

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Trakční měnič PULS DELTA A a jeho rekonstrukce

Vedoucí práce: Ing. Martin Janda, Ph.D.

Autor: Petr Eštok

Čestné prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

Datum: 22. 5. 2016

.....
podpis

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá trakčním měničem lokomotivy s t.o. Škoda 69E a dvou jeho rekonstrukcí. V první části je měnič zasazen do kontextu lokomotivy a popsány dvě další jeho varianty. První varianta popisuje použití RCT tyristorů u lokomotivy s t.o. 69Em, druhá varianta popisuje nejmodernější verzi lokomotivy Škoda 71E - Škoda 71Em. Ve druhé části bakalářské práce je popsána simulace měniče, ze které byly odvozeny spektra proudu odebíraného měničem z kondenzátoru hlavního filtru. Bylo také provedeno srovnání chování idealizovaného s reálným měničem. Na závěr bylo odvozeno přesazení spínání jednotlivých větví měničů a jeho důsledky.

Klíčová slova

Škoda 69E, Škoda 69E E5, Škoda 70E, Škoda 71EM, 362, 363, Puls Delta, napěťový snižovací měnič

Abstract

This bachelor's thesis deals with traction inverter of locomotive with factory signification Škoda 69E and it's two reconstructions. In the first part of this thesis the author implanted the inverter in the context the inverter is implanted in the context of the locomotive and two other variants are described. The first variant describes application of RCT thyristors of the locomotive with factory signification 69Em, the second variant describes the newest version of locomotive Škoda 71E - Škoda 71Em. In the second part of this thesis the author describes simulation of the inverter. In this simulation spectrums of power sampled by the inverter from capacitor of main filter were derived. Also, a comparison of behavior of ideal inverter and existed inverter was constructed. Lastly, the author derived displacement of switching of individual branches of inverters and it's consequences.

Keywords

Škoda 69E, Škoda 69E E5, Škoda 70E, Škoda 71EM, 362, 363, Puls Delta,

Obsah

1	Seznam symbolů a zkratk	2
2	Úvod	6
3	Lokomotiva 69E	6
4	Popis trakčních silových obvodů	7
4.1	Stejnoseměrný systém	7
4.2	Střídavý systém	8
4.2.1	Problematika chodu naprázdno na střídavém napájecím systému	9
4.2.2	Filtr 100Hz L04, C03	10
4.3	Trakční obvod	10
5	Unipuls 80 M	11
6	Kotevní měniče PULS DELTA	12
6.1	Napájení měničů	13
6.2	Výbava měničů	13
6.3	Obecný princip funkce měničů	15
6.4	Princip funkce	15
6.5	Princip komutace tyristorů měniče	17
7	Lokomotiva 69 Em	20
7.1	blok PMA	21
8	Lokomotiva 71EM	21
8.1	Rekonstrukce	22
8.1.1	Měničová skříň 4MS-1	22
8.1.2	Řídící systém	24
8.1.3	Parametry kotevního pulzního měniče	25
8.1.4	Vstupní čtyřkvadrantový usměrňovač	26
8.1.5	Pulzní měnič odporové brzdy	28
8.1.6	Rychlá tyristorová ochrana stejnosměrného meziobvodu	29
8.1.7	Kondenzátor filtru druhé harmonické	29
8.1.8	Nabíjecí obvod filtračních kondenzátorů měničové výzbroje	29
8.1.9	Protiskluzová a protismyková ochrana	29
9	Simulace	30
9.1	Parametry obvodu pro simulaci	30
9.2	Nastavení simulace	31
9.3	Průběhy napětí a proudů reálného měniče	32
10	Závěr	37
11	Seznam použité literatury	38
12	Přílohy	39

1 Seznam symbolů a zkratek

μs	mikrosekunda
Ω	Ohm
1 KR D 19	řídící kontrolér
1.MS	první motorová skupina
2.MS	druhá motorová skupina
4MS-1	měničová skříň první motorové skupiny
4MS-2	měničová skříň druhé motorové skupiny
A	Ampér
BATYR DELTA	měnič buzení
C	tyristor
C02	tavná pojistka
C2	odbočka trakčního transformátoru
C03	kondenzátor rezonančního filtru
C3	odbočka trakčního transformátoru
C4	odbočka trakčního transformátoru
C07	ochranný kondenzátor
C04	kondenzátor vstupního filtru
C10	kompensační kondenzátor
C14	rozběhový kondenzátor
C15	rozběhový kondenzátor
C30	filtrační kondenzátor
CAN	vozidlová standartizovaná sběrnice
C_k	komutační kondenzátor
ČKD	Českomoravská-Kolben-Daněk
ČD	České dráhy, a.s.
D	dioda brzdného obvodu
D_0	nulová dioda
DC	stejnoseměrný proud
D_h	hlavní dioda
DIUS DELTA	trakční usměrňovač
D_z	zhášecí dioda
EDYN 22	regulátor tahu
F1	tavná pojistka
F01	bleskojistka
F02	bleskojistka
F05	pomalá tavná pojistka
F19	tavná pojistka
F20	tavná pojistka
F21	tavná pojistka
F22	tavná pojistka
F110	jistič
f01P	relé pro zaznamenávání počtu působení přepětové ochrany
F02P	relé pro zaznamenávání počtu působení přepětové ochrany
G	komutační kondenzátor

H	nulová dioda	
Hz	hertz	
hod	hodin	
I	proud	
I/O	vstupně výstupní jednotka I_0	proud tekoucí nulovou diodou
IGBT	bipolární tranzistor s izolovaným hradlem	
I_m	komutační proud	
I_m	proud motorem	
I_v	proud vyhlazovací tlumivkou	
I_{vyb}	vybíjecí proud	
J-B-D	přepínač jízda- brzda- diagnostika	
K01	relé	
K02	napěťové relé	
K03	měřicí cívka diferenciálního relé trakčního obvodu	
K04	nadproudové dvoukotvové relé	
K09	relé nadproudové ochrany vlakového topení	
K11	síťový stykač	
K12	síťový stykač	
K13	nabíjecí stykač	
K21	relé	
K85	stykač vlakového topení	
K91	stykač	
kg	kilogram	
km/h	kilometr v hodině	
kV	kilovolt	
kW	kilowatt	
L	dioda	
L01	reaktor	
L03	tlumivka vstupního filtru	
L04	cívka rezonančního filtru	
L05	vyhlazovací tlumivka první větve 1.MS	
L06	vyhlazovací tlumivka druhé větve 1.MS	
L07	vyhlazovací tlumivka první větve 2.MS	
L08	vyhlazovací tlumivka druhé větve 2.MS	
L11	vyhlazovací tlumivka	
L12	vyhlazovací tlumivka	
L13	vyhlazovací tlumivka	
L14	vyhlazovací tlumivka	
L30	tlumivka	
L_k	komutační tlumivka	
L_v	vyhlazovací tlumivka	
m^3/s	metry krychlové za sekundu	
m1	odbočka trakčního transformátoru	
m2	odbočka trakčního transformátoru	
m3	odbočka trakčního transformátoru	
m4	odbočka trakčního transformátoru	
m5	odbočka trakčního transformátoru	

M01	trakční motor	
M02	trakční motor	
M03	trakční motor	
M04	trakční motor	
M19	čerpadlo oleje	
M20	čerpadlo oleje	
mm	milimetry	
mnm	metrů nad mořem	
mF	miliFarad	
mH	miliHenry	
NVL	národní vlaková linka, komunikační standart	
P01	voltmetr na stanovišti strojvedoucího	
P02	voltmetr na stanovišti strojvedoucího	
Pa	Pascal PUA	převodník napětí
PULS DELTA	kotevní měnič	
PWM	pulsně šířková modulace	
Q01	hlavní vypínač stejnosměrného systému	
Q02	hlavní vypínač střídavého systému	
Q03	ruční odpojovač	
Q04	ruční odpojovač	
Q06	odpojovač stejnosměrného systémů	
Q07	přepojovač systémů	
Q11	přepojovač jízdního režimu	
Q13	přepojovač směru	
Q31	přepojovač	
Q50	uzemňovač kondenzátorů skříně trakčních měničů	
R	nabíjecí odpor	
R01	brzdový odpor	
R05	omezovací odpor	
R10	vybíjecí odpor	
R13	nabíjecí odporník	
R15	předbíjecí odpor	
R20	vybíjecí odpor	
R21	dělicí odpor pro měření trolejového napětí	
R22	předřadný odpor	
R24	dělicí odporník s vyvedeným středem	
R29	předřadný odpor	
R30	odpor	
R31	odpor	
R32	předřadný odpor	
R50	odpor	
R71.A	odrušovací odpor kotvy trakčního motoru	
R71.B	odrušovací odpor kotvy trakčního motoru	
R141	ladící odpor	
R143	bočník	
RCT	zpětně propustný tyristor	
SM51.1	pomocné měniče	

