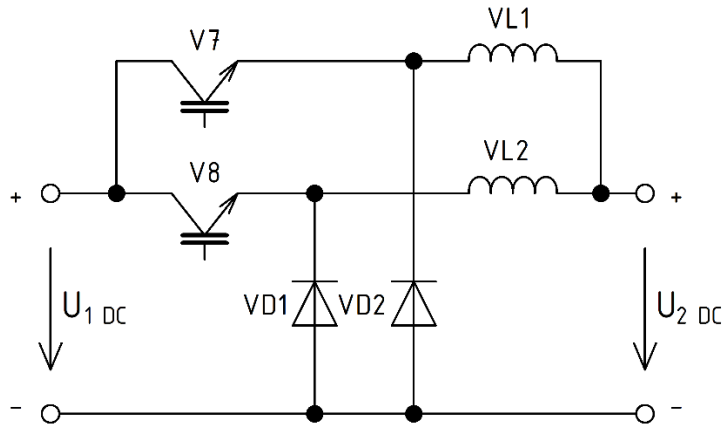
Obr. 22 Schéma snižovacího pulzního měniče

Snižující pulzní měnič je tvořen spínacím tranzistorem (V7), nulovou diodou (VD) a výstupní tlumivkou (VT). Řídí střední hodnotu napětí na zátěži od nuly do napětí na jeho vstupu tak, že je tranzistor spínán s určitou periodou. Při sepnutém tranzistoru je na výstupu, při zanedbání úbytku napětí na sepnutém tranzistoru, stejné napětí, jako na vstupu. Do zátěže teče proud i_d , část energie se akumuluje ve výstupní tlumivce. Po uzavření tranzistoru se tlumivka stává zdrojem, proud i_d teče dál v původním směru a uzavírá se přes nulovou diodu.



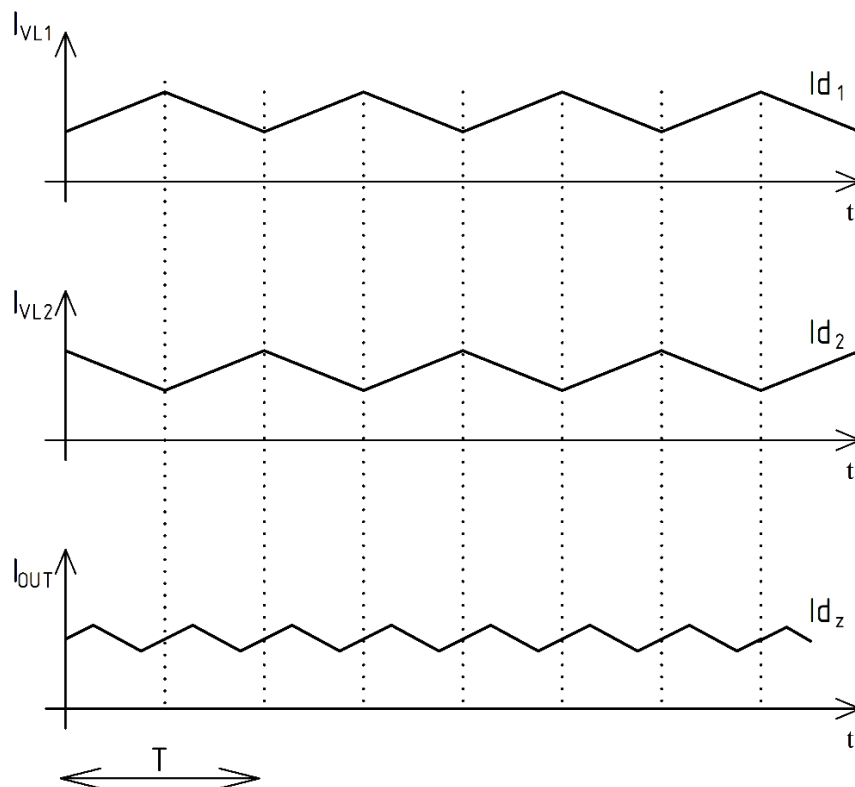
Obr. 23 Průběhy napětí a proudu na snižovacím pulzním měniči

Zvlnění výstupního proudu je závislé na hodnotě indukčnosti výstupní tlumivky VL. Je však možné ho snížit použitím dvoufázového pulzního měniče s přesazeným řízením. V tomto zapojení jsou použity dva měniče – každý má svůj spínací tranzistor (V7 a V8), nulovou diodu (VD1 a VD2) a tlumivku (VL1 a VL2). Přesazení, nebo-li fázový posuv řízení je, v tomto případě, roven $T/2$.



Obr. 24 Schéma snižovacího doufázového pulzního měniče

Výhodou tohoto zapojení je, kromě zmenšení zvlnění výstupního proudu, možnost dimenzování použitých polovodičových prvků na poloviční jmenovitý proud. Kromě toho lze použít výstupní tlumivky s poloviční indukčností a dimenzované na poloviční jmenovitý proud.



