

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Trakční prvky dvousystémových lokomotiv

Vedoucí práce : Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.

2013

Autor: Petr Říha

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr ŘÍHA**
Osobní číslo: **E10B0244P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Trakční prvky dvousystémových lokomotiv**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Uveďte a stručně popište základní parametry dvousystémových lokomotiv používaných ČD.
2. Popište přívod proudu v případě DC a AC trakčního vedení.
3. Uveďte a okomentujte hlavní parametry obvodů pro řízení výkonu a tažné síly.
4. Uveďte základní charakteristiky a parametry trakčních motorů.
5. Závěrem porovnejte realizované řešení s dopadem na další vývoj dvousystémových lokomotiv.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická


Seznam odborné literatury:

1. Palík F.: **Universální dvouproudová lokomotiva ES 499.1. Železniční technika 2/1981**
2. Kunc L.: **Rekonstrukce řad 162 a 363 ŽSR. Dráha 10/2000**
3. František Jansa: **Vozidla elektrické trakce, Nadas, Praha 1983**
4. **Internet**

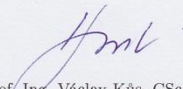
Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.**
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**


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




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na dvousystémové lokomotivy, zejména na lokomotivu řady 363, její parametry, vlastnosti a řešení elektrické části.

Klíčová slova

Měnič, usměrňovač, trakční transformátor, stejnosměrný motor, lokomotiva, trakce

Abstract

Traction elements of two systems locomotives. The master thesis presents the two systems locomotives, in particular locomotive series 363, its parameters, properties and solution of electrical parts.

Key words

Traction transformer, converter, dc motor, locomotive, traction

Prohlášení

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

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

.....
Podpis

V Plzni dne 2.6.2013

Petr Říha

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Bohumilovi Skalovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

Obsah	7
Seznam symbolů a zkratk	9
Úvod	10
1. Základní parametry dvousystémových lokomotiv používaných u ČD	11
1.1 Počátek dvousystémových lokomotiv v ČR	11
1.2 Základní parametry lokomotiv	11
2. Přívod proudu v případě DC a AC trakčního vedení	18
2.1 Stejnoseměrná výzbroj	19
2.2 Podrobnější pohled na použitá zařízení stejnosměrného obvodu	20
2.2.1 Polopantograf	20
2.2.2 Odpojovač	20
2.2.3 Bleskojistka	20
2.2.4 Stejnoseměrný hlavní vypínač	21
2.2.5 Trakční usměrňovač	21
2.3 Střídavá výzbroj	22
2.4 Podrobnější pohled na použitá zařízení střídavého obvodu	23
2.4.1 Střídavý hlavní vypínač	23
2.4.2 Trakční transformátor	23
3. Hlavní parametry obvodů pro řízení výkonů a tažné síly	23
3.1. Základní způsoby regulace výkonu	24
3.1.1 Odporová regulace	24
3.1.2 Pulzní regulace	24
3.2 Použitá polovodičové měniče na lokomotivě 363	25
3.2.1 Dius – Delta A	25
3.2.2 Puls – Delta A	25
3.2.3 Batyr – Delta A	26
3.2.4 Unipuls 80 A	26
4. Základní charakteristiky a parametry trakčních motorů	27
4.1 Druhy trakčních motorů	27
4.1.1 Stejnoseměrný motor na zvlněný proud	27

4.2 Charakteristiky trakčních motorů	27
4.3 Parametry trakčních motorů.....	28
5. Porovnání realizovaného řešení s dopadem na další vývoj dvousystémových lokomotiv	30
Seznam literatury a informačních zdrojů	32
Seznam příloh.....	1
Přílohy	2

Seznam symbolů a zkratk

TM ... trakční motor

3f třífázové

Ss stejnosměrné

St střídavé

ČD ... České dráhy

Úvod

Tato bakalářská práce podá čtenáři základní vědomosti o technologii dvousystémové lokomotivy Škoda řady 363. První kapitola se zabývá úvodem do problematiky vícesystémových lokomotiv a jejich základních parametrů.

V druhé kapitole jsou popsány elektrické části elektrického obvodu v případě stejnosměrného a střídavého napětí a jeho funkce. Dále je zde ukázáno konstrukční umístění a řešení jednotlivých nejdůležitějších prvků obvodu.

Třetí kapitola popisuje možné způsoby řízení výkonu v trakci. Dále popisuje konkrétní technologii regulace použitou na lokomotivě 363.

Ve čtvrté kapitole jsou uvedeny charakteristiky nejčastěji používaných trakčních motorů a jejich základní parametry.

V páté kapitole je popsán předpokládaný směr vývoje dvousystémových lokomotiv s porovnáním doposud používaných technologií.

1. Základní parametry dvousystémových lokomotiv používaných u ČD

1.1 Počátek dvousystémových lokomotiv v ČSR

V 60. letech minulého století prováděly ČSD elektrizaci jižní části železničních linek střídavým systémem, zatímco severní část byla elektrifikována stejnosměrným napětím. Tehdejší úvahy o přechodu na jeden napájecí systém nebyly reálné, proto vznikly stykové stanice, kde se mění trakční proudové soustavy. Změna proudové soustavy ve stanici lze s ohledem na provoz dopravy řešit dvěma způsoby:

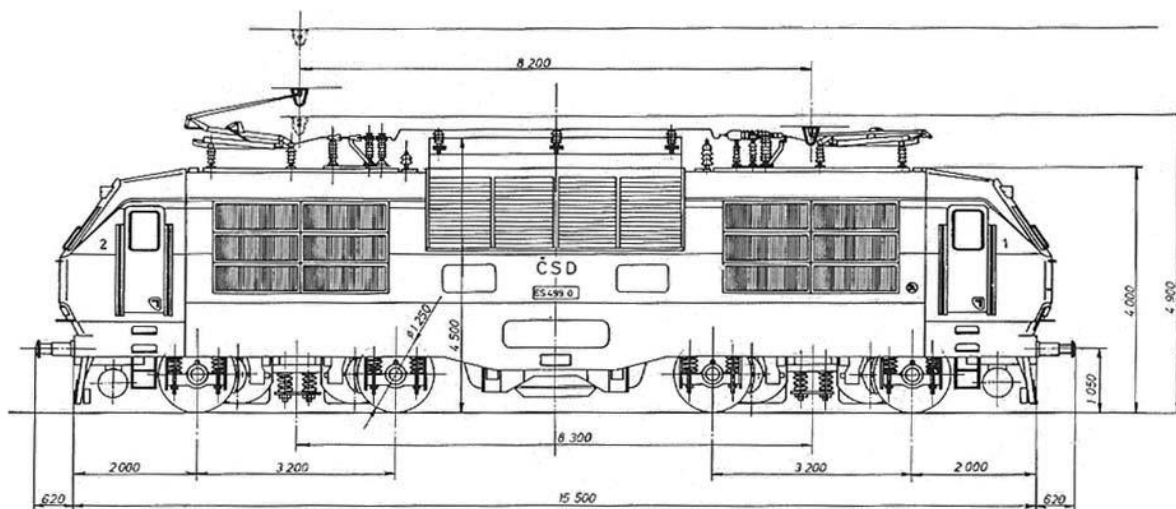
- a) Výměnou elektrických lokomotiv ve stanici
- b) Použitím dvousystémových lokomotiv, které si poradí i se stykem proudových soustav na širé trati

Až do roku 1969 se změna proudové soustavy řešila pouze přepřaháním lokomotiv ve stanicích, v tomto roce objednala ČSD dvouproudové rychlíkové lokomotivy pro provoz na trati Praha-Bratislava. Tyto lokomotivy řady ES 499.0 byly schopné provozu jak na 25kV střídavého systému, tak 3kV stejnosměrného systému a řízení výkonu probíhalo odporově. Maximální rychlost těchto lokomotiv byla 160Km/h, čímž značně překročila tehdejší možnost infrastruktury, a nemohl tak být využit její plný potenciál, proto už v roce 1976 ČSD zadala objednávku na dvouproudové lokomotivy mnohem univerzálnější konstrukce, která vyhovovala tehdejší infrastruktuře a dala se použít jak pro provoz na osobních tak i nákladních vlacích. Začala tak vznikat lokomotiva řady ES 499.1 (363), která slouží dodnes a stala se první dvousystémovou lokomotivou s pulzní regulací na světě. Na jejím základě bylo postaveno několik dalších lokomotivních řad, určených jak pro provoz pouze na stejnosměrných systémech či střídavých systémech. [1] [2] [3]

1.2 Základní parametry lokomotiv

Mezi základní parametry lokomotiv se obvykle řadí trakční systém, na kterém je lokomotiva schopna provozu. Dále trvalý výkon a hodinový výkon lokomotivy spolu s tažnou silou. Lokomotivy se též dají rozdělit dle použité technologie pro regulaci výkonu a typu trakčních motorů.

Dále jsou uvedeny dvou i vícesystémové lokomotivy používané u ČD, jejich základní parametry a historie.