T	tlumivka	
T01	trakční transformátor	
T01PA	diferenční relé	
T01PB	diferenční relé	
T01PC	diferenční relé	
T01PD	diferenční relé	
T06	indikační transformátor	
T10	oddělovací transformátor	
T11	transduktor měření kotevního proudu	
T_h	hlavní tyristor	
T_z	zhášecí tyristor	
t.o.	tovární označení	
U01	horní polovina trakčního usměrňovače	
U02	dolní polovina trakčního usměrňovače	
U03	první větev kotevního měniče 1.MS	
U04	druhá větev kotevního měniče 1.MS	
U05	první větev kotevního měniče 2.MS	
U06	druhá větev kotevního měniče 2.MS	
U21.A	kotevní dvoufázový pulzní měnič	
U21.B	kotevní dvoufázový pulzní měnič	
U30	budící měnič	
U50	jednofázový střídač	
U70	usměrňovač	
U71	budící měnič	
UF	převodník napětí	
U_M	maximální napětí	
UNIPULS	měníč pomocných pohonů	
V	Volt	
V08	tyristor	
X01	polopantografový univerzální sběrač	
X02	polopantografový univerzální sběrač	
X03	zemnič X06	vidlice vlakového topení
X07	zásuvka vlakového topení	
z	poměrné otevření	

2 Úvod

Cílem práce je popsat a vysvětlit princip funkce trakčního měniče PULS DELTA a měničů na něj navazujících s prvky RCT a IGBT lokomotivy Škoda 69E. První část se zaměří na původní měnič použitý v prvních čtyřech a velké části páté výrobní série lokomotivy. Z páté výrobní série budou zmíněny stroje 363.174-4 a 363.175-1, na nichž byly původní tyristory nahrazeny RCT prvky a nejmodernější měnič obsahující IGBT tranzistory na lokomotivách 363.501 až 363.530. V první části jsou popsány základní stavební celky elektrické výzbroje lokomotivy a jejich účel. Dále je detailně popsán trakční měnič PULS DELTA a princip komutace tyristorového měniče. U měniče s RCT tyristory je vyzdvížen význam a použití tyristorového bloku PMA. U Strojů 363.501 až 363.530 jsou nastíněny některé změny v hlavních obvodech a důraz je kladen zejména na skříň měniče 4MS-1. Příslušné popisy jsou doplněny schémata, z nichž některá jsou překreslena tak, aby lépe vyhovovala potřebám práce. Druhou část tvoří simulace průběhu proudu na kondenzátoru hlavního filtru C04 odebíraného původním měničem s klasickými tyristory a komutačním obvodem. V prostředí MATLAB/Simulink byl vytvořen funkční obvod jedné motorové skupiny a na základě průběhu veličin naměřených na tomto obvodu je odvozeno odebírané spektrum proudu vystupujícího z napájecího zdroje. tento proud je také porovnán a proudem, který by z napájecího zdroje odebíral měnič s ideálními spínacími prvky. Změřené veličiny byly také použity pro odůvodnění přesazení spínání jednotlivých větví měničů v závěru práce. Dalším důvodem vzniku práce bylo ověření a prohloubení autorových znalostí dané problematiky, na které potom bude moci navázat při výkonu své profese. Tento materiál také bude sloužit jako podpora pro výuku předmětů Základy dopravního inženýrství a Elektrická trakce zaštiťovaných Katedrou elektromechaniky a výkonové elektroniky na FEL ZČU.

3 Lokomotiva 69E

[1][10] Elektrická dvousystémová lokomotiva řady 363 (362), továrním označením Škoda 69E, je první dvousystémovou lokomotivou vyráběnou v Československu, která reguluje trakční výkon pulsními měniči. Vyrobita ji firma Škoda, ve spolupráci s ČKD Elektrotechnika, která dodala silovou a řídicí elektroniku. Výroba probíhala v pěti sériích včetně dvou prototypů. Hmotnost stroje je 87 tun, dosahuje rychlosti až 120 km/h (ř.363), resp. 140km/h (ř.362), při maximálním trvalém výkonu 3 060 kW na střídavém systému a 3 480 kW na stejnosměrném systému. Lokomotiva je skříňového provedení, se dvěma stanovišti oddělenými průchozí strojovnou. Má čtyři nápravy rozdělené do dvou podvozků. Každá náprava je hnána vlastním stejnosměrným, cize buzeným motorem, s kompenzačním vinutím. Regulace výkonu motorů je bezkontaktní, závislá na poměrném otevření pulsních měničů.

4 Popis trakčních silových obvodů

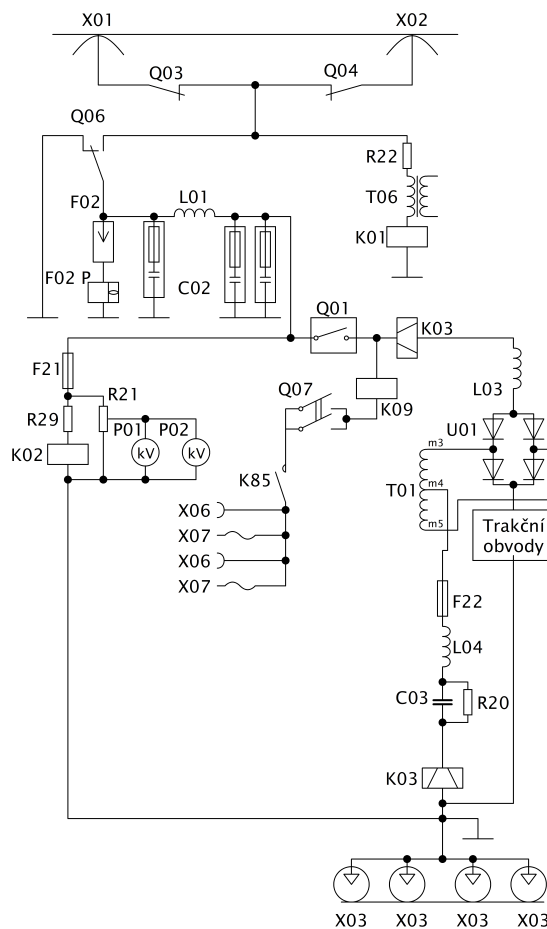
4.1 Stejnoseměrný systém

[4] Stejnoseměrné napětí 3 000V je z troleje odebíráno dvojicí polopantografových univerzálních sběračů X01, X02. Přes ruční odpojovač Q03, Q04 a odpor R22 projde primárním vinutím indikačního transformátoru T06 až do cívky K01. Díky přivedení napětí na cívku relé K01 se přestaví kontakty odpojovače stejnosměrného systému Q06 z pozice "uzemněno" do pracovní polohy. Dále se v obvodu nachází vysoko-
napěťová ochrana proti působení atmosférických vlivů a provozních přepětí. Tvoří ji bleskojistka F02, relé pro zaznamenávání počtu zapůsobení přepěťové ochrany F02P, reaktor L01 a odrušovací kondenzátor s tavnou pojistkou C02, sloužící jako jemná přepěťová ochrana.

Následně se elektrická energie dostane až na kontakt hlavního vypínače stejnosměrného systému Q01 a předřadný odpor R29. Tento odpor je chráněn tavnou pojistkou F21 a omezuje napětí cívky napěťového relé K02. Paralelně k odporu R29 a cívce K02 je připojen odpor R21, který slouží jako dělicí odpor pro měření trolejového napětí zobrazovaného na stanovišti strojvedoucího voltmetry P01 a P02. Výstup z K02 a měřicího členu vede přes nápravový sběrač a nápravu do kolejí.

Po sepnutí hlavního stejnosměrného vypínače se přivede napětí na cívku relé nadproudové ochrany vlakového topení K09, z ní přes přepojovač systémů Q07 na stykač vlakového topení K85 a z něj do zásuvek a vidlicí vlakového topení X06 a X07 vně lokomotivy.