Obr. 25 Průběhy proudů dvoufázového snižovacího pulzního měniče ($z = 0,5$)

4.8.1 Specifikace výstupní tlumivky

K výpočtu hodnoty výstupní indukčnosti byla použita následující rovnice [7]:

$$\Delta I_2 = \frac{U_1}{f * L} * z * (1 - z) \quad (19)$$

Kde ΔI_2 [A] je hodnota zvlnění výstupního proudu, U_1 [V] je vstupní napětí měniče, f [Hz] je frekvence šířkově pulzní modulace, L [H] je hodnota indukčnosti a z [-] je činitel plnění. Z uvedeného vztahu lze explicitně vyjádřit L :

$$L = \frac{U_1 * z * (1 - z)}{\Delta I_2 * f} [H] \quad (20)$$

Uvažujeme-li, že zvlnění nabíjecího proudu by nemělo přesáhnout 10% I_2 , hodnota ΔI_2 je tedy v tomto případě rovna 20A, frekvence šířkově pulzní modulace je 5kHz, činitel plnění uvažujeme $z = 0,5$, což je nejnepríznivější případ – nastává při něm maximální zvlnění. Hodnotu napětí U_1 neznáme, nicméně lze ji nepřímo určit jako úbytek napětí na odporu baterie a tlumivky. Pro potřeby výpočtu je brána hodnota $0,12\Omega$. Do rovnice (20) dosadíme tedy za hodnotu napětí U_1 definici Ohmova zákona:

$$L = \frac{R_t * I * z * (1 - z)}{\Delta I_2 * f} [H] \quad (21)$$

Po dosazení do (21):

$$L = \frac{0,12 * 200 * 0,5^2}{20 * 5 * 10^3} [H] \quad (22)$$

Hodnota indukčnosti spočítaná z rovnice (22) je 0,06mH. Pro účely výpočtu byla hodnota napětí U_1 nepřímo určena odhadem, byly zanedbány odpory vodičů, přechodové odpory apod., tudíž při praktické realizaci výstupní tlumivky je možné počítat s hodnotou 0,1 až 0,15mH, jmenovitý proud tlumivky 200A.

S přihlédnutím k požadavku na nízkou hodnotu zvlnění a poměrně náročné konstrukční řešení takové tlumivky by bylo vhodné při konstrukci rychlonabíjecí stanice použít dvoufázový snižovací pulzní měnič. Výsledná indukčnost výstupních tlumivek by byla poloviční, tedy 0,05 až 0,075mH, dimenzované na proud 100A.

Pomocí proudového čidla (PČ) je zjištěn aktuální proud na výstupu sestavy pulzního usměrňovače (PU) a pulzního měniče (PM), je porovnán s žádanou hodnotou z battery managementu a případná vzniklá regulační odchylka má za následek změnu střídavy šířkově pulzního řízení. Pokud není tato hodnota battery managementem omezena, je s ohledem na parametry určené v kapitole 3, maximální nabíjecí proud roven 200 A.

Napěťové čidlo (NČ) podává informaci řídicí jednotce o hodnotě stejnosměrného výstupního napětí, na základě které probíhá popsany způsob řízení jednotlivých měničů.

Pulzní měnič zároveň slouží jako bezkontaktní vypínač mezi pulzním usměrňovačem a vozidlem, což zajišťuje bezpečnost celého zařízení.

4.9 Proudové jištění výstupu

Pro proudovou ochranu stejnosměrného výstupu je navrženo použití kompaktního stejnosměrného jističe se jmenovitým proudem 200A a napětím až 1000V. Výrobem těchto jističů je např. firma Noark.



Obr. 27 DC jistič Noark 125A, 3pól [12]

Jističe na DC proud jsou konstrukčně odlišné od jističů určené pro střídavé proudy zejména principem zhášení elektrického oblouku. V okamžiku odpínání se při vyšších napětích musí vzniklý DC oblouk mezi kontakty dostat do zhášecí komory pomocí permanentních magnetů, které jsou po stranách vynašeče. Pokud se tak nestane, nedojde k přerušení oblouku, což má za následek upálení kontaktů. Z toho důvodu je nutné dodržet při montáži DC jističe předepsanou polaritu [12].

Pro jištění stejnosměrných napětí o hodnotách řádově několik set voltů se používají tři až čtyř pólové jističe, kdy jsou jednotlivé póly zapojeny do série. Tím je sníženo napěťové namáhání celého přístroje.

5 NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

5.1 Výběr vhodného trafokiosku

Pro konstrukční řešení celé rychlonabíjecí stanice, napájené ze sítě VN, se přímo nabízí použití celobetonových blokových transformoven (trafokiosků), které jsou ideální volbou pro rychlou, bezpečnou a hospodárnou stavbu distribučních stanic VN/NN. Výrobou prefabrikovaných celobetonových transformoven se zabývá celá řada firem, např. Betonbau s. r. o., Eltraf, a. s., ZPUE nebo Power-energo.