ŠKODA ES 499.0 (350)

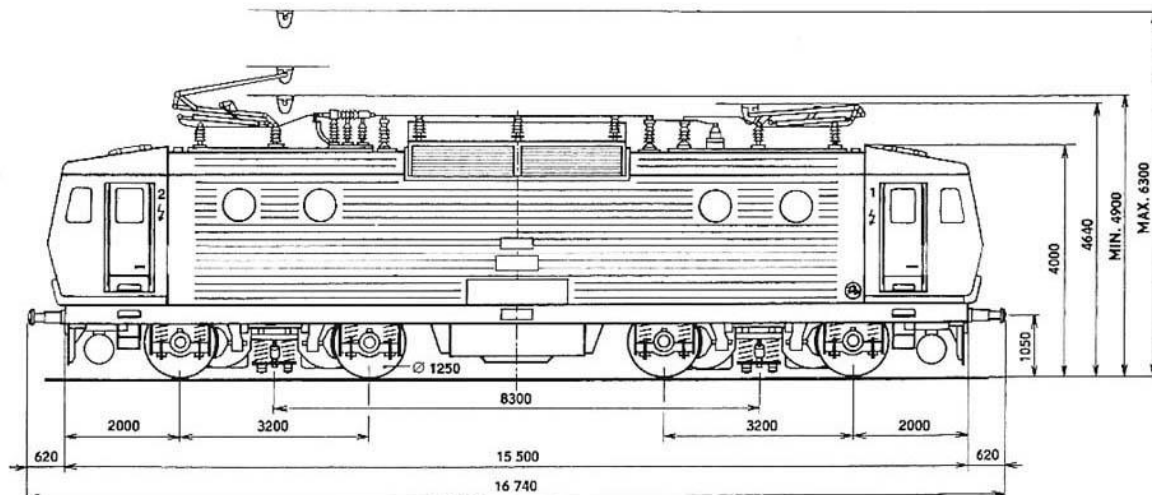
Obr. 1 Typový výkres lokomotivy řady 350 [7]

První dvousystémová lokomotiva používaná na území ČSSR, která byla schopna provozu na trakčním systému 3kV stejnosměrného napětí a 25kV ~50Hz. Provozní rychlost dosahovala až 160km/h a svým velkým výkonem a hmotností překračovala možnosti tehdejší infrastruktury. Regulace výkonu byla uskutečněna odporově, tzn. postupným spínáním odboček předřadného odporníku motorové skupiny, kde je odporník dimenzován na trvalé zatížení. Další možností řízení výkonu této lokomotivy je přepínání zapojení motorové skupiny 1 a 2 sériově či paralelně. [2] [3] [7]

Lokomotiv tohoto typu bylo vyrobeno 20 kusů, poté byla výroba zastavena. K roku 2005 bylo v provozu 18 kusů této lokomotivní řady.

Parametry:

Trakční systém:	3 kV ss, 25 kV ~50Hz
Regulace výkonu:	odporová
Trvalý výkon:	4000 kW
Trvalá tažná síla:	126 kN
Maximální tažná síla:	210 kN
Trakční motory:	ss sériové šestipólové s kompenzačním vinutím

ŠKODA ES 499.1 (363)

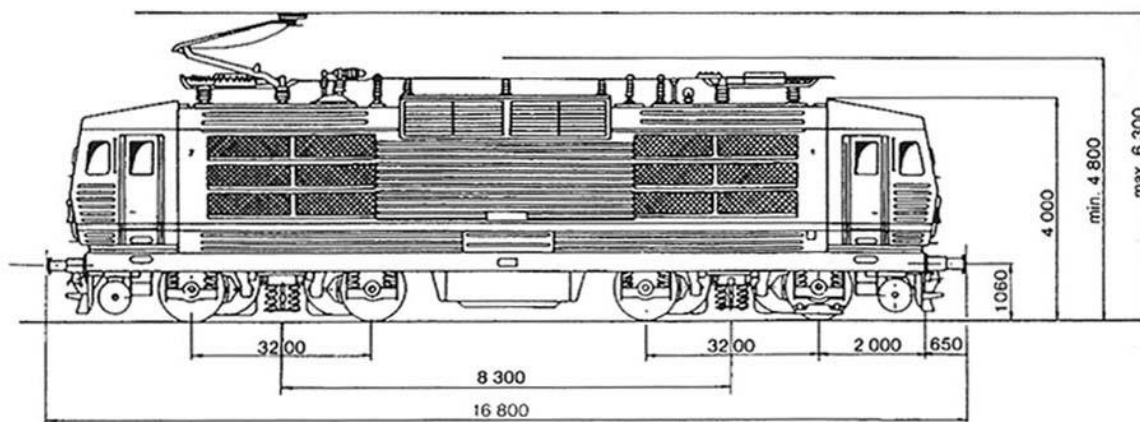
Obr. 2 Typový výkres lokomotivy řady 363 [2]

Konstrukčně vychází z lokomotivní řady ES499.0, ale úpravou konstrukce má nižší hmotnost a její použití je proto mnohem více univerzální. Konstrukční rychlost lokomotivy je 120km/h, pozdější rekonstrukcí (výměnou podvozků) byla tato rychlost zvýšena na 140km/h (řada 362). Nejvýznamnější změnou oproti předchozí řadě je použití bezkontaktní pulzní regulace výkonu na bázi plynulé změny napětí na kotvách trakčních motorů. Lokomotiva obsahuje 4 kotevní pulzní dvoufázové měniče, které jsou paralelně zapojeny a napájejí dva sériově řazené trakční motory. [1] [2]

K roku 2000 bylo v provozu na českých a slovenských tratích 162 kusů lokomotivy 363 a řady 362 což z této lokomotivy dělá nejrozšířenější dvousystémovou lokomotivu české výroby.

Parametry:

Trakční systém:	3 kV ss, 25 kV ~50Hz
Trvalá tažná síla:	177 kN
Maximální tažná síla:	260 kN
Regulace výkonu:	pulzní tyristorová
Trvalý výkon:	3060 kW
Trakční motory:	ss šestipólové cize buzené s kompenzačním vinutím

ŠKODA ES 499.2 (372/371)

Obr. 3 Typový výkres lokomotivy řady 372 [8]

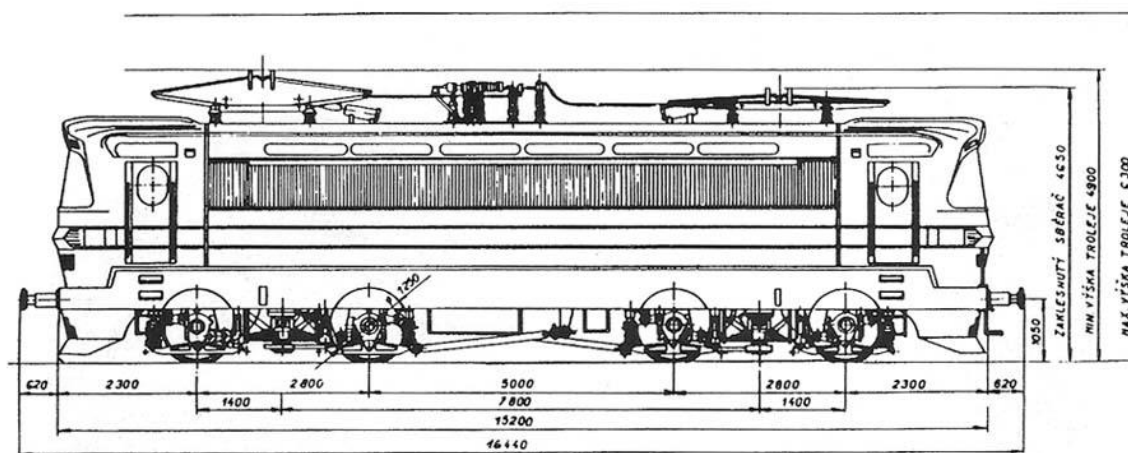
Lokomotiva ES 499.2 vznikla pro provoz na tratích v ČSSR a NDR, kde se nedaly použít stávající dvousystémové lokomotivy vzhledem k jiným parametrům střídavé soustavy v NDR. Lokomotiva je schopna jezdit na trakčním systému 3kV stejnosměrného napětí a na 15kV střídavého napětí o frekvenci 16 2/3 Hz. Vzhledem k požadavkům ze strany německých drah byla lokomotiva vybavena odporovou regulací stejného typu jako řada ES 499.0. Lokomotiva byla konstruována na rychlost 120km/h, pozdější rekonstrukcí byla rychlost zvednuta na 160km/h. [1] [8]

K roku 2005 bylo v provozu na českých tratích 16 kusů této lokomotivy.

Parametry:

Trakční systém:	3 kV ss, 15 kV \sim 16 2/3 Hz
Trvalá tažná síla:	147 kN
Maximální tažná síla:	243 kN
Regulace výkonu:	odporová
Trvalý výkon:	3080 kW
Trakční motory:	ss sériové šestipólové s kompenzačním vinutím

ŠKODA 340



Obr. 4 Typový výkres lokomotivy řady 340 [6]

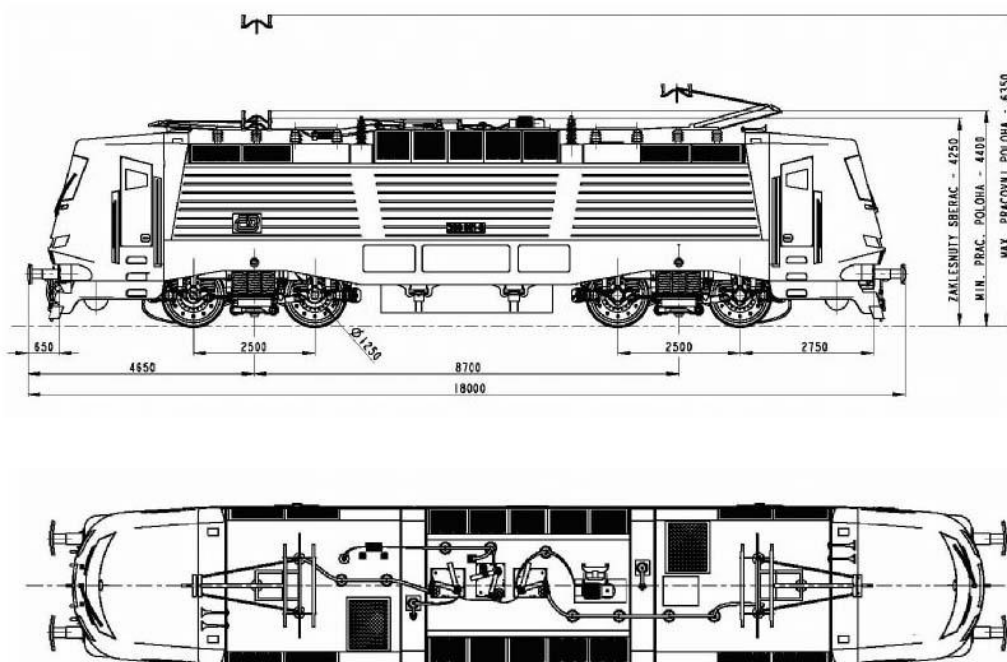
Lokomotiva řady 340 je upravená lokomotiva řady 240, doplněná o možnost provozu na střídavém systému 15 kV~16 2/3 Hz. Důvodem přestavby byl fakt, že ČD nevlastnily jedinou elektrickou lokomotivu schopnou přejíždět po nově elektrizovaném přechodu Summerau - Horní Dvořiště, jelikož rakouské železnice jsou elektrizovány střídavou napájecí soustavou 15 kV~16,7 Hz, zatímco na české straně je střídavá napájecí soustava 25 kV~50 Hz. [5]

Do provozu se tato řada dostala v roce 2003, od té doby byly přestaveny pouze 3 kusy. Zajímavostí je, že 1 kus je vybaven polopantografem a zbylé dva kusy mají klasický pantograf.