Druhý vývod z hlavního vypínače vede přes vstupní měřicí cívku diferenciálního relé trakčního obvodu K03 na filtrační tlumivku L03, která s kondenzátorem C04 tvoří vstupní filtr snižující odběr střídavé složky odebíraného proudu. Následujícím průchodem polovinou usměrňovače U01 se elektrická energie dostane do trakčního obvodu.



Obrázek 4.1: Vysokonapěťový obvod stejnosměrného napájecího systému

4.2 Střídavý systém

[4] Při napájení lokomotivy střídavým systémem 25 kV proud do lokomotivy opět vstupuje sběrači X01 a X02 a přes ruční odpojovače Q03, Q04 pokračuje do ochrany proti působení atmosférických vlivů a provozních přepětí tvořené bleskojistkou F01 a počítacím relé F01.P. Zároveň se trolejové napětí dostane na indikační obvod tvořený předřadným odporem indikačního transformátoru R22 a indikačním transformátorem T06. Na sekundární vinutí tohoto transformátoru je přes jistič F110 a předřadný ladící odpor R141 připojen bočník R143 s voltmetry zobrazujícími velikost trolejového napětí na stanovištích strojvedoucího.

Dále se v obvodu nachází hlavní vypínač střídavého systému Q02, po jehož sepnutí dojde k připojení trakčního transformátoru T01. T01 je olejový transformátor s pevným převodem. Chlazený je nuceným oběhem oleje. Tento oběh je zajištěn z odbočky C2, na kterou jsou připojeny dvě větve, každá s jedním olejovým čerpadlem M19 a M20. Motory čerpadel jsou jednofázové, asynchronní, jejich rozběh je realizován přes rozběhové kondenzátory C14 a C15 sepnutím kontaktů stykače K91. Impuls pro sepnutí je dán automaticky termostatem snímajícím teplotu oleje. Celý obvod je jističen dvojicí tavných pojistek F19 a F20.

Odbočky C3 a C4 jsou určeny pro vlakové topení. Jejich jmenovité napětí je 1.5

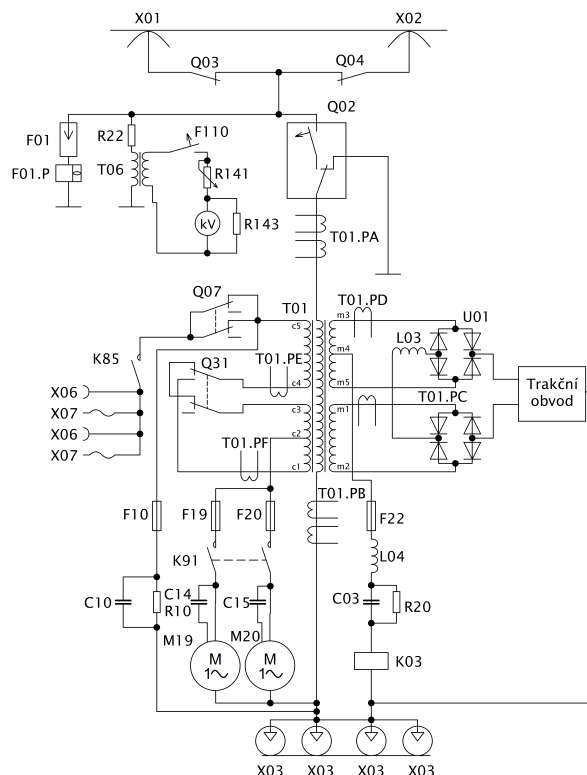
kV a lze je díky přepojovači Q31 zapojit do série (pro systém vlakového topení 3 kV), nebo paralelně (pro systém vlakového topení 1,5kV).

Dále je obvod vlakového topení stejný jako u napájení ze soustavy stejnosměrné - přes přepojovač napájecích systémů Q07 a stykač vlakového topení K85 je obvod v lokomotivě ukončen zásuvkami X06 a vidlicí X07 vně lokomotivy. K vlakovému topení je také připojen kompenzační kondenzátor C10 s vybíjecím odporem R10.

Odbočky m1, m2, m3, m5 jsou vyvedeny na usměrňovací můstek a z něj do trakčních obvodů. Jejich jmenovité napětí je 1 667 V. Nadproudovou ochranu trakčního usměrňovače tvoří diferenciální relé T01PD a T01PC.

Na odbočku m4 je připojen rezonanční filtr, tvořený cívkou L04 a kondenzátorem C03 s vybíjecím odporem R20. Tento obvod je chráněn tavnou pojistkou F22. Z rezonančního filtru obvod vede na relé diferenciální ochrany trakčních obvodů a z něj do zemničů X03 a kolejí.

Primární vinutí transformátoru T01 a obvod olejových čerpadel je také přes zemniče X03 sveden do kolejí. Tento obvod je chráněn čidly diferenciální a nadproudové ochrany T01.PA a T01.PB.



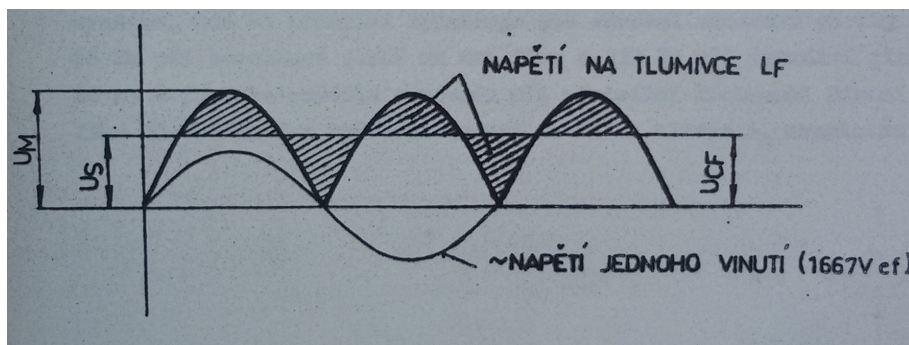
Obrázek 4.2: Vysokonapěťový obvod střídavého napájecího systému

4.2.1 Problematika chodu naprázdno na střídavém napájecím systému

[3] Při chodu naprázdno, kdy je odběr z filtru velmi malý (cca 2A pro dobíjení baterie, s dochlazováním cca 6A) by došlo k nabití kondenzátoru hlavního filtru až na amplitudu střídavého napájecího napětí, která již překračuje jmenovitou hodnotu.

$$U_M = 2 \cdot 1667 \cdot \sqrt{2} \doteq 4700V \quad (4.1)$$

V porovnání s ideální střední hodnotou 3000V to představuje zvýšení o 57 %. Aby k tomuto zvýšení napětí na filtru nedošlo, je průběh indukčnosti L03 při malých proudech zátěže upraven magnetickým obvodem. Tím je indukčnost L03 mohónásobně zvýšena a k přerušovanému chodu usměrňovače téměř nedochází a zvýšení napětí při chodu naprázdno činí cca 10 - 20 % podle velikosti odběru.