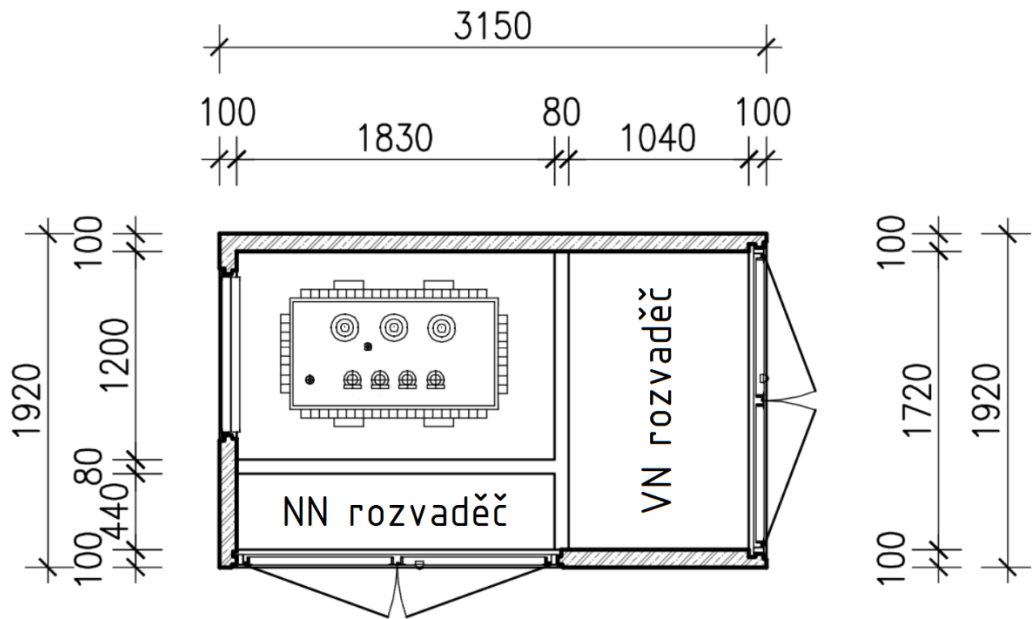
Obr. 28 Příklad kompaktní transformovny od firmy Betonbau s. r. o. [14]

Betonové kioskové trafostanice se obecně budují ve variantě s vnitřní nebo vnější obsluhou, v závislosti na požadované technické výzbroji a prostorových dispozicích. Pro potřeby rychlonabíjecí stanice rozměrově vyhovuje např. prefabrikovaný betonový trafokiossek UKL 3119, od firmy Betonbau s. r. o..

5.2 Uspořádání jednotlivých komponentů

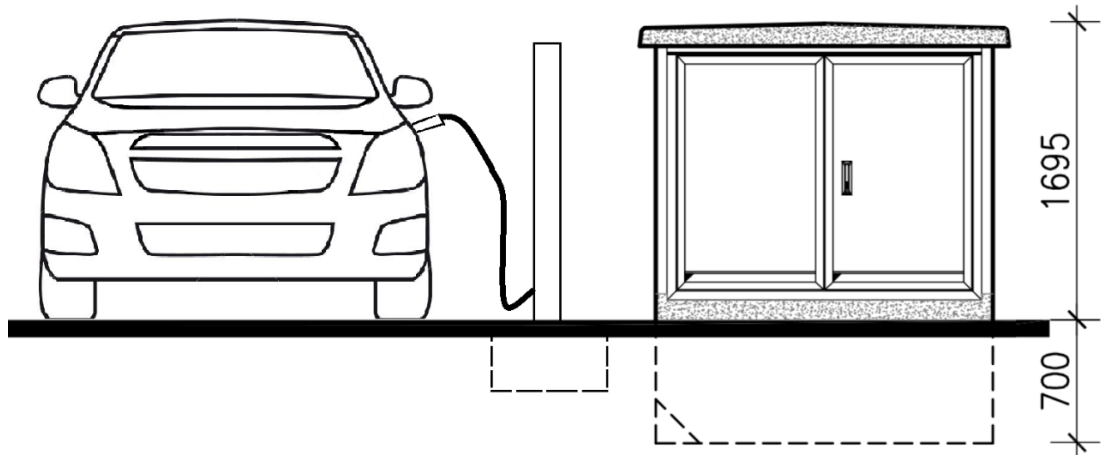
Kiosková trafostanice je obvykle stavebně dělena na dvě až tři oddělené komory (dle typu). První komora je tzv. „trafokopka“, která je určena pro umístění distribučního transformátoru. Tato komora obsahuje olejovou jímku, která pojme, v případě úniku, až 100% objemu oleje transformátoru. V další komoře jsou umístěny komponenty VN a NN rozvaděče. V případě rychlonabíjecí stanice jsou veškeré NN komponenty, tzn. NN ochrany, jednotlivé měniče atd., umístěny v prostoru určeném pro NN rozvaděč. Instalace a rozložení těchto jednotlivých

NN částí do trafokiosku je záležitost případného příslušného projektu a není předmětem této bakalářské práce. VN rozvaděč zůstává v této aplikaci umístěn na místě pro to určeném.