Parametry:

Trakční systém:	25 kV~50 Hz, 15 kV~16 2/3 Hz
Trvalá tažná síla:	173 kN
Maximální tažná síla:	255 kN
Regulace výkonu:	Regulační transformátor
Trvalý výkon:	3080 kW
Trakční motory:	ss sériové šestipólové

ŠKODA 380



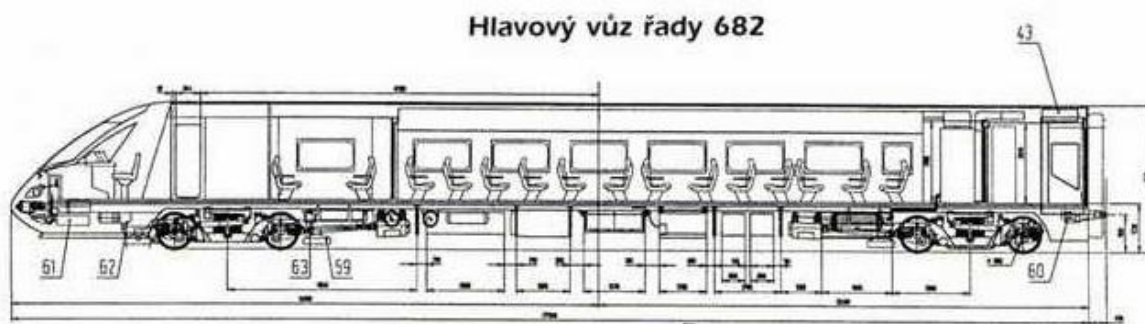
Obr. 5 Typový výkres lokomotivy řady 380 [9]

Lokomotiva ES 380 vznikla na objednávku zadanou ČD a její primární určení je pro vozbu osobních vlaků nejvyšších kategorií na koridorech všech evropských států. Vzhledem ke svému vysokému výkonu je vhodná též pro vedení nákladních expressů. Lokomotiva je konstruována na rychlost 200km/h a pro provoz na trakčních systémech 3 kV stejnosměrného napájení a 25 kV \sim 50Hz, 15 kV \sim 16 2/3 Hz. Lokomotiva je též vybavena všemi zabezpečovacími systémy, aby byla schopna provozu na všech evropských tratích. [9]

Lokomotivy typu 109E bylo vyrobeno 20 kusů, odvozené řady 109 E2 pro ŽSS 2 kusy.

Parametry:

Trakční systém:	3 kV ss, 25 kV \sim 50Hz, 15 kV \sim 16 2/3 Hz
Trvalá tažná síla:	213 kN
Maximální tažná síla:	274 kN
Regulace výkonu:	IGBT moduly
Trvalý výkon:	6400 kW
Trakční motory:	3f asynchronní s kotvou s klecovým vinutím nakrátko

680 PENDOLINO

Obr. 6 Typový výkres lokomotivy řady 680 [10]

Elektrická jednotka řady 680 pod názvem Pendolino, jak ji označuje její výrobce, vznikla na základě objednávky ČD na vysokorychlostní jednotku s naklápěcími podvozky pro provoz na koridoru Berlín-Praha-Vídeň. Jednotka je konstruována na maximální rychlost 230km/h a díky systému naklápění vozových skříní dosahuje jednotka v obloucích vyšších rychlostí než klasické soupravy. Jednotka je vybavena celkem osmi trakčními třífázovými asynchronními motory napájenými trakčním střídačem. Trakční střídač je sestaven z GTO tyristorů a moduly jsou chlazeny vodou. [15]

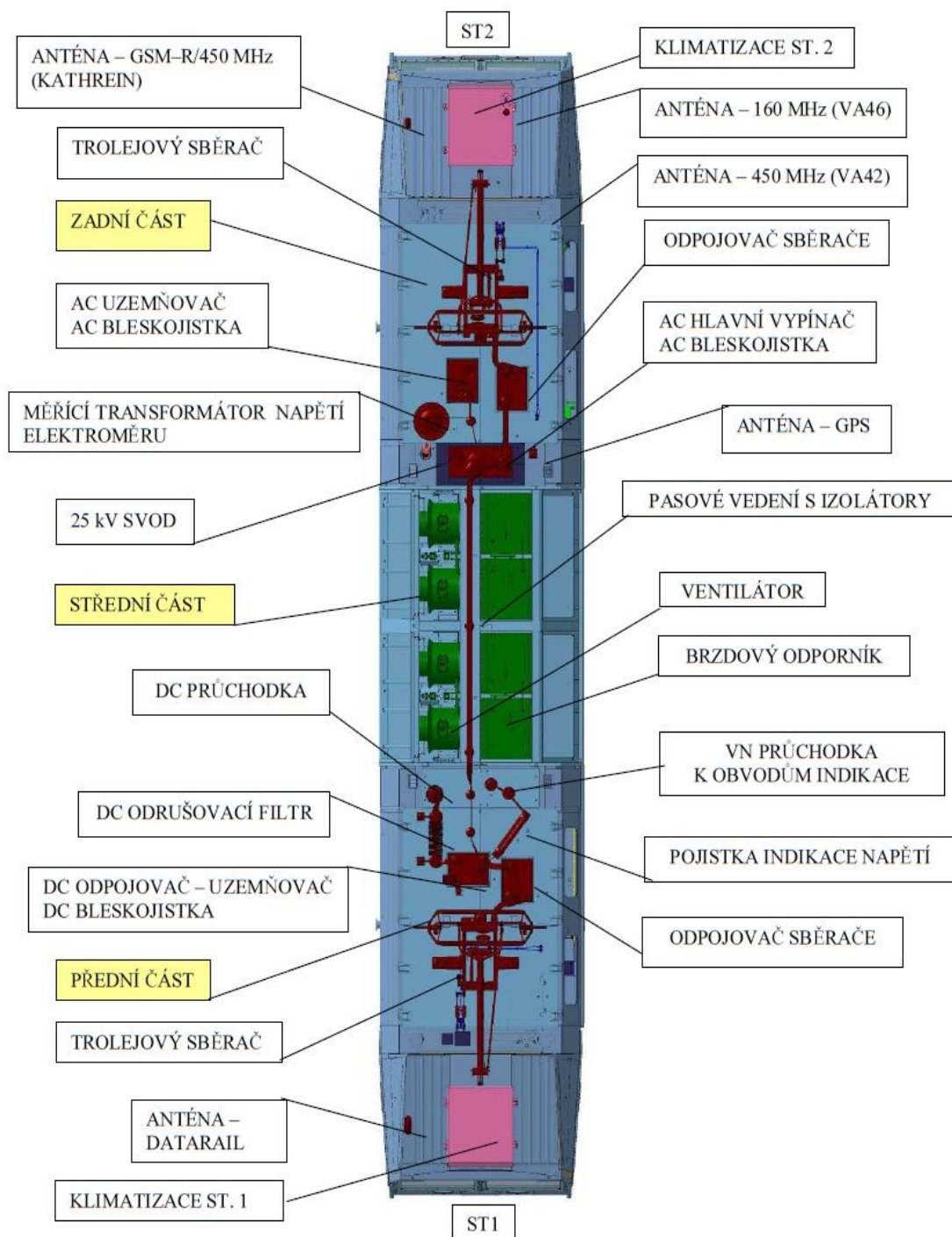
V provozu je celkem 7 jednotek řady Pendolino.