Obrázek 4.3: Průběh napětí na kondenzátoru hlavního filtru C04

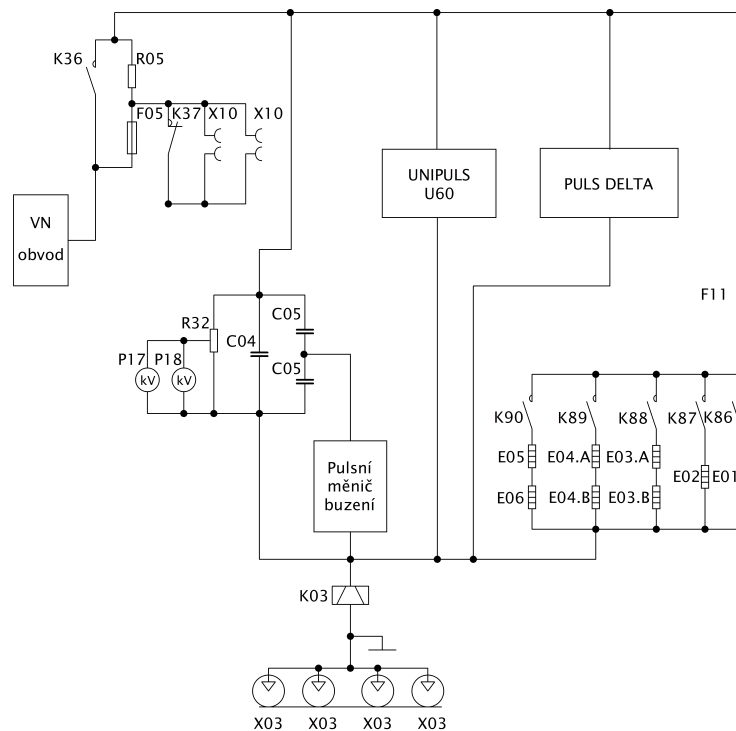
4.2.2 Filtr 100Hz L04, C03

[3] Dalším problémem chodu na střídavém napájecím systému je složka 100Hz v napájecím napětí z jednofázového usměrňovače. Střídavé složky proudu tlumivky L03 by způsobovala při větších odběrech z filtru C04, kdy je magnetický obvod filtrační tlumivky L03 nasycený a její indukčnost je 10mH zvlnění napětí na filtru cca 15%. Aby nebylo nutno hodnoty tlumivky a kondenzátoru vstupního filtru několikanásobně zvětšovat, je použita kompenzace složky 100Hz obvodem L04 a C03. Tento obvod je napájen z vlastní transformátorové odbočky jednou čtvrtinou napájecího napětí a navržen tak, že pro složku 100Hz má jeho výsledná reaktance kapacitní charakter. Tento kapacitní proud má velikost přibližně rovnou střídavé složce proudu filtrační tlumivkou L03. Vzhledem k tomu, že kapacitní proud členu L04 a C3 je o 90% elektrických v předstihu a střídavá složka proudu tlumivky L03 je naopak o 90% elektrických za napětím 100 Hz z usměrňovače, dochází v kondenzátoru C04 ke kompenzaci obou složek proudů. Napětí filtru C04 proto prakticky nemá zvlnění složkou 100 Hz. Omezení dalších vyšších harmonických složek proudu zajišťuje reaktor L04. Filtr 100Hz zůstává připojen i při napájení stejnosměrným napětím, kdy se uplatňuje při omezení jak střídavé složky 66Hz při poruchové jízdě na jeden měnič tak složky 133Hz při normální jízdě na dva měniče při rozjezdu při minimální spínací frekvenci měničů 33 1/3Hz. Pro vyšší spínací frekvence se nižší filtr vlivem L04 neuplatňuje.

4.3 Trakční obvod

[4] Z trakčního usměrňovače DIUS DELTA je přes odpor R05 napájen kondenzátor hlavního filtru C04. Odpor R05 je spolu s předřazenou pomalou pojistkou F05 do obvodu vřazen kvůli omezení počátečního nabíjecího proudu po připojení kondenzátoru C04. Paralelně ke kondenzátoru C04 je připojen předřadný odpor R32, ke kterému jsou připojeny voltmetry měřící napětí na kondenzátoru C04. Z Konden-

zátoru C04 je napájen měnič pomocných pohonů UNIPULS, čtyři kotevní měniče PULS DELTA a měnič buzení BATYR DELTA.



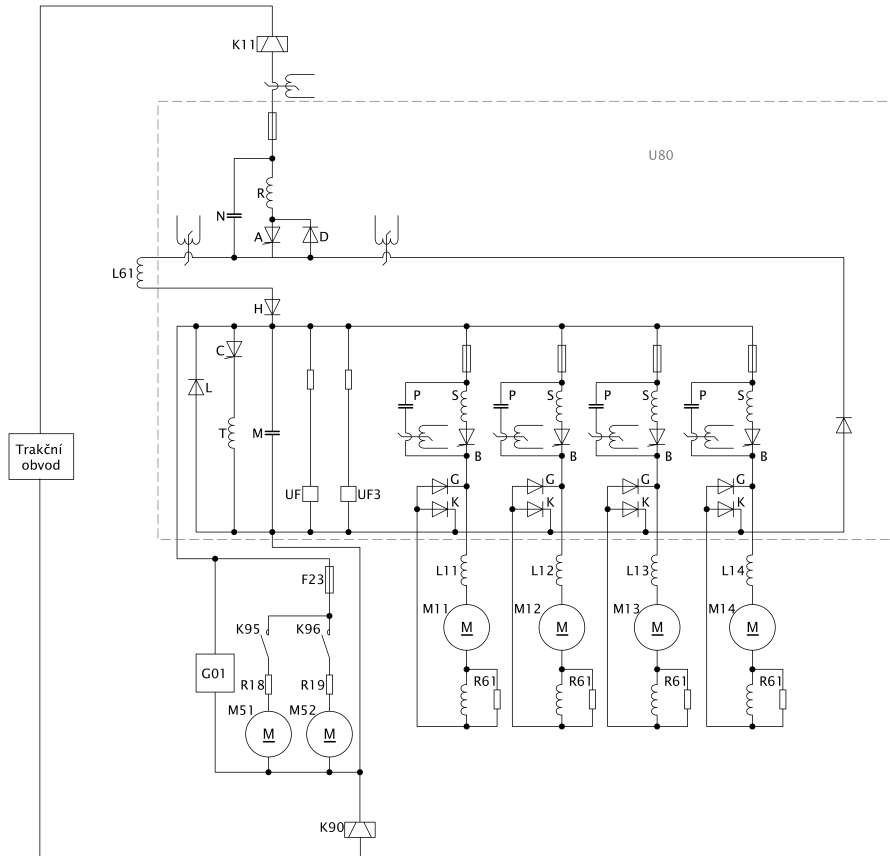
Obrázek 4.4: Trakční obvod

5 Unipuls 80 M

[4] Měnič pomocných pohonů Unipuls 80 M slouží k napájení motorů ventilátorů, kompresorů a nabíječe baterií lokomotivy. Skládá se ze dvou částí. Část primární slouží ke snížení napájecího napětí z 3 000V na 600V a jeho stabilizaci. Její jmenovitý výkon (při nuceném ochlazení) je 103 kW a maximální výstupní proud je 200A. Pracovní frekvence primární části je 33, 1/3 Hz až 900Hz stupňovitě po 33,1/3 Hz. Z primární části je také napájen měnič nabíjení lokomotivní baterie. Sekundární část má na starosti rozběhy a regulaci otáček motorů. Její jmenovité vstupní napětí je 600V DC +0% -10%, jmenovité výstupní napětí je 440V, s možností regulace 100 - 440V. Pracovní frekvence sekundární části je 33, 1/3 Hz až 900Hz. Jmenovitý výstupní proud je 69A, při rozběhu motorů až 85A.

Z kondenzátoru C04 vstupuje napětí do primární části pulsního měniče pomocných pohonů přes primární cívku relé diference pomocných pohonů K11 a 320A pojistku F1. Snižovací napěťový měnič je tvořen Morganovým zapojením se zpětnou diodou. Reálně tuto část tvoří řetězec 8 bloků tyristorů, 7 bloků s nulovou diodou a jedním blokem s antiparalelně zapojenou zpětnou diodou. Sekundární část je k primární připojena přes převodníky napětí UF. Je tvořena Morganovým zapojením bez zpětné diody. Skládá se ze čtyř bloků, z nichž každý obsahuje tyristor, cívku, kondenzátor, nulovou diodu a oddělovací diodu. Odtud jsou pak napájeny přes vyhlazovací tlumivky L11 - L14 jednotlivé motory. Mezi primární a sekundární částí

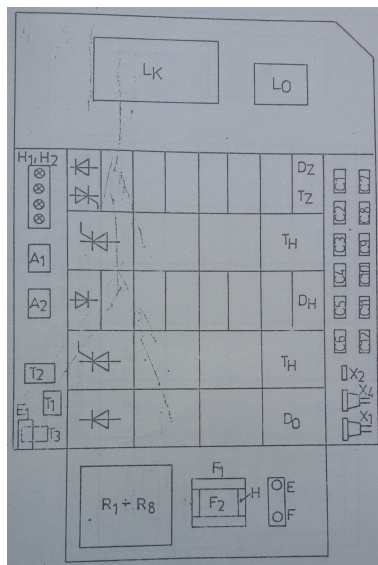
je dále umístěna přepětová ochrana. Při indikovaném přepětí sepne tyristor C a přebytečná energie se přes tlumivku T svede do kolejí. Pro vybití tlumivky je součástí obvodu také dioda L.