Obr. 29 Půdorys kompaktní transformovny UK 3119L [14]

Vlastní připojení nabíjeného vozidla je navrhováno pomocí kabelového vývodu s konektorem typu CCS, který je určen pro rychlodobíjení.



Obr. 30 Varianta rychlonabíjecí stanice se samostatným nabíjecím stojanem

V závislosti na konkrétním místě případné instalace, může být umístěn v bezprostředním okolí trafokiosku samostatný nabíjecí stojan s nabíjecím CCS konektorem a uživatelským rozhraním, spojený s vlastní nabíjecí stanicí podzemním kabelovým vedením, nebo může být nabíjecí CCS konektor, spolu s uživatelským rozhraním, umístěn přímo na stěnu trafokiosku.

5.3 Celkový ztrátový výkon

S ohledem na chlazení trafokiosku je nutné rámcově určit celkový ztrátový výkon použitých komponentů. Pro účely odhadu celkového ztrátového výkonu uvažujeme účinnost měničové části η_m rovnu 98% a celkové ztráty na vstupních a výstupních tlumivkách a vf filtru přibližně 1%, respektive účinnost této části η_{tlum} je 99%. Účinnost transformátoru (η_{tr}) 35/0,4kV 160kVA dosahuje, v případě nízkoztrátových transformátorů pro fotovoltaické elektrárny, hodnoty až 97%

Pro přibližné zjištění celkového ztrátového výkonu ΔP je nejprve nutné určit celkovou účinnost. Pro její výpočet je určen následující vzorec:

$$\eta_{celk} = \eta_m \cdot \eta_{tlum} \cdot \eta_{tr} \quad (23)$$

Dosazení jednotlivých předpokládaných účinností do (23):

$$\eta_{celk} = 0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,97 [-] \quad (24)$$

Hodnota celkové účinnosti rychlonabíjecí stanice, určená z (17), je rovna přibližně 94%. Celkový ztrátový výkon ΔP určíme z rozdílu vstupního příkonu a výstupního výkonu:

$$\Delta P = P_{vstup} - P_{výstup} \quad (25)$$

Vstupní příkon lze určit jako podíl výstupního výkonu a celkové účinnosti. Po dosazení do (25):

$$\Delta P = \frac{P_{výstup}}{\eta} - P_{výstup} \quad (26)$$

Číselné dosazení do (26):

$$\Delta P = \frac{100\,000}{0,94} - 100\,000 \quad (27)$$

Celková hodnota ztrátového výkonu ΔP , určená z (27), je rovna 6 382,98W.