Parametry:

Trakční systém:	3 kV ss, 25 kV~ 50Hz, 15 kV~ 16 2/3 Hz
Maximální tažná síla:	200 kN
Regulace výkonu:	pulzní tyristorová
Trvalý výkon:	4000 kW
Trakční motory:	3f asynchronní

2. Přívod proudu v případě DC a AC trakčního vedení

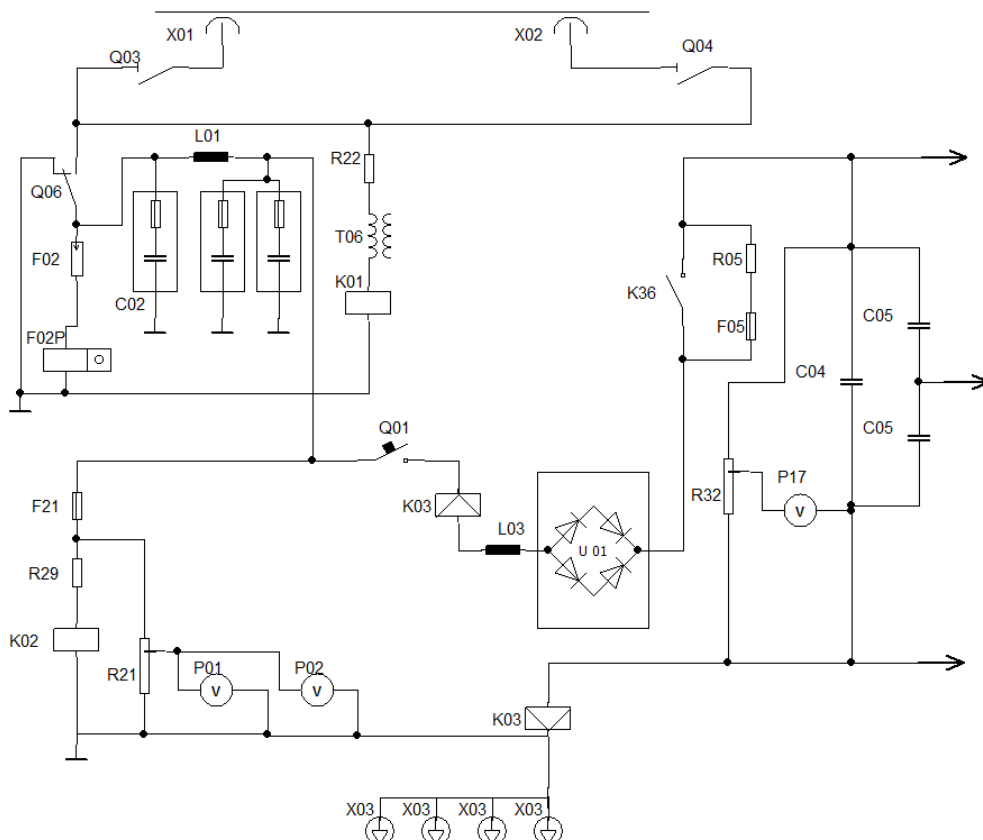
Následující popis elektrické části lokomotivy je uveden pro lokomotivu od firmy Škoda řady 363. Na následujícím obrázku je ukázáno rozmístění jednotlivých přístrojů na střeše lokomotivy.



Obr. 7 Střeška lokomotivy [11]

2.1 Stejnsměrná výzbroj

V této kapitole je popsán přívod proudu v případě stejnosměrného napětí trakčního vedení.



Obr. 8 Schéma části přívodu stejnosměrného proudu [18]

Proud je z trolejového vedení odebírán dvěma univerzálními pantografovými sběrači shodnými pro oba trakční systémy. Přítlak pantografu k troleji se mění podle napájecího systému. Každý sběrač má svůj vlastní odpojovač.

K indikaci napájecího systému slouží obvod složený z předřadného odporu R22, měřícího transformátoru T06 a relé K01. Pokud je trolejové vedení napájeno stejnosměrným napětím 3kV, dojde k sepnutí relé K01 a na stanovišti strojvedoucího je signalizováno na příslušném přístroji stejnosměrné napětí.

Při napájení ze stejnosměrné trakční sítě je proud veden ze sběrače přes odpojovač sběrače Q03/Q04, odpojovač stejnosměrného obvodu Q06 a tlumivku L01 k hlavnímu vypínači Q01. Zároveň dochází k indikaci velikosti napájecího napětí pomocí voltmetrů P01 a P02.

Hlavní vypínač Q01 je u lokomotivy řady 363 ovládán ručně spínačem ze stanoviště strojvedoucího, u novějších lokomotiv je vypínač Q01 automaticky ovládán počítačem. Po sepnutí hlavního vypínače Q01 je do obvodu dále zařazena cívka diferenciálního relé K03, která působí jako rozdílová proudová ochrana, vstupní filtr (tlumivka L03 a kondenzátor C04) a horní můstek trakčního usměrňovače U01, který slouží jako blokovací člen proti vybití C04 při poklesu napětí v troleji. Kontakt stykače K36 spíná po nabití kondenzátoru C04 na hodnotu 2,2kV. Poté je proud přiveden do kotevního pulzního měniče, do motorů podvozkové skupiny a přes cívku relé K03 do nápravnicových sběračů X03.

Ochranu obvodu proti působení vnějších atmosférických přepětí zajišťuje stejnosměrná bleskojistka F02 spolu s reaktorem L01, k němuž jsou připojeny odrušovací kondenzátory s tavnou pojistkou C02 tvořící jemnou přepět'ovou ochranu.

2.2 Podrobnější pohled na použitá zařízení stejnosměrného obvodu

2.2.1 Polopantograf

Proud je z trakčního vedení odebírán pomocí dvou pneumaticky ovládaných polopantografických sběračů. Každá napájecí soustava vyžaduje jiný přítlak sběrače k troleji, proto musí být přítlak sběrače nastavitelný, a to je realizováno změnou tlaku ve válci pohonu sběrače. Při provozu na stejnosměrném trakčním systému je přítlak smykadla mnohem větší než na systému střídavém kvůli většímu odebíranému proudu. Dnes používané polopantografy jsou osazeny třemi až čtyřmi smykadly, které jsou vyrobeny ze slitiny mědi, železa a uhlíku. [16]

2.2.2 Odpojovač

Proud přivedený z trolejového vedení sběračem je dále veden přes odpojovač do strojovny lokomotivy. Na střeše lokomotivy jsou odpojovače dva, pro každý sběrač jeden. Odpojovač je sestaven jako otočná hlavice umístěná na izolátoru a má dvě polohy. Jeden z kontaktů slouží k uzemnění sběrače do kolejnic a druhý je provozní kontakt, přes který je proud přiváděn do strojovny. Odpojovač je ovládán ručně.

2.2.3 Bleskojistka

Bleskojistka v lokomotivě slouží k ochraně obvodů lokomotivy před přepětím vzniklým na troleji po úderu blesku. Toto přepětí může dosahovat až desítek kilovoltů, bleskojistka tuto hodnotu sníží přibližně na 20 kV. Další snížení přepětí se realizuje pomocí

ochranných kondenzátorů, tím dosáhneme snížení přepětí na hodnotu okolo 10 kV, což je hodnota odpovídající zkušebnímu napětí stejnosměrných obvodů. [16] [18]

2.2.4 Stejnosměrný hlavní vypínač

Základní funkcí hlavního vypínače stejnosměrného obvodu je prosté připnutí či odpojení hlavních silových obvodů lokomotivy od napájecího napětí. Další neméně důležitou funkcí je vypnutí lokomotivy v případě poruchy a to zejména vypnutí zkratových proudů. Pokyn k vypnutí vypínače podávají ochrany nebo strojvedoucí ze stanoviště. Kontakty vypínače jsou ovládány elektromagneticky, kdy elektromagnet drží vypínač v sepnutém stavu a vypnutí kontaktů je realizováno pružinou. Vzniklý oblouk při vypínání je magneticky vtahován do zhášecí komory pomocnými cívkami, jimiž prochází poruchový proud. [16]

U dvousystémových lokomotiv musí být zabráněno možnosti sepnutí vypínače pro nesprávný trakční systém, nesmí dojít k sepnutí stejnosměrného hlavního vypínače, zatímco trolejové napětí je střídavé a naopak. Tomu zabráníme zvednutím sběrače před sepnutím vypínače, kdy indikační obvod zajistí blokování nesprávného vypínače.