Obrázek 5.1: Unipuls 80 M

6 Kotevní měniče PULS DELTA

[3] Kotevní měniče lokomotivy 69E jsou dva, každý složený ze dvou větví. Větvě jsou pravé a levé. Schéma jejich zapojení je stejné, liší se pouze konstrukčním uspořádáním. Schéma jedné větve kotevního měniče viz příloha 1.



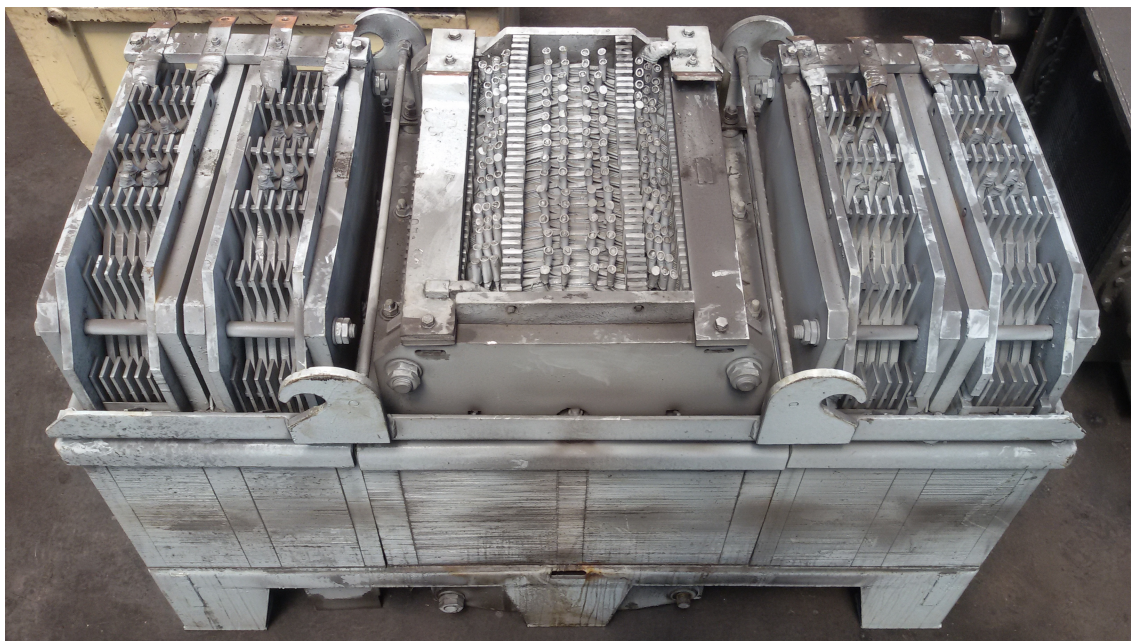
Obrázek 6.1: uspořádání jedné větve kotevního měniče s klasickými tyristory

6.1 Napájení měničů

[3] Pulzní měniče jsou napájeny z kondenzátoru hlavního filtru C04 stejnosměrným napětím 3 000V. C04 je nabíjen z trakčního usměrňovače DIUS DELTA, a to na stejnosměrném systému přes jeden můstek napětím 3 000V a na střídavém systému přes oba můstky s výstupní efektivní hodnotou napětí 1667V. Kotevní měnič jedné motorové skupiny tvořený dvěma fázemi pracuje se jmenovitým proudem 715 A. Proudů jednotlivých větví pulsních měničů se aritmeticky sčítají - střední hodnota proudu jedné větve je polovina hodnoty proudu procházejícího kotvami trakčních motorů. Při napětí na kotvách motorů 1 000V je měnič krátkodobě zatížitelný proudem 1 100A, při kotevním napětí 2 300V až proudem 850 A. V obou případech je maximální doba zatížení 5 minut.

6.2 Výbava měničů

[3] Lokomotiva 69E obsahuje dva dvoufázové pulsní měniče PULS DELTA. Každý z nich napájí dva stejnosměrné, cizí buzené motory, jejichž kotevní vinutí jsou zapojena do série. Každá větev měniče je umístěna ve vlastní skříni a obsahuje antiparalelní zapojení hlavního tyristoru a nulové diody, antiparalelní zapojení zhasčecího tyristoru a nulové diody, komutační kondenzátor, komutační reaktor, omezovací reaktor zhasčecího obvodu, nulové diody převodníky proudu, koncové zesilovače impulsů a signalizaci proražených polovodičových součástek.



Obrázek 6.2: nádoba obsahující tlumivky. Zleva: dvojice vyhlazovacích tlumivek druhé motorové skupiny, tlumivka hlavního filtru L03, dvojice vyhlazovacích tlumivek první motorové skupiny (na levé lze v horní části vidět stopy po přeskožení)



Obrázek 6.3: Vyvázaná nádoba obsahující tlumivky (vpředu) a trakční transformátor (vzadu). Jsou zde také vidět nástavce pro připojení k oběhu chladícího vzduchu u nádoby tlumivek a čerpadlo transformátorového oleje u nádoby transformátoru

6.3 Obecný princip funkce měničů

[5] Hlavní tyristory jsou řízeny pulsně šířkovou modulací. Řízení všech větví obou podvozků je vzájemně symetricky přesazeno kvůli rovnoměrnému zatížení trakční soustavy a rovnoměrné tažné síle. Dvě větve měniče o 180° , liché a sudé větve obou měničů pak vzájemně o 90° . Pulsní měnič je řízen konstantními frekvencemi 33 1/3 Hz (poměrné otevření $z = 0,011 - 0,0344$), 100 Hz ($z = 0,0344 - 0,103$), 300 Hz ($z = 0,103 - 0,9$) a 100 Hz s velkým otevřením ($z = 0,88 - 0,9$). Při rozjezdu se otevírá hlavní tyristor impulsy o frekvenci 33 1/3 Hz. Na začátku je zhasený tyristor spínán s minimálním fázovým posuvem cca 70 μ s oproti hlavnímu tyristoru, tento posuv se ale postupně zvětšuje, a to až do hodnoty shodné s hodnotou nejmenšího poměrného otevření na následující frekvenci - v případě 33 1/3 Hz je to frekvence 100 Hz. Na frekvenci 100 Hz se proces opakuje a končí přepnutím na frekvenci 300 Hz. Zde při dosažení hodnoty poměrného otevření 0,9 dojde k přepnutí na 100 Hz velké otevření. Díky použití této frekvence dochází ke zvýšení účinnosti měniče. V režimu brzda je proces obdobný, ovšem končí na frekvenci 300 Hz a poměrném otevření 0,45.

6.4 Princip funkce

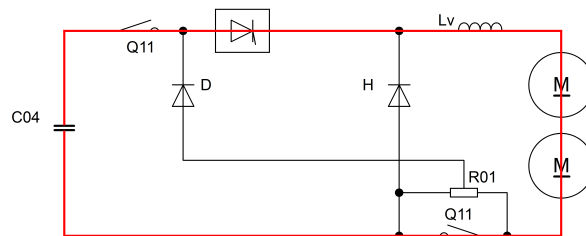
[5] Popis a schéma je uvedeno pro měnič první motorové skupiny. Pro měnič druhé motorové skupiny je princip i schéma stejné, liší se pouze označení jednotlivých komponent. Po nabití kondenzátoru C04 se přes předbíjecí odpor R15 začnou nabíjet komutační kondenzátory G. Po sepnutí přepojovače režimu jízda - brzda - diagnostika (J-B-D) Q11 dojde k vykrácení odporu R15. Po navolení směru přepojovačem Q13 a sepnutí hlavního tyristoru měniče U03(U04) projde proud na vyhlazovací tlumivku L05(L06). Ta slouží jako zdroj elektrické energie v době, kdy větev U03(U04) již zkomutovala, ale větev U04(U03) ještě nesepla. Za tlumivkou L05(L06) se v obvodu nachází transduktor měření kotevního proudu T11 a cívka nadproudového dvoukotvového relé K04. První kotva tohoto relé zajišťuje aktivaci obvodu vyrovnání nápravových tlaků v režimu jízda a vypnutí hlavního vypínače v režimu brzda. Druhá kotva zajišťuje vypnutí hlavního vypínače v režimu jízda. Každá větev měniče dále obsahuje tavnou pojistku a elektronickou nadproudovou ochranu navázanou na řízení tyristorů. Při poruše na trakčním motoru dojde po překročení maximální přípustné hodnoty kotevního proudu k zablokování větví pulsního měniče, díky čemu sepne tyristor C rychlé tyristorové ochrany. Odpory R30 a R31 krátkodobě převezmou vedení energie z kondenzátoru hlavního filtru C04, a to až do doby vypnutí hlavního vypínače používaného napájecího systému. Obdobná situace nastane i při přepětí na C04.