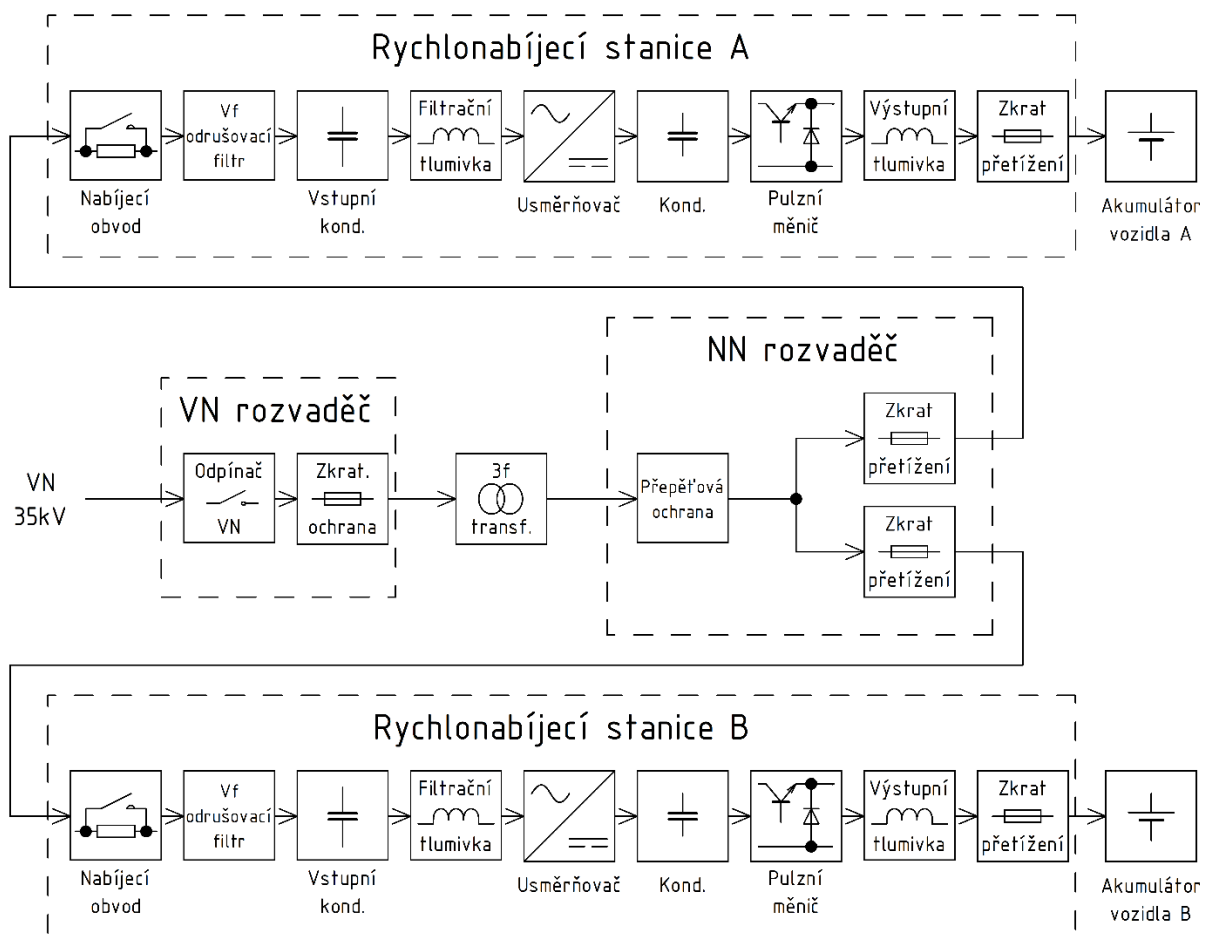
Pro zajištění přirozeného chlazení disponuje kiosková trafostanice ventilačními otvory, které jsou většinou osazeny hliníkovými žaluziemi, zajišťujícími ochranu IP43. Vzhledem k nezanedbatelnému ztrátovému výkonu zhruba 6,4kW, který je vyzářen do okolí ve formě tepla, bude patrně nutné zajistit dostatečnou cirkulaci vzduchu ve vnitřním prostoru kiosku formou ventilátoru.

5.4 Varianta s více nabíjecími místy

5.4.1 Rozšíření počtu míst pro rychlé dobíjení

Případné rozšíření počtu nabíjecích míst lze zajistit tím způsobem, že bude připojeno na jeden společný distribuční transformátor více jednotlivých obvodů nabíjecích stanic. V tomto případě je samozřejmě nutné vzít v úvahu rozdílné dimenzování veškerých prvků, které jsou pro obě nabíjecí místa společné, tedy prvky VN rozvaděče a distribuční transformátor.