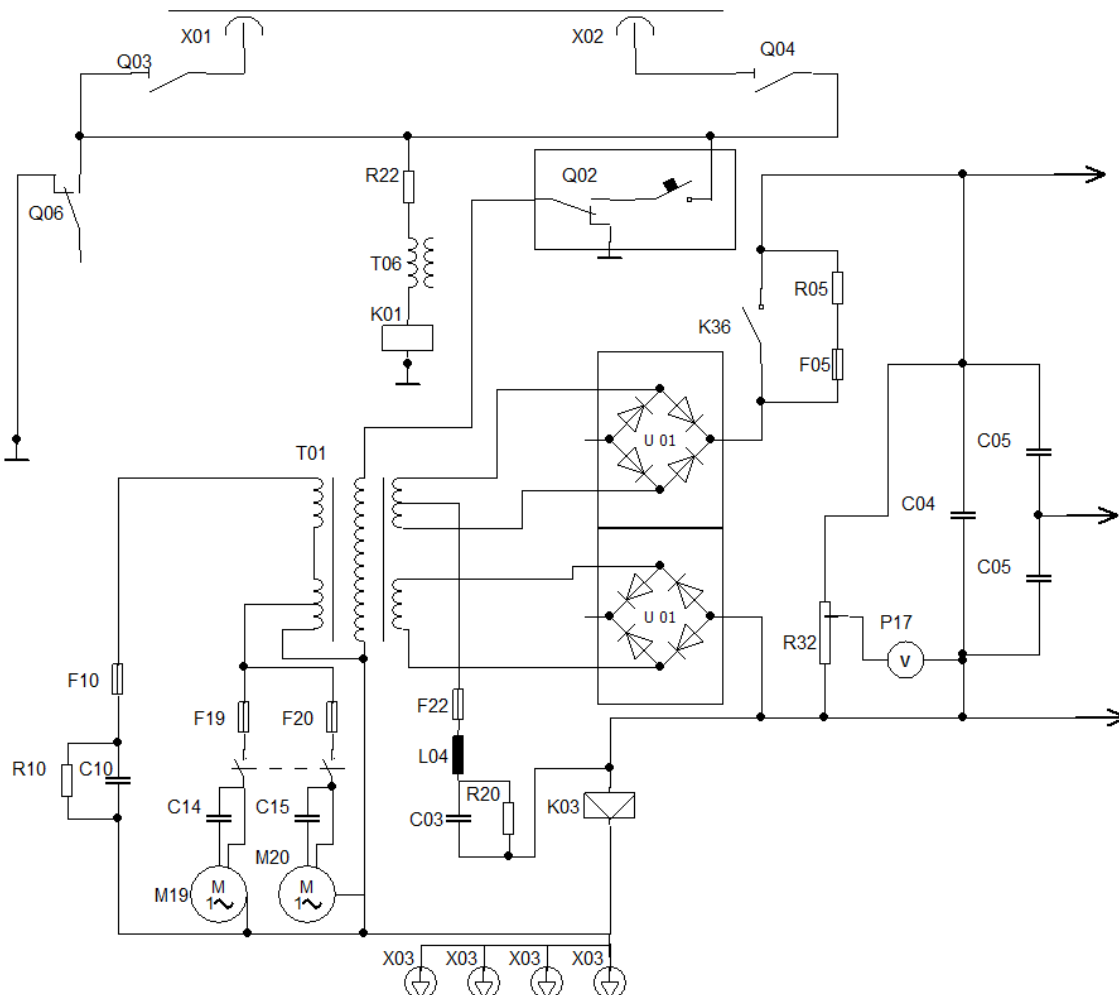
2.2.5 Trakční usměrňovač

Trakční usměrňovač zajišťuje usměrnění odebíraného proudu z trolejového vedení v případě střídavého trakčního vedení. Je složen ze dvou sériově spojených můstků. Při provozu lokomotivy na střídavém trakčním systému funguje jako usměrňovač a všechny diody jsou zatíženy odebíraným proudem. Při provozu lokomotivy na stejnosměrném trakčním systému je zatížena jen jedna polovina můstku a můstek funguje jako blokovací člen proti vybíjení filtru C04 do trolejového vedení. [18]

Můstek je složen z křemíkových diod a je chlazen vzduchem. Schematické zapojení usměrňovače je uvedeno v příloze A.

2.3 Střídavá výzbroj

V této kapitole je popsán přívod proudu v případě střídavého napětí trolejového vedení.



Obr. 9 Schéma části přívodu střídavého proudu [18]

V případě provozu lokomotivy pod trolejovým vedením se střídavým napětím, je proud veden pantografem X01/X02 a odpojovačem Q03/Q04 do indikačního obvodu s transformátorem T06, kdy je přes sekundární vinutí napájen obvod pro indikaci střídavého napětí na stanovišti lokomotivy.

Hlavní spínač Q02 stejně jako Q01, je ovládán ze stanoviště strojvedoucího, u novějších lokomotiv jsou ovládány automatickou. Po sepnutí hlavního vypínače Q02 je napájen trakční transformátor T01. Ze sekundárního vinutí trakčního transformátoru je napájeno topení, motory čerpadel M10, M20 chlazení transformátoru T01 a trakční usměrňovač U01. Tlumivka L04, kondenzátor C03 slouží jako rezonanční filtr pro vyhlazení

proudu pro trakční usměrňovač. Kondenzátor C10 a odpor R10 tvoří filtr pro kompenzaci účinníku topení.

Trakční usměrňovač U01 dodává 3kV stejnosměrného napětí pro kotevní pulzní měniče přes filtr C04. Kapacitní dělič C05 dodává 1500V stejnosměrného napětí pro pulzní měnič buzení.

2.4 Podrobnější pohled na použitá zařízení střídavého obvodu

2.4.1 Střídavý hlavní vypínač

Funkce hlavního střídavého vypínače je stejná jako hlavního stejnosměrného vypínače, liší se ovšem konstrukcí a umístěním. Konstrukčně se jedná o tlakovzdušný vypínač a obvykle je umístěn na střeše lokomotivy na keramických izolátorech a jeho pohon je umístěn ve strojovně pod střechou. Pro správnou funkci vypínače musí být lokomotiva vybavena vzduchojemem a kompresorem. [16]

Vzhledem k možnosti provozu lokomotivy na stejnosměrném a střídavém systému musí být provedena ochrana proti sepnutí hlavního vypínače pro odlišnou napájecí soustavu, než je určen. Proto se nejprve zdvihá sběrač a pomocí relé indikačního systému je blokován vypínač pro odlišnou soustavu.

2.4.2 Trakční transformátor

Trakční transformátor je obecně u všech lokomotiv uložen mezi podvozky co nejnižší, aby vzhledem ke své hmotnosti nepříznivě neovlivňoval těžiště lokomotivy.

Jedná se o klasický transformátor složený z primárního a sekundárního vinutí a jádra. Primární vinutí je napájeno z trolejového vedení. Sekundární vinutí je tvořeno několika vinutími, každé pro jiný účel napájení jako je napájení pomocných pohonů, topení, řídicích obvodů a trakčních obvodů. U moderních lokomotiv s pulzní regulací má transformátor pevný převod, neobsahuje tedy říditelné odbočky. Transformátor je chlazen olejem s nuceným oběhem. [16]

3. Hlavní parametry obvodů pro řízení výkonů a tažné síly

Základním způsobem řízení trakčních vozidel je řízení tažné síly. Řízení tažné síly odpovídá řízení momentu trakčních motorů. Z toho vyplývá, že nejběžnějším způsobem řízení tahu u vozidel se stejnosměrnými motory je regulací proudu.

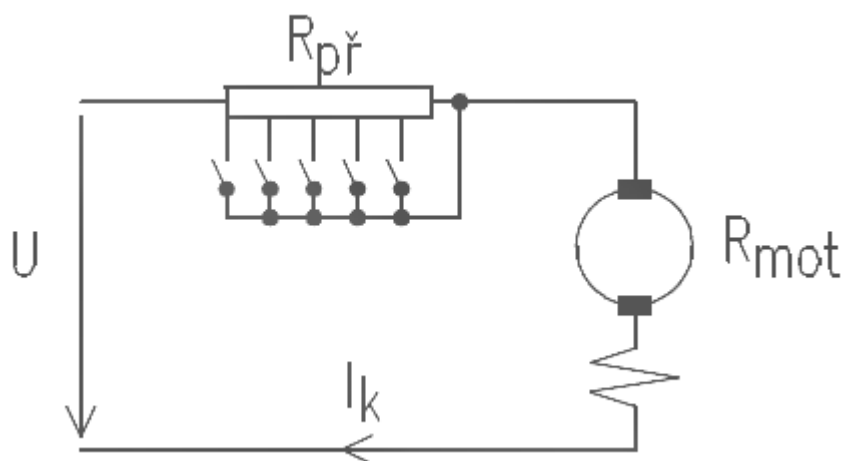
3.1. Základní způsoby regulace výkonu

Otáčky a výkon stejnosměrného motoru se řídí změnou kotevního napětí a změnou buzení. Existují dva základní způsoby řízení výkonu stejnosměrných trakčních motorů. Před rozvojem polovodičové techniky bylo jedinou použitelnou možností řízení výkonu použití sériového motoru spolu s odporovou regulací. Rozvoj polovodičových měničů umožnil využití stejnosměrných motorů cize buzených v trakci. [17]

3.1.1 Odporová regulace

Díky měkké otáčkové charakteristice sériového motoru lze bez problémů řídit výkon stupňovitou změnou napětí. Toho využívá odporová regulace, jejíž princip spočívá v postupném snižování odporu sériově řazeného k motoru. U této regulace se zároveň využívá změny řazení motorů v obvodu, čímž je též řízeno svorkové napětí motoru. [13]

Regulace je to technicky nenáročná ovšem energeticky nevýhodná vzhledem ke ztrátám na regulačních odporech.



Obr. 10 Regulace předřadným odporem [13]

3.1.2 Pulzní regulace

Rozvoj polovodičové techniky umožnil použití cize buzených motorů, jež jsou zdrojem ideálně regulovatelného točivého momentu za podmínky plynulé regulace.

U lokomotivy řady 363 je použita pulzně šířková modulace řízení, jež je vhodná pro řízení motorů větších výkonů díky kombinaci principu řízení s konstantní dobou sepnutí a s konstantním kmitočtem spínání. Z hlediska co nejlepšího řízení výkonu a minimálního

rušení sdělovací techniky se používá několik pevných frekvencí s daným rozsahem šířky impulzů. [13]

3.2 Použité polovodičové měniče na lokomotivě 363

Následující parametry jednotlivých polovodičových měničů viz [17].

3.2.1 Dius – Delta A

Jedná se o trakční usměrňovač, viz kapitola 2.2.5

Parametry usměrňovače Dius- Delta A :

Napájecí napětí

Ss. systém	3000 V
St. systém	1667 V
Trvalý proud	1280 A
Max 5 min proud	1510 A
Ztráty na měniči	27 600 W

Schematické zapojení usměrňovače je uvedeno v příloze A.

3.2.2 Puls – Delta A

Pulsní měnič Puls-Delta A slouží k napájení kotev trakčních motorů.

Tento pulzní měnič využívá systém frekvenčně – fázorového řízení hlavních tyristorů.

Pulsní měniče jsou řízeny s konstantním kmitočtem 33 1/3, 100 a 300 Hz.

Postup řízení je následovný

- 1) 33 1/3 Hz poměrné otevření 0,011 až 0,0344
- 2) 100 Hz poměrné otevření 0,344 až 0,103
- 3) 300 Hz do poměrného otevření 0,9
- 4) 100 Hz poměrné otevření 0,88 až 0,9

Na frekvenci 100 Hz se přechází za účelem zmenšení ztrát na měniči. Kotevní pulsní měniče jsou řízeny regulátorem tahu. [17]

Zjednodušené schematické zapojení měniče Puls-Delta A je uvedeno v příloze B.