Přes přepojovač směrů Q13, k němuž je paralelně připojen odrušovací odpor kotvy trakčního motoru R71.A, se energie dostane na kotvy motorů M01 a M02. Hladinu napětí na kotvách motorů M01 a M02 hlídá prokluzové ochranné relé K21. Napěťová smyčka motoru M01 je přes cívku A součtového relé uzavřena přes polovinu dělicího odporníku R24 prokluzového relé K21. Odporník R24 má vyvedený střed vinutí, jenž je připojen na součtové relé K21. Druhá polovina odporu R24 je připojena ke kotvě M02 a vytváří tak smyčku kotva M02 - cívka B součtového relé K21 - odpor R24. Při rozdílu napětí větším než 160V sepne první signalizační kotva relé K21. Při rozdílu napětí větším než 550V sepne druhá kotva relé K21 - zapů-

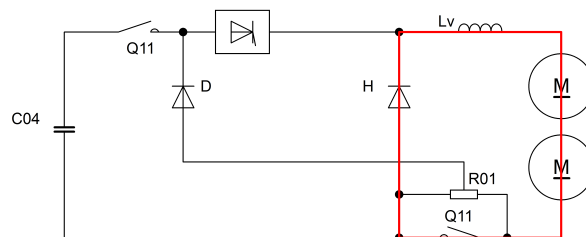
sobí nadproudová ochrana kotev první skupiny trakčních motorů a dojde k vypnutí hlavního vypínače používaného systému. K21 tedy hlídá překročení dovoleného napětí na kotvách motorů. Převodník napětí PUA dává regulátoru tahu EDYN 22 okamžitou informaci o hladině napětí na kotvách trakčních motorů.

Za kotvami motorů obvod pokračuje přepojovačem směru Q13 s paralelně připojeným odrušovacím odporem kotvy trakčního motoru R71.B. Dále je v obvodu přepojovač Q11 J-B-D. Obvod se uzavírá přes diferenciální relé ochrany trakčního obvodu K03 a nápravové zemniče X03 do kolejí.

V režimu jízda jsou seplé přepojovače Q11, navolen směr přepojovačem Q13, takže při sepnutém hlavním tyristoru měniče U03(U04) prochází elektrický proud přes vyhlazovací tlumivku L05(L06) do kotev motorů M01 a M02 a z nich do nápravových zemničů a kolejí. Není-li sepnut ani jeden hlavní tyristor měniče, uzavírá se obvod nulovou diodou H a zdrojem elektrické energie je v tuto chvíli vyhlazovací tlumivka poslední sepnuté větve měniče. Princip je naznačen na zjednodušeném schématu snižovacího napěťového měniče:



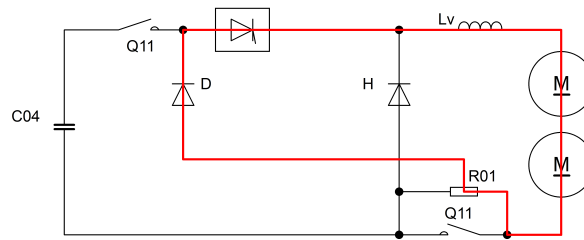
Obrázek 6.4: Přepojovače Q11 jsou sepnuté, hlavní tyristor větve také. Elektrický obvod se uzavírá přes vyhlazovací tlumivku Lv, kotvy motorů a přepojovač druhé kontakty přepojovače Q11, který sepnutý zkratuje brzdňý odpor R01.



Obrázek 6.5: Hlavní tyristor je vypnutý, druhá větev měniče ještě neseplnula, kotvami motoru tedy protéká vybíjecí proud. Obvod tvoří zdroj energie - tlumivka Lv, kotvy motorů, oba kontakty přepojovače Q11, které spojuje nulová dioda H

Při režimu "brzda" dojde po vyslání požadavku na brzdění k odepnutí stykače buzení K40. Dále dojde k přepojení přepojovače Q11(Q12) z polohy "jízda" do polohy "brzda" a následně k přestavení příslušných kontaktů přepojovače Q13(Q14), čímž dojde ke změně polarity napájecího napětí budícího vinutí. Na závěr sepne stykač buzení. Správné provedení každého kroku je kontrolováno a vyhodnocováno v regulátoru. Energie generovaná v motorech je mařena v odporníku R01 umístěném

na střeše lokomotivy. Ofuk tohoto odporu je proveden motory ventilátorů M15 a M16, které jsou napájeny energií generovanou motory M01 a M02.



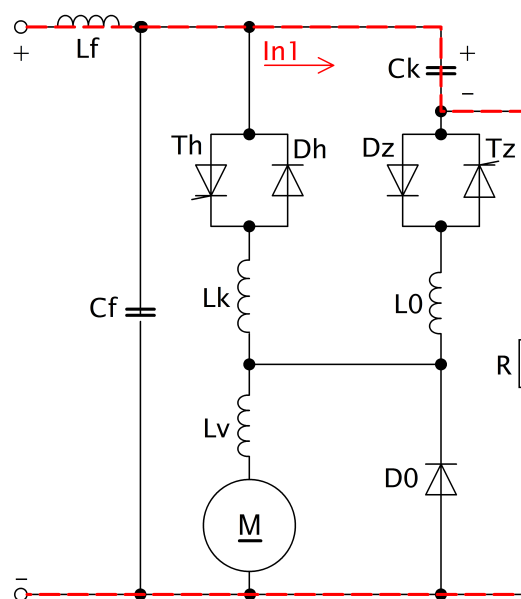
Obrázek 6.6: Je-li obvod přepnutý do brzdy, kontakty přepojovače Q11 jsou rozpojené, energie obvodu tvořeného diodou brzděného obvodu D, větví pulsního měniče a kotvami motorů se maří v brzděném odporu R01

V tomto režimu je obvod tvořen větví měniče U03(U04), vyhlazovací tlumivkou L05(L06), měřením ochran, kotvami motorů M01 a M02, brzdovým odporníkem R01 a uzavírá ho dioda brzděného obvodu D. Stálý kotevní proud se udržuje pulsními měniči U03(U04), díky čemuž lze dosáhnout maximální brzděné síly i při nízkých rychlostech lokomotivy. Spínací frekvence pulsních měničů v tomto režimu je 33,1/3, 100 a 300 Hz.

6.5 Princip komutace tyristorů měniče

1. fáze

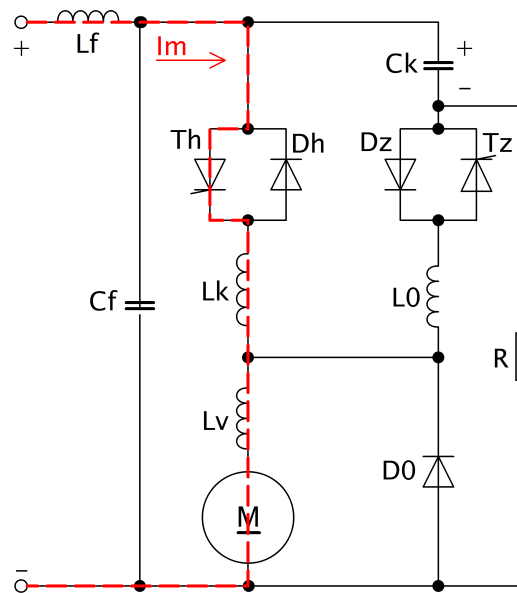
[5] Přivedením kladného napájecího napětí na vstupní filtrační tlumivku se začne přes nabíjecí odpor R nabíjet komutační kondenzátor C_k .