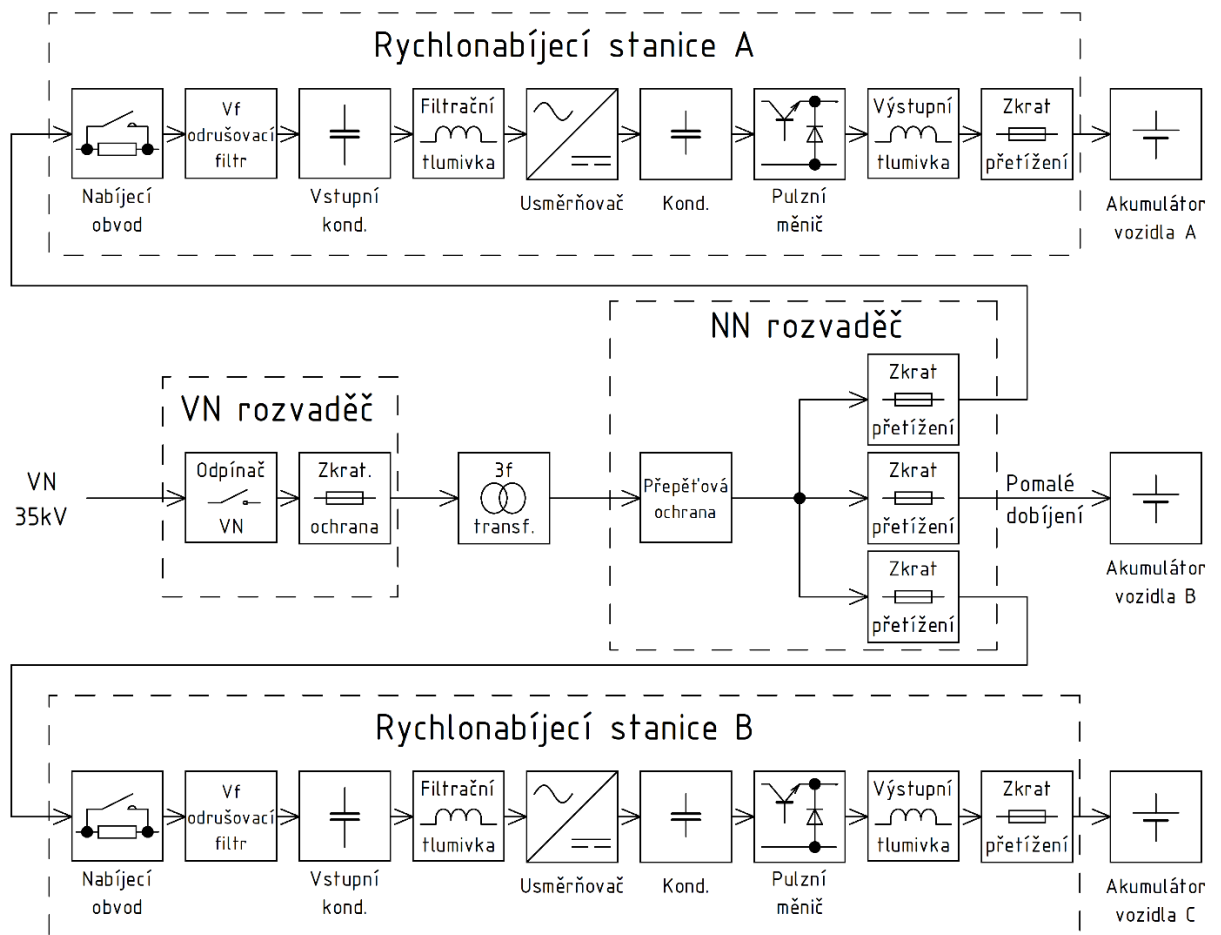
Samozřejmostí je také patřičná úprava a přizpůsobení NN rozvaděče. Z prostorových důvodů je možné, že bude zároveň v tomto případě nutné použít trafokiosek, který disponuje větším prostorem pro zabudování NN rozvaděče.



Obr. 31 Blokové schéma rychlonabíjecí stanice se dvěma rychlonabíjecími místy

5.4.2 Vytvoření míst pro pomalé dobíjení

Zároveň je teoreticky možné využít případný přebývající výkon distribučního transformátoru pro vytvoření nabíjecích míst pro pomalé nabíjení pomocí konektorů type 2 – Mennekes. Toto dobíjení, které je běžně provozováno v domácích podmínkách pomocí redukce na třífázovou zásuvku CEE32A, probíhá na napětí $3 \times 400V$ AC, které je na výstupu distribučního transformátoru přímo, bez jakýchkoliv dodatečných úprav, k dispozici. V případě vytvoření zmíněného místa pro pomalé nabíjení je však nutné zajistit patřičnou proudovou ochranu výstupu. Výstupní proud se při tomto typu dobíjení pohybuje do 32A a výkon do hodnoty 22kW [2].



Obr. 32 Blokové schéma rychlonabíjecí stanice s variantou s pomalým dobíjením

5.5 Způsob připojení na VN síť

Pro připojení rychlonabíjecí stanice na distribuční síť VN se předpokládá použití podzemní kabelové přípojky. V závislosti na konkrétní místní situaci plánovaného umístění nabíjecí stanice může být konfigurace připojení, respektive VN rozvaděče, v zásadě dvojího typu – pro koncovou trafostanici, kde je jen přívod VN a výstup na transformátor, nebo pro smyčkovou trafostanici na VN distribuční lince, kde je VN přívod, VN vývod a výstup na transformátor.

5.6 Normy týkající se řešení nabíjecích stanic

Obecně, při konstrukci elektrických zařízení je nutné postupovat v souladu s platnou legislativou a příslušnými předepsanými normami. V případě nabíjecích stanic pro elektromobily se jedná o soubor evropských norem EN 61851 pod společným názvem „Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením“, který má čtyři části [15]:

- 1) **ČSN EN 61851-1** (34 1590) Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením
Část 1: Všeobecné požadavky
- 2) **ČSN EN 61851-21** (34 1590) Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením
Část 21: Požadavky na elektrická vozidla pro vodivé připojení k AC/DC napájení
- 3) **ČSN EN 61851-22** (34 1590) Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením
Část 22: AC nabíjecí stanice elektrického vozidla
- 4) **ČSN EN 61851-23** Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením
Část 23: DC nabíjecí stanice elektrického vozidla

ZÁVĚR

Tato práce se zabývala návrhem silové části rychlonabíjecí stanice pro elektromobilitu, napájené ze sítě VN. V práci byly nejprve rozebrány jednotlivé, v současnosti používané, topologie nabíjecích stanic. Byly popsány jednotlivé používané konektory a používané akumulátory ve vozidlech. Současně byly uvedeny vlastnosti distribučních transformátorů. Dále, již na základě zadaných parametrů, probíhal návrh samotné rychlonabíjecí stanice. Bylo navrženo blokové schéma, načež byly následně postupně popisovány a dimenzovány jeho jednotlivé části od přívodu VN směrem k nabíjenému vozidlu. Zvolená koncepce využití kombinace pulzního usměrňovače a pulzního snižovacího měniče umožňuje elegantní pokrytí celého napětového rozsahu výstupu, v mezích dle požadavku zadání, na základě informací z battery managementu nabíjeného vozidla a také má za následek odběr prakticky sinusového proudu z transformátoru, což značně omezí jeho namáhání vyššími harmonickými složkami.