Parametry měniče Puls – Delta A

Napájecí napětí

Ss. systém	2000 - 3600 V
St. System	1667 V
Trvalý proud	715 A

3.2.3 Batyr – Delta A

Jedná se o pulzní měnič napájející budící vinutí všech čtyř motorů, které jsou zapojeny do série. Je dvoufázový se střídavým spínáním obou fází a využívá komutační obvod typu Morgan.

Každá fáze obsahuje antiparalelní zapojení diody a tyristoru, je napájena napětím 1,5kV z filtru s vyvedeným středem (C05). Měnič pracuje s pulsním řízením poměrného otevření při konstantním kmitočtu 33 1/3 Hz. Napětí na budících vinutích se nemění plynule jako u pulzního měniče kotev, ale skokově. [17]

Schematické zapojení pulzního měniče buzení je uvedeno v příloze C.

Parametry měniče Batyr – Delta A

Napájecí napětí

Ss. systém 2000 - 3600 V

Trvalý proud 90 A

Max 5 min proud 110 A

3.2.4 Unipuls 80 A

Tento měnič slouží k napájení pomocných pohonů – ventilátorových a kompresorových motorů o jmenovitém napětí 440 V ss. Je koncipován do dvou stupňů, kdy primární stupeň zajišťuje stabilizované výstupní napětí pomocných agregátů o hodnotě 600V. Z primárního stupně je napájen dobíječ baterie a kompresory klimatizace. Sekundární stupeň zajišťuje rozběhy a regulaci motorů pohonů na napětí 440V. Oba stupně pracují v pulsním řízení poměrného otevření při konstantní frekvenci 33 1/3 Hz. [17]

Parametry měniče Unipuls 80 A

Napájecí napětí

Ss. systém 2000 - 3600 V

Jmenovité výstupní napětí primárního stupně 600 V

Jmenovité vstupní napětí sekundárního stupně 600 V

Jmenovité výstupní napětí sekundárního stupně 440 V

Maximální výstupní proud primárního stupně 200 A

Jmenovitý výstupní proud sekundárního stupně 69 A

4. Základní charakteristiky a parametry trakčních motorů

4.1 Druhy trakčních motorů

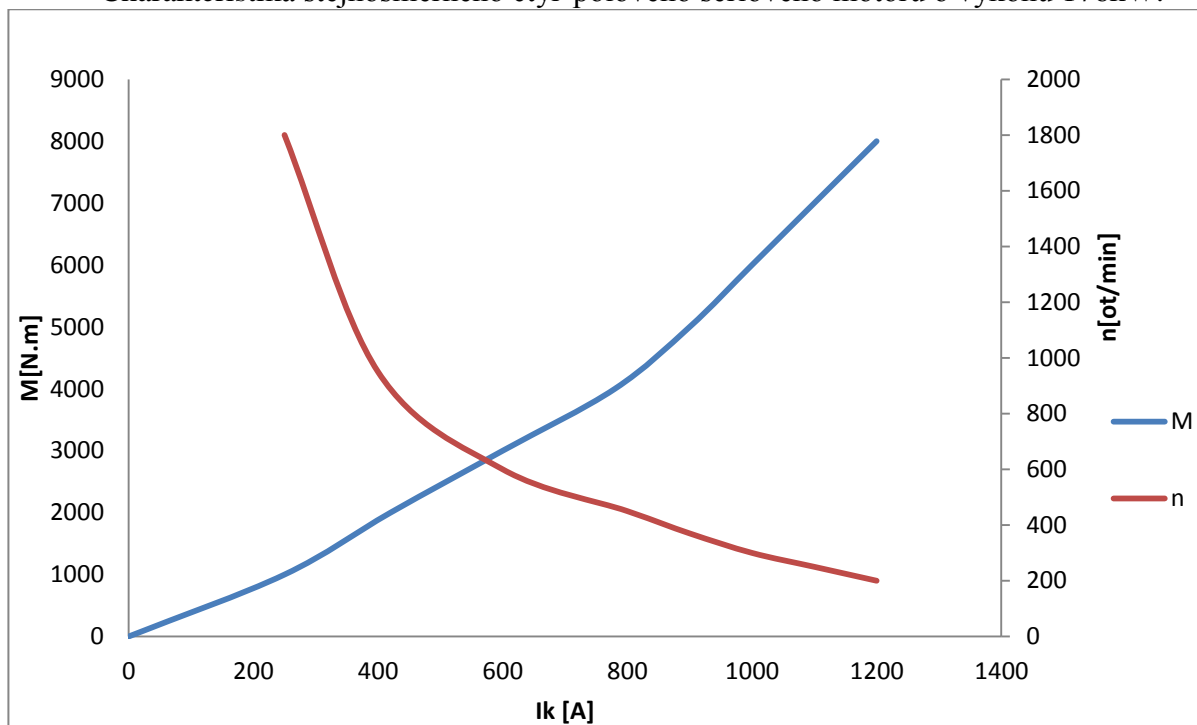
Nejčastěji používaným trakčním motorem z hlediska historie je sériový stejnosměrný motor, který díky svým vlastnostem byl vhodným zdrojem plynule regulovatelného momentu při použití jednoduché odporové regulace. S rozvojem pulzní regulace se začal více využívat stejnosměrný motor cize buzený, hlavní výhodou je menší energetická náročnost oproti pohonu se sériovým motorem. Dnes se již výhradně používá motorů asynchronních a to především díky rozvoji frekvenčních měničů, které umožňují plynulou regulaci pohonu. Hlavní výhodou těchto motorů je konstrukční jednoduchost. [13]

4.1.1 Stejnosměrný motor na zvlněný proud

V lokomotivách s pulzní regulací a stejnosměrnými motory je vzhledem k zvlnění usměrněného proudu nutné používat motory upravené na zvlněný proud. Pokud by byl v lokomotivě použit klasický stejnosměrný motor a byl by napájen z trakčních usměrňovačů, pracoval by s menší účinností a s větším oteplením než motor upravený. Úprava motoru na zvlněný proud spočívá ve složení magnetického obvodu z plechů, to se týká i pólů a jha. [19]

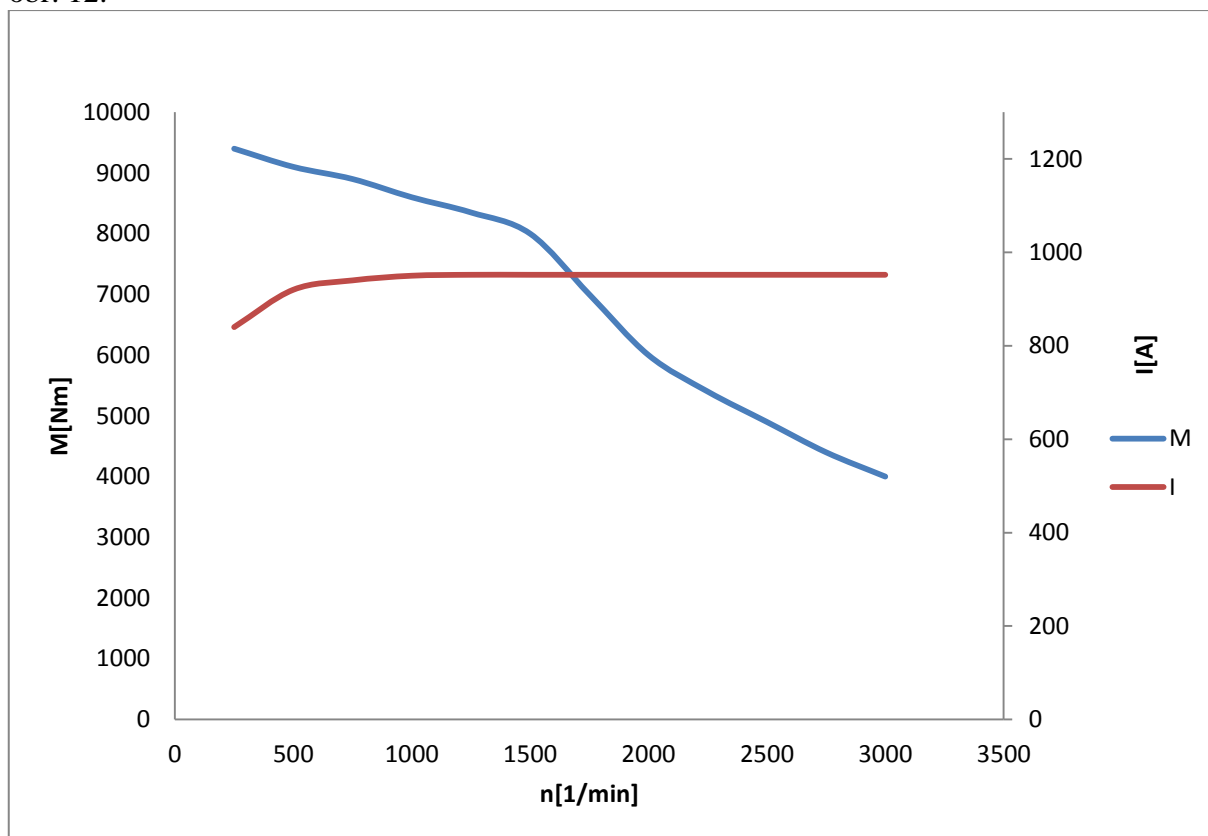
4.2 Charakteristiky trakčních motorů

Charakteristika stejnosměrného čtyř-pólového sériového motoru o výkonu 176kW.



Obr. 11 Charakteristika sériového motoru

Charakteristika asynchronního šestipólového motoru o výkonu 1280kW je uvedena na obr. 12.



Obr. 12 Charakteristika asynchronního motoru

4.3 Parametry trakčních motorů

Za základní parametry trakčních motorů lze považovat jmenovitý a hodinový výkon, a s tím související velikost trvalého a hodinového proudu.