Obrázek 6.7: 1. fáze - nabití komutačního kondenzátoru C_k

2. fáze

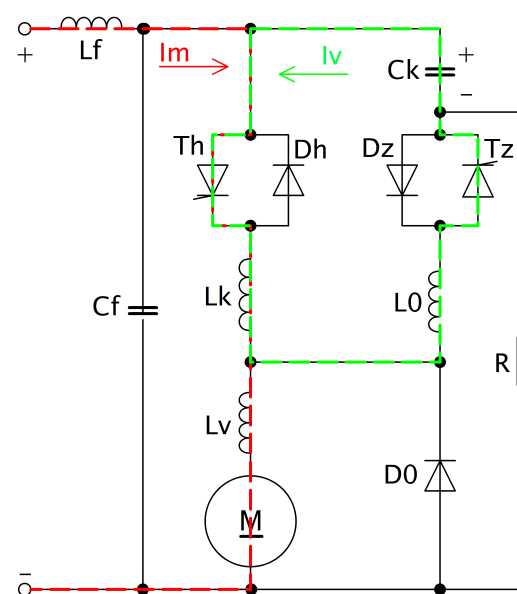
[5] Přivedením spínacího impulsu na hlavní tyristor T_h se tyristor sepne. Díky tomu začne přes komutační a vyhlazovací tlumivku procházet kotvami motorů proud I_m .



Obrázek 6.8: 2. fáze - tyristor T_h sepnutý

3. fáze

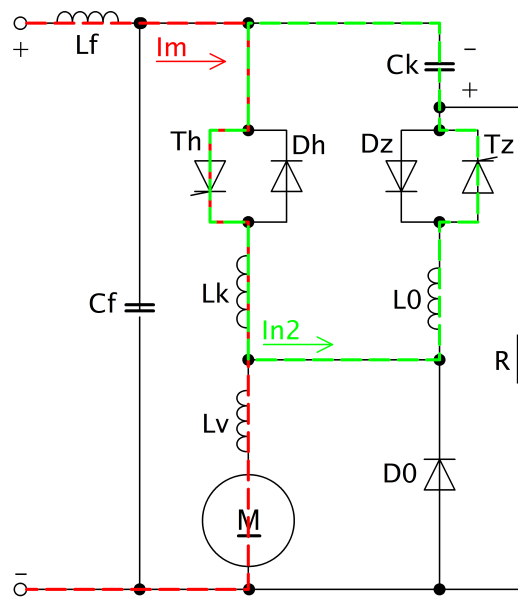
[5] V další fázi se spínacím impulsem sepne zhašecí tyristor T_z . Díky tomu se začne komutační kondenzátor C_k vybíjet a vybíjecí proud I_{vyb} se na hlavním tyristoru a komutační tlumivce L_k přidá k proudu I .



Obrázek 6.9: 3a. fáze - tyristory T_h a T_z sepnuté

Po průchodu napětí na kondenzátoru nulou dojde mezi kondenzátorem C_k a komutační tlumivkou L_k ke komutačnímu LC kmitu, to znamená, že se začne kon-

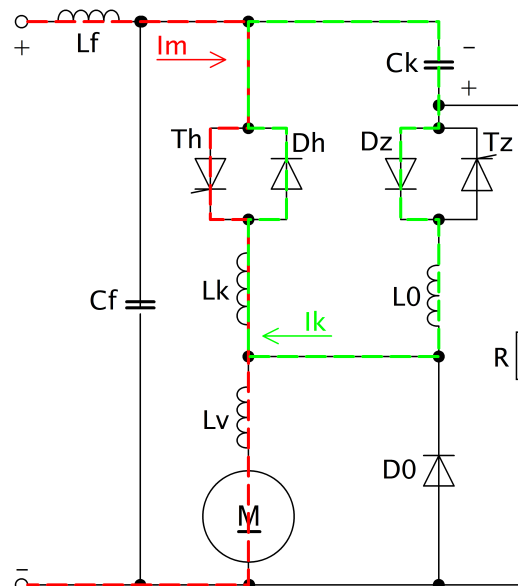
denzátor C_k nabíjet, ovšem na opačnou polaritu, neboť jeho zdrojem je v tuto chvíli komutační tlumivka L_k .



Obrázek 6.10: 3b. fáze - nabíjení komutačního kondenzátoru C_k na opačnou polaritu

4.fáze

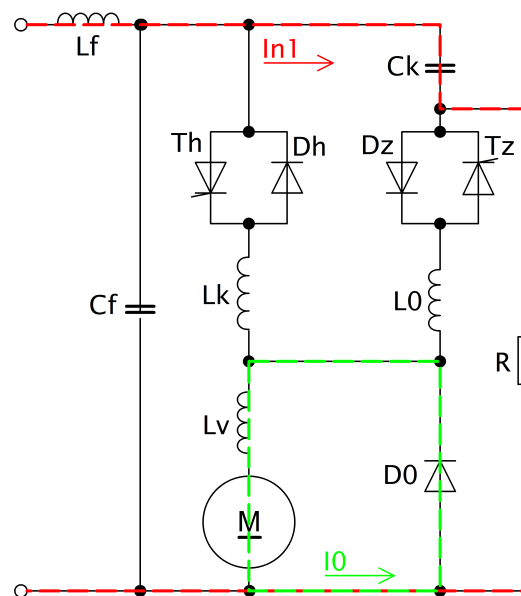
[5] Náboj takto nabitého komutačního kondenzátoru C_k se začne vybíjet proudem I_k přes zhašecí diodu D_z a hlavní diodu D_h . Proud I_k je větší než proud I_m a po jejich superpozici dojde k uzavření jak hlavního, tak zhašecího tyristoru.



Obrázek 6.11: 4. fáze - vypnutí tyristorů T_h a T_z (zobrazení proudů je pouze ilustrativní, ve skutečnosti v momentu vypnutí proudy I_m a I_k obvodem již netečou)

5. fáze

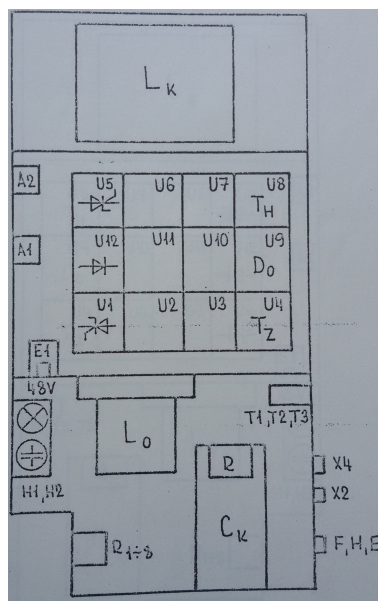
[5] Po dalším průchodu nulou na kondenzátoru C_k již k dalšímu LC kmitu nedojde, protože oba tyristory jsou již zavřené. Energie akumulovaná ve vyhlazovací cívce L_v se vybijí proudem I_0 procházejícím nulovou diodou D_0 , cívkou L_v a kotvami motorů. Než proud z vyhlazovací tlumivky zanikne, tak začne kotvami motorů procházet proud I_m z druhé větve pulzního měniče motorové skupiny. Proud na kotvách motorů je zvlněný.



Obrázek 6.12: 5. fáze - zánik energie vyhlazovací tlumivky L_v proudem I_0 , nabíjení kondenzátoru C_k

7 Lokomotiva 69 Em

[7] Původní polovodičová výzbroj měniče PULS-DELTA M byla složena z osmi kusů zhášecích bloků obsahující tyristor a nulovou diodu, osmi bloků hlavních tyristorů, jejichž nulové diody byly umístěny ve zvláštních blocích a čtyřech nulových. Tato výzbroj se po použití RCT tyristoů značně zredukovala a rekonstruovaný měnič obsahuje již jen čtyři bloky hlavních tyristorů, čtyři bloky zhášecích tyristorů a čtyři bloky nulových diod. Změnilo se také uspořádání skříně. V její horní části zůstal komutační reaktor L_k ($90\mu\text{H}$, 590A), omězovací reaktor L_0 ($30\mu\text{H}$, 400A) byl přestěhován do spodní části skříně. Komutační kondenzátor se z boku měničové skříně přesunul do spodní části.



Obrázek 7.1: uspořádání jedné větve měniče s RCT tyristory

7.1 blok PMA

[7] Tento blok obsahuje RCT tyristor TP978-630-24NML v pastilkovém provedení, který je upevněn v chladiči. Na chladiči jsou zezadu upevněny součástky RC členu (statický a dynamický dělič), ze předu je pulsní transformátor. Tento blok je použit jak pro zhášecí, tak pro hlavní tyristor a přebírá i funkci hlavní(zhášecí diody). Pokud je blok použit jako zhášecí tyristor, tak tyristorová část vede kladnou půlperiodu komutačního LC proudového kmitu, který způsobí přebití komutačního kondenzátoru a přerušeni proudu v hlavním tyristoru. Jeho diodová část vede zápornou půlperiodu komutačního LC proudového kmitu. Je-li blok použit jako hlavní tyristor, tak tyristorová část vede požadovanou dobu proud zátěže a po sepnutí zhášecího tyristoru kladnou část komutačního LC kmitu superponovaného na proud zátěže. Diodová část pak vede zápornou část komutačního LC mmitu superponovaného na proud zátěže.