V konstrukční části práce bylo navrženo řešení instalace veškerých komponentů do prefabrikovaného trafokiosku. Nedílnou součástí je určení celkového ztrátového výkonu, který nelze, s ohledem na poměrně značné nabíjecí výkony, zcela zanedbat. Navrhované řešení rychlonabíjecí stanice poskytuje účinnost zhruba 94%, což je hodnota téměř srovnatelná s rychlonabíjecími stanicemi, které jsou napájeny přímo z NN. Dále jsou v této části také uvedeny návrhy konstrukčních řešení rychlonabíjecí stanice s více nabíjecími místy a to se dvěma rychlonabíjecími místy a následně ještě s jedním místem pro pomalé nabíjení. Případné praktické využití těchto řešení záleží na nevyužitém výkonu distribučního transformátoru a požadavcích případného investora.

Myšlenka napájení rychlonabíjecí stanice přímo z distribuční sítě VN s sebou přináší řadu pozitiv, zejména využití volných distribučních kapacit v těchto sítích, a dále dostatečnou tvrdost vzniklé NN sítě, zajištěnou blízkým umístěním vlastního distribučního transformátoru. Použití rychlonabíjecích stanic této koncepce je předpokládáno všude tam, kde je možné pro tyto účely distribuční síť VN využít, zejména na nově se rozšiřujících periferiích měst, u čerpacích stanic, nákupních center a podobně, tedy na místech s předpokládanou vysokou četností nabíjení.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Základy nabíjení. *Autonabijeni.cz* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.autonabijeni.cz/blog/zaklady-nabijeni/>
- [2] Charging cable and plug types. *Mobilityhouse.com* [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: https://www.mobilityhouse.com/int_en/knowledge-center/charging-cable-and-plug-types
- [3] GRIC, P. – JEHLIČKA, J. - HAVELKA, D.: Rychlonabíjecí stanice pro elektromobily – hardware nebo služba?. In: XXXV. celostátní konference o elektrických pohonech. Plzeň, 2017, s. 71-77. ISBN 978-80-02-02724-9.
- [4] NOVÁK, J. – SADÍLEK, O. – SÝKORA, P.: Lithiové trakční akumulátory pro elektromobilitu, část 1. Časopis ELEKTRO 2016, roč. 26, č. 11, vydavatel FCC Public, Praha 2016, ISSN 0322-9025
- [5] NOVÁK, J. – SADÍLEK, O. – SÝKORA, P.: Lithiové trakční akumulátory pro elektromobilitu, část 2. Časopis ELEKTRO 2016, roč. 26, č. 12, vydavatel FCC Public, Praha 2016, ISSN 0322-9025
- [6] Plynem izolovaný vn rozvaděč 8DJH Compact – maximální funkčnost na minimální ploše. *Siemens* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://new.siemens.com/cz/cs/products/energy/medium-voltage/systems/8djh_compact.html
- [7] PAVELKA, Jiří, Zdeněk ČEŘOVSKÝ a Jiří LETTL. *Výkonová elektronika*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-800-1036-266.
- [8] SVC Svodiče přepětí. *EOZ Letohrad* [online]. [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/produkty/svc-svodice-prepeti-typ-2>
- [9] *Třífázové odrušovací filtry: ELFIS spol. s r.o.* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <http://www.elfis.cz/shop/products/odrusovaci-filtry%2C-supress-filters/3-fazove/3-fazove-etv/3elf10et/>
- [10] BD250 Jističe MCCB do 250 A. *OEZ Letohrad* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/produkty/bd250-kompaktni-jistice>
- [11] *Infineon Technologies* [online katalogový list]. FF300R12KT4P. @2016 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-FF300R12KT4P-DS-v02_00-EN.pdf?fileId=5546d46253a864fe0153e6b0a6637954
- [12] DC kompaktní jističe: NOARK DC kompaktní jistič 200A, 3pól. *Iftech.cz* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/dc-kompaktni-jistice/1318-dc-kompaktni-jistic-m2-icu-ics-50ka-in-200a-3pol.html>
- [13] Eaton 269512 Tlumivka 3-fáz, 550V, In=200A DX-LN3-200. *Emas.cz: elektromateriál* [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.emas.cz/eaton-269512-tlumivka-3-faz-550v-in-200a-dx-ln3-200>
- [14] Kompaktní trafostanice. *ELRO* [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.elro.cz/servis-a-sluzby/dodavky-kioskovych-trafostanic/kompaktni/>
- [15] ING. CSIRIK, Vincent. Nové normy ČSN (18). *ELEKTRO: Časopis pro elektrotechniku* [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/nove-normy-csn-18--14714>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Nabíjecí konektor Typ 2 – Mennekes [2]	12
Obr. 2 Nabíjecí konektor CHAdEMO [2]	13
Obr. 3 Nabíjecí konektor CCS [2]	13
Obr. 4 Topologie rychlonabíjecí stanice se síťovým transformátorem	14
Obr. 5 Topologie rychlonabíjecích stanic s vysokofrekvenčním transformátorem.....	14
Obr. 6 Vnitřní zapojení distribučního transformátoru Dyn1	16
Obr. 7 Distribuční transformátory s převodem 35/0,4kV o výkonu 160kVA	17
Obr. 8 Blokové schéma rychlonabíjecí stanice napájené z distribuční VN sítě	19
Obr. 9 VN rozvaděč Siemens 8DJH Compact [6]	20
Obr. 10 SVC svodič přepětí O EZ Letohrad.....	23
Obr. 11 BD250 Jistič MCCB 250 A O EZ Letohrad [10]	23
Obr. 12 Schéma zapojení nabíjecího obvodu kondenzátorů.....	24
Obr. 13 Vnitřní schéma zapojení odrušovacích filtrů řady 3ELxxET výrobce ELFIS [9].....	26
Obr. 14 Sestava vstupních kondenzátorů a filtrační tlumivky.....	27
Obr. 15 Příklad praktického provedení 3f filtrační tlumivky EATON [13]	29
Obr. 16 Schéma třífázového pulzního usměrňovače	30
Obr. 17 Průběhy vstupního napětí pulzního usměrňovače	31
Obr. 18 Pouzdro a vnitřní struktura modulu FF300R12KT4P [11].....	32
Obr. 19 Umístění kondenzátorů v DC meziobvodu – jeden konstrukční celek měničů.....	33
Obr. 20 Umístění kondenzátorů v DC meziobvodu – oddělené umístění měničů	33
Obr. 21 Umístění vybíjecího rezistoru (R_v) v DC meziobvodu	34
Obr. 22 Schéma snižovacího pulzního měniče	35
Obr. 23 Průběhy napětí a proudu na snižovacím pulzním měniči	35
Obr. 24 Schéma snižovacího doufázového pulzního měniče	36
Obr. 25 Průběhy proudů dvoufázového snižovacího pulzního měniče ($z = 0,5$).....	36
Obr. 26 Blokové schéma regulačního obvodu obou měničů	38
Obr. 27 DC jistič Noark 125A, 3pól [12]	39
Obr. 28 Příklad kompaktní transformovny od firmy Betonbau s. r. o. [14]	40
Obr. 29 Půdorys kompaktní transformovny UK 3119L [14].....	41
Obr. 30 Varianta rychlonabíjecí stanice se samostatným nabíjecím stojanem.....	41
Obr. 31 Blokové schéma rychlonabíjecí stanice se dvěma rychlonabíjecími místy.....	43
Obr. 32 Blokové schéma rychlonabíjecí stanice s variantou s pomalým dobíjením	44