Jmenovitý výkon trakčního motoru je podle normy pro trakční stroje (ČSN 36 2205) výkonem trvalým. Je to největší mechanický výkon, jakým lze motor trvale zatížit při jmenovitém napětí na svorkách, s normálním, obvykle nejsilnějším buzením a chlazením, aniž by oteplení vinutí a komutátoru překročilo dovolenou mez podle třídy izolace. Příslušný proud je jmenovitý, trvalý proud. Viz [14].

Hodinový výkon se dle definice uvedené viz [14] určuje zkouškou u výrobce a definuje se jako největší mechanický výkon, jakým lze motor při jmenovitém napětí s normálním buzením a chlazením z chladného stavu po dobu jedné hodiny zatížit aniž by oteplení vinutí a komutátoru překročilo dovolenou hodnotu podle třídy izolace. Příslušný proud je proudem hodinovým.

Stejnoseměrný trakční motor cize buzený použitý v lokomotivách řady 163, 263 a 363

Typ trakčních motorů AL 4562 FiR [AL 4542 FiR]

Výkon	765 kW
Jmenovité otáčky	910 ot/min
Trvalý proud	715 A
Hodinový proud	765 A
Jm. napětí na svorkách [=]	1 300 V
Jm. napětí na svorkách [~]	1 150 V

Stejnoseměrný trakční motor sériový použitý v lokomotivách řady 150,151,350

Typ trakčního motoru AL 4741 Flt

Výkon	1000 kW
Hodinový výkon	1050 kW
Jmenovité otáčky	1075 ot/min
Hodinové otáčky	1060 ot/min
Trvalý proud	715 A
Hodinový proud	750 A
Jm. napětí na svorkách	1500 V

3f asynchronní motor použitý v lokomotivě řady 380

Typ trakčního motoru ML 4550 K/6

Jmenovitý výkon	1600 kW
Jm. napětí na svorkách	1130 V
Trvalý proud	2x518 A
Jmenovité otáčky	1825 ot/min
Maximální otáčky	3700 ot/min

Hodnota trvalého proudu 2x518A je uvedena dvojnásobkem z důvodu provedení motoru se dvěma vinutími. Důvodem použití dvou vinutí je možnost rozdělení výkonu mezi dva napájecí střídače a také možnost použití motoru na napájecí napětí 1,5 kV či 3 kV. Statorové vinutí lze tedy zapojit do jednoduché hvězdy nebo hvězdy dvojitě.

5. Porovnání realizovaného řešení s dopadem na další vývoj dvousystémových lokomotiv

Nejpodstatnější vývoj v technologii dvousystémových lokomotiv se zcela jistě udál v oblasti regulace výkonu lokomotivy, s čímž souvisí i změna technologie trakčních motorů. V lokomotivě řady 363 je použita pulzní regulace založená na použití tyristorů a k nim paralelně připojených komutačních obvodů, které zajišťují vypnutí tyristorů. Toto řešení lze díky rozvoji vypínatelných polovodičových součástek nahradit pulzními měniči s IGBT tranzistory nebo GTO tyristory. Řešení s IGBT moduly dnes používá firma Škoda na lokomotivách řady 380 a rekonstrukcích řady 363 na řadu 363.5. Toto řešení též používá firma Siemens u většiny svých elektrických lokomotiv. Výhodou IGBT technologie jsou nižší ztráty v polovodičích, lepší potlačení vyšších harmonických složek proudu a také možnost konstrukce vodního chlazení díky vyšší izolační pevnosti IGBT modulů. Další výhodou použití IGBT modulů oproti zastaralé technologii použité v řadě 363 je značná úspora hmotnosti měniče. K porovnání trakční měnič Dios Delta A váží 735kg, oproti tomu měnič použitý v rekonstruované řadě 363.5 využívající IGBT modulů váží pouhých 278kg.

Jak již bylo řečeno, s rozvojem měničů se postupem času též měnily typy používaných trakčních motorů. Jako první trakční motory byly používány stejnosměrné sériové motory, protože mají výhodný průběh momentu a hlavně je možno je řídit skokově. S příchodem polovodičové techniky již bylo možné použít cize buzený stejnosměrný motor s plynulou regulací, což přineslo zejména energetickou úsporu a také možnost inteligentního řízení lokomotivy. V současnosti se využívá zejména asynchronních trakčních motorů, které jsou řízeny frekvenčními měniči. Výhodou tohoto pohonu je zejména konstrukční jednoduchost motoru a jeho spolehlivost.

Další požadovanou vlastností elektrických lokomotiv, vzhledem k energetické úspoře, je možnost rekuperace na všech napájecích systémech. Lokomotiva řady 363 není schopná rekuperovat energii do sítě, a tak se všechna energie vyrobená při brždění lokomotivy spálí v brzdových odporácích. Po rekonstrukci na řadu 363.5 už je schopna rekuperovat na obou trakčních systémech, tak jako lokomotiva řady 380.

S ohledem na budoucnost vývoje vícesystémových lokomotiv lze předpokládat vývoj lokomotiv na více než dva trakční systémy, zejména z důvodu rostoucí vozby mezinárodních rychlíkových vlaků, s čímž též souvisí zvyšování konstrukční rychlosti lokomotiv přes hranici 200km/h. S rostoucí požadovanou rychlostí též narůstá výkon lokomotiv, a tak již lokomotiva o výkonu 4MW, která byla ještě před 30 lety pokládána za extrémní, a její potenciál nebyl

plně využít, dnes již výkonově nestačí a běžně se setkáme s elektrickými lokomotivami, jejichž výkon přesahuje 6,5MW.

Další oblastí, která získává na popularitě, a do budoucna se bude jistě značně rozšiřovat, je modularita elektrických prvků lokomotivy, která umožňuje stavbu lokomotivy různých parametrů s minimálními finančními náklady a bez nutnosti změny projektu. Je tak možné lokomotivu po několika letech jednoduše doplnit o možnost jízdy na dalším trakčním systému bez větších obtíží.

Vzhledem k rozšířenému používání push-pull souprav se zavádí možnost tzv. aktivního odstavení lokomotivy. Tento režim spočívá v bezpečném uzamčení a zabezpečení lokomotivy po odstavení se zvednutými sběrači a aktivními pomocnými pohony. Výhodou aktivního odstavení je možnost vytápět jednotku v zimních měsících a dále umožňuje odesílání servisních dat z lokomotivy i v nepřítomnosti strojvedoucího. Poslední jmenovaná možnost je jednou z rozšiřujících se vlastností moderních lokomotiv. Lokomotiva zasílá online informace do servisního střediska a zrychluje tak servisní úkony.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] JANSÁ F.: Vozidla elektrické trakce, Nadas, Praha 1983
- [2] ŠVESTKA, David. Loko-363. *Atlas lokomotiv* [online]. © 2004-2013, 2.9.2005 [cit. 2013-02-19]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-363.html>
- [3] Lokomotivní řada 363, 362 ČD a ŽSR/ZSSK. In: *Stránky přátel železnic* [online]. 2001 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://spz.logout.cz/vozidla/363/363.php>
- [4] KUNCL L.: Rekonstrukce řad 162 a 363 ŽSR. Dráha 10,2000
- [5] Lokomotiva 340. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-02-19]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Lokomotiva_340
- [6] ŠVESTKA, David. Loko-230. *Atlas lokomotiv* [online]. © 2004-2013, 5.8.2005 [cit. 2013-02-19]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-230.html>
- [7] ŠVESTKA, David. Loko-350. *Atlas lokomotiv* [online]. © 2004-2013, 23.9.2005 [cit. 2013-02-19]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-350.html>
- [8] ŠVESTKA, David. Loko-372. *Atlas lokomotiv* [online]. © 2004-2013 [cit. 2013-02-19]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-372.html>
- [9] ŠVESTKA, David. Loko-380. *Atlas lokomotiv* [online]. © 2004-2013, 31.5.2010 [cit. 2013-02-19]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-380.html>
- [10] ZLINSKÝ, Zbyněk. *Vlaky.net* [online]. 4.12.2005 [cit. 2013-02-19]. Dostupné z: <http://www.vlaky.net/servis/sprava.asp?lang=1&id=997&hit=0&host=www.vlaciky.sk>
- [11] BIERHANZL, V., M. SYCHRA a V. BOHUSLAV. ŠKODA TRANSPORTATION A.S. *Návod k obsluze dvousystémové elektrické lokomotivy: ŠKODA 71 Em, ČD 363.5*. Plzeň, 2011.
- [12] ČD-TELEMATIKA A.S. *Knihovna HV – řada 363: Uživatelská příručka* [CD].
- [13] DANZER, Jiří. *Elektrická trakce I*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta, 2000, 198 s. ISBN 80-708-2633-9.
- [14] JANSÁ, František. *Dynamika a energetika elektrické trakce*. Praha: Nadas, 1980.
- [15] ŠVESTKA, David. Loko-680. *Atlas lokomotiv* [online]. © 2004-2013, 16.4.2006 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-680.html>
- [16] ŠVESTKA, David. *Atlas lokomotiv* [online]. © 2004-2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/>
- [17] ČESKOSLOVENSKÉ STÁTNÍ DRÁHY. *Elektronické obvody*. Plzeň, 1990.
- [18] ČESKOSLOVENSKÉ STÁTNÍ DRÁHY. *Funkční popis elektrických obvodů: Řada 363*. Plzeň, 1990.