8 Lokomotiva 71EM

[9] Tato lokomotiva vznikla rekonstrukcí z lokomotivy t.o. 71E (ČD ř. 163) pro ČD Cargo. Rekonstrukce se týkala zejména elektrické výzbroje, díky čemu je možné tuto původně stejnosměrnou lokomotivu provozovat na dvou napájecích soustavách 3kV DC a 25 kV AC, 50 Hz s tím, že pro třetí napájecí systém byla provedena prostorová příprava. Hnací vozidlo je určeno pro vedení nákladních vlaků na území České republiky, Slovenska a Maďarska, při osazení třetím napájecím systémem i územích Polska, Rumunska a Bulharska. I po rekonstrukci zůstala zachována traťová rychlost 120 km/h. Rekonstrukce byla provedena v polovině životnosti hnacího vozidla, prodloužila jeho životnost o dvacet let a týkala se třiceti strojů.

8.1 Rekonstrukce

[8] Při rekonstrukci se zásadním způsobem nezasahovalo do původního provedení mechanické části, dále byly zachovány trakční motory a výkonové tlumivky. Trakční výzbroj byla uzpůsobena na napájení ze stejnosměrné i střídavé sítě a z velké části nahrazena novými prvky. Původní stejnosměrné cize buzené motory byly přestavěny na vyšší výkon, z 870 kW (resp. 765 u řady 363) na 925 kW, a to zvýšením napětí na kotvách motorů z původních 2600/2V (2300/2V) na 2800/2V díky použití nového izolačního systému třídy H, ostatní parametry byly zachovány.

Původní analogově řízené tyristorové měniče byly nahrazeny procesorově řízenými měniči s IGBT prvky, soustředěnými do skříně 4MS-1 (4MS-2 pro druhou motorovou skupinu). Tyto skříně napájejí napětím 610V blok pomocných měničů typu SM 51.1 a zároveň umožňují rekuperační, odporové nebo kombinované brzdění. Součástí měničů je také protiskluzová a protismyková ochrana, která umožňuje jízdu lokomotivy na mezi adheze. Původní filtrační tlumivky umístěné v bloku mezi podvozky byly odstraněny, na jejich místo byl dosazen trakční transformátor, který svým uspořádáním umožňuje do volného místa v nádobě uložit původní filtrační tlumivky při zachování původního ventilačního konceptu lokomotivy. Transformátor má čtyři sekundární vinutí pro trakci a dvě pro topení vlaku.

Střecha lokomotivy byla vybavena novými, vzduchem ovládanými sběrači s detekcí poškození sběrací lišty, novým vakuovým vypínačem, přepojovačem systémů, uzemňovačem a dalšími částmi. Blok brzdných odporů se využívá původní, jeho chlazení stejnosměrnými motory napájenými přes odbočku v odporníku také.

Stanoviště strojvedoucího dostala nové ovladače, včetně řídicího kontroléru, který nyní odpovídá typu 1 KR D 19, což znamenalo implementaci ovladače elektrodynamické brzdy do hlavní páky, která se rozšířila o dvě polohy. Nadřazené řízení lokomotivy je provedeno řídicím počítačem komunikujícím s dalšími periferiemi pomocí osmi CAN linek.

Lokomotiva umožňuje jízdu na obě nebo jednu motorovou skupinu, případně nouzovou jízdu. Díle je vybavena systémy ručního/ automatického řízení a cílového brzdění. Lokomotiva také umožňuje násobné řízení dle standardu NVL, a to pomocí zásuvek umístěných pod okny.

8.1.1 Měničová skříň 4MS-1

[9] Skříň měničů 4MS-1 obsahuje trakční měniče a primární měnič, tvořený vstupním střídačem s potenciálovým oddělením pro napájení sekundárním měničem usměrněné pomocné stejnosměrné galvanicky oddělené sítě 610V. Sekundární měnič je složený z jednofázového střídače U50, oddělovacího transformátoru T10, usměrňovače U70, tlumivky L30, filtračního kondenzátoru C30 a zkratovací tyristorové ochrany. Trakční měniče tvoří dva kotevní a jeden budící měnič napájející motorovou skupinu dvou sériově spojených cize buzených stejnosměrných motorů ze stejnosměrného meziobvodu 3 kV. Tento meziobvod tvoří čtyřkvadrantový usměrňovač s kondenzátorem filtrace složky 100Hz na střídavém napájecím systému. Stejnosměrný meziobvod je chráněn rychlou tyristorovou ochranou. Brzdový měnič zajišťuje odběr brzděné elektrické energie v režimu nezávislé elektrodynamické brzdy, nebo v režimu rekuperace při omezené schopnosti odběru energie ze střídavé napájecí sítě.

Měnič buzení je tvořen bezkontaktním reverzačním měničem pro napájení seriově spojených budících vinutí motorů motorové skupiny.

Dále skříň obsahuje kondenzátor filtru druhé harmonické C04, nabíjecí stykač K13, nabíjecí odporník R13 a dva síťové stykače K11, K12 zajišťující plynulé nabití kondenzátorů měničové výzbroje a ručně ovládaný uzemňovač kondenzátorů skříně trakčních měničů Q50. Ruční uzemňovač kondenzátorů měničové výzbroje Q50 zajišťuje pomocí systému přenosných klíčů mezi zámky na stanovišti strojvedoucího a zámky ručního uzemňovače bezpečné vybití všech kondenzátorů ve skříně měničové výzbroje. Dále zajišťuje nemožnost připnutí nebezpečného napětí do trakčních obvodů skříně po dobu údržby.

Součástí skříně jsou dále převodníky proudu a napětí, regulační a řídicí obvody, vybíjecí odpory kondenzátorů, voltmetry pro měření napětí na kondenzátoru hlavního filtru. V měničových skříních jsou použity dvě napěťové třídy IGBT tranzistorů a diod. Napěťová třída 6,5 kV v kotevních měničích, pulzních usměrňovačích, jedno-fázovém střídači primárního měniče a pulzním měniči odporové brzdy. Elektronické součástky druhé napěťové třídy, 3,3kV, jsou použity v usměrňovačích, diodových oddělovačích a reverzačním budícím měniči. Spínání tranzistorů zajišťují budiče vysokovýkonných IGBT modulů. Komunikace zajišťující přenos řídicích pulzů a zpětného hlášení je realizována optickými kabely.

Základní jednotkou polovodičové části je polovodičový blok tvořený chladičem a sendvičovým propojením polovodičových spínacích součástek k externímu nízko-indukčnímu stejnosměrnému meziobvodu. Toto uspořádání umožňuje vytvořit požadované kombinace zapojení.

Chlazení polovodičových modulů skříně 4MS-1 je provedeno vzduchovými chladiči. Proudění vzduchu v měničové skříně zajišťuje trakční ventilátor samostatný pro každou skříň. Chladicí vzduch je ventilátory nasáván z prostoru strojovny, kam vstupuje žaluziemi s filtry umístěnými v boční straně strojovny. Vzduch vystupující z měničové skříně je dále využit k chlazení oleje trakčního transformátoru, trakčních tlumivek a trakčních motorů. Napájení stejnosměrného ventilátoru a regulace jeho otáček je zajištěna pomocným pulzním měničem umístěným ve skříně pomocných měničů SM51.1.

Základní parametry:

Napětí ovládacích obvodů (+25/ - 30 %):	24	V DC
Chlazení vzduchové nucené		
Množství chladícího vzduchu (pro jednu skříň):	6,5	m ³ /s
Oteplení chladícího vzduchu (na výstupu, pro jednu skříň):	≤6°C	
Tlaková ztráta chladícího kanálu (pro jednu skříň):	800 ±	Pa
Rozsah provozních teplot:	-35 až +40°C	
Rozsah skladovacích teplot:	-40 až +70°C	
Provoz do nadmořské výšky:	1200	mm
Roční