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Tabulka základních technických parametrů nabíjecí stanice napájení z VN sítě.....	18
Tab. 2	Parametry vybraných distribučních transformátorů Trafo CZ, a. s.	21
Tab. 3	Základní technické parametry odrušovacího filtru 3EL250ET výrobce ELFIS [9].....	26

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

Symbol	Popis veličiny	Jednotka
AC	„alternating current“, střídavý proud	
BMS	battery management systém	
C	kapacita	[F]
DC	„direct current“, stejnosměrný proud	
DIN	„Deutsches Institut für Normung“, Německý ústav pro průmyslovou normalizaci	
Dyn1	označení zapojení transformátoru	
f	frekvence	[Hz]
HDO	hromadné dálkové ovládání	
IGBT	„Insulated Gate Bipolar Transistor“, bipolární tranzistor s izolovaným hradlem	
I	proud	[A]
IT	druh sítě; I – „isolé“ (izolovaný), T – „terré“ (spoj. se zemí ochr. vodičem)	
IP	stupeň krytí	
L	indukčnost	[H]
NN	nízké napětí	
P	činný výkon	[W]
R	odpor	[Ω]
S	zdánlivý výkon	[VA]
t	čas	[s]
U	napětí	[V]
v _f	vysoká frekvence, vysokofrekvenční	
VN	vysoké napětí	
XL	induktance, induktivní reaktance	[Ω]
ΔI	zvlnění proudu	[A]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Kompletní schéma zapojení silové části

Příloha A – Kompletní schéma zapojení silové části