[19] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Sériový elektromotor [online]. c2013 [citováno 12. 03. 2013]. Dostupný z WWW:

http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=S%C3%A9riov%C3%BD_elektromotor&oldid=10254900

Seznam příloh

Část A: Trakční usměrňovač

Obr. A.1: Schematické zapojení trakčního usměrňovače U01

Část B: Kotevní pulsní měnič

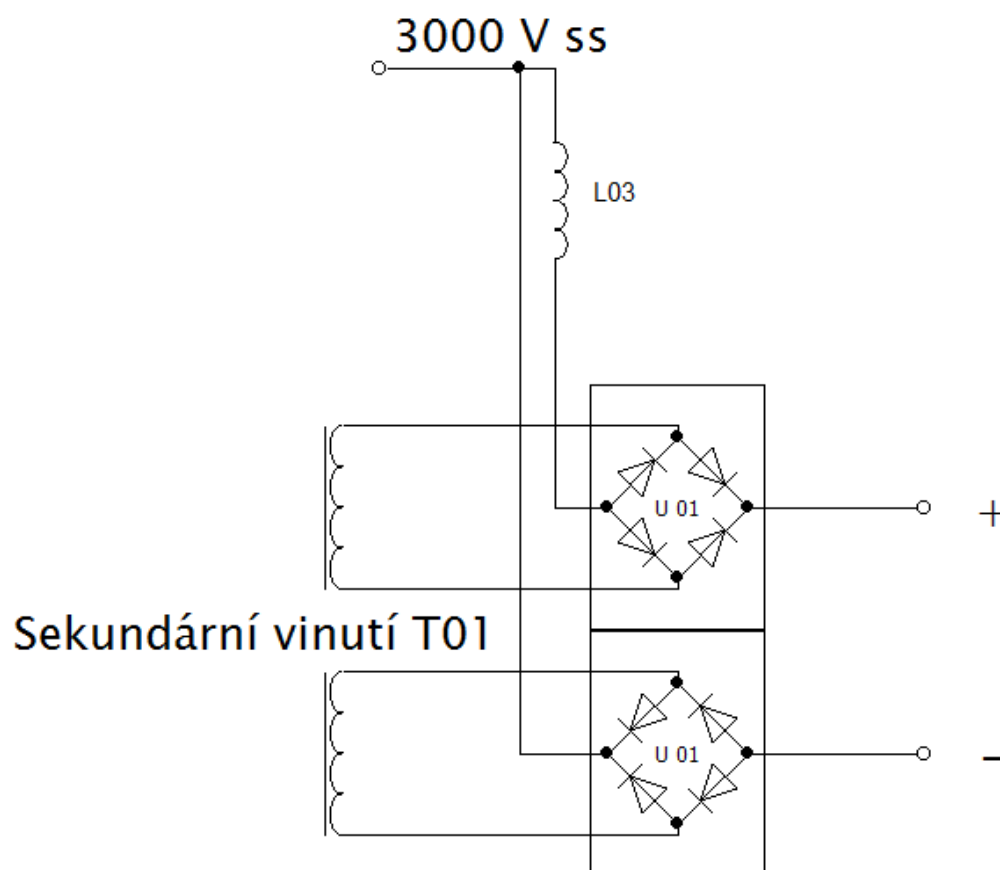
Obr. B.1: Schematické zapojení pulsního měniče Puls-Delta A

Část C: Pulsní měnič buzení

Obr. C.1: Schematické zapojení pulsního měniče Batyr – Delta A

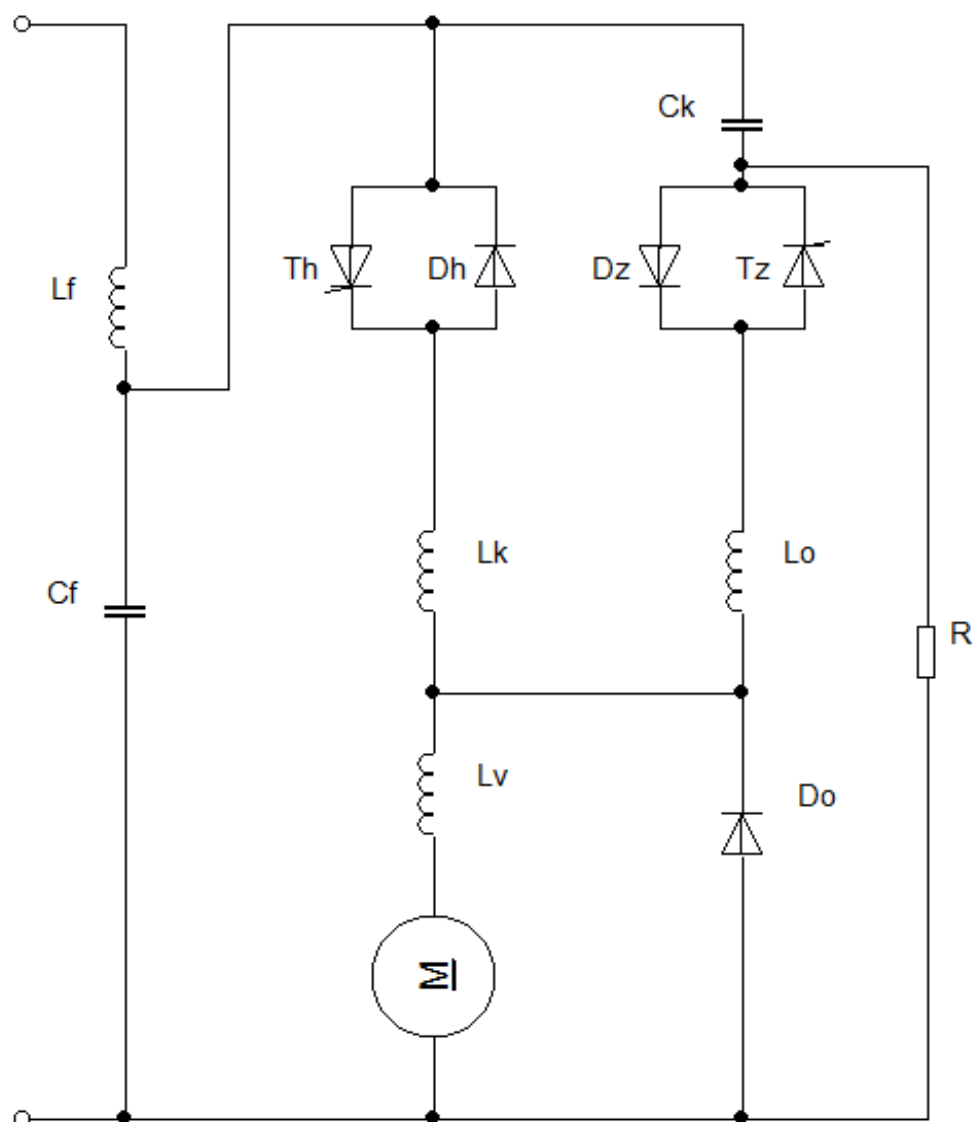
Přílohy

Část A: Trakční usměrňovač



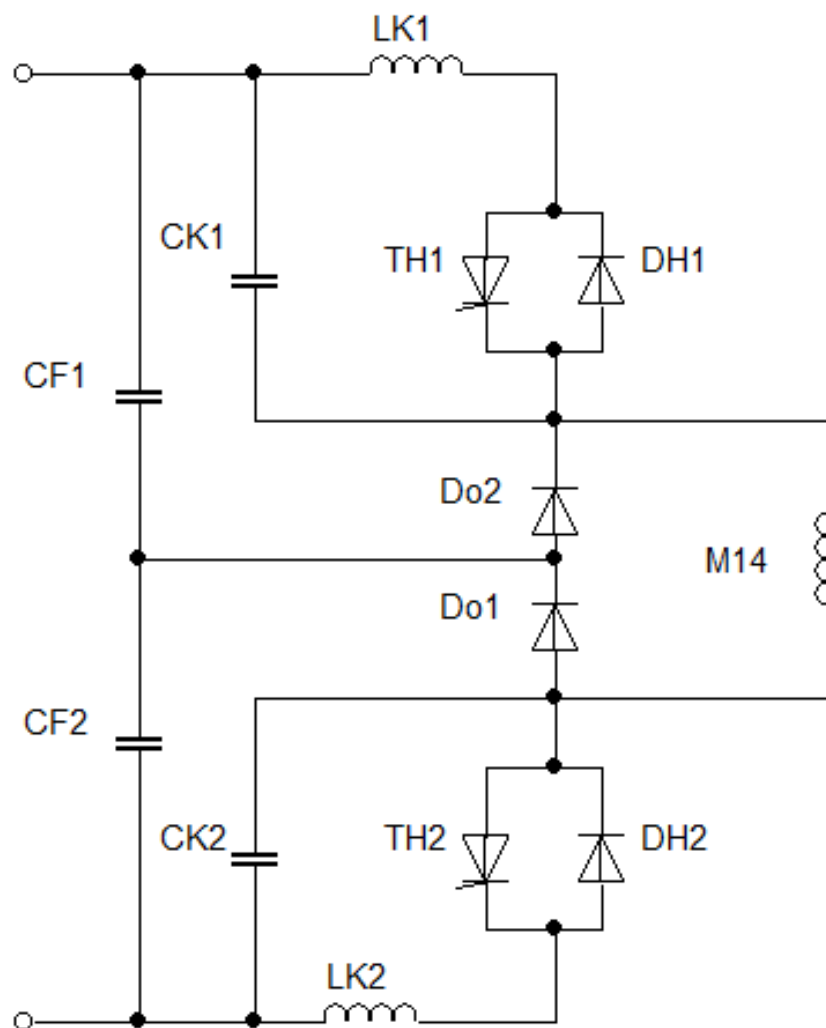
Obr. A.1: Schematické zapojení trakčního usměrňovače U01

Část B: Kotevní pulsní měnič



Obr. B.1: Schematické zapojení pulsního měniče Puls-Delta A

Část C: Pulsní měnič buzení



Obr. C.1: Schematické zapojení pulsního měniče Batyr – Delta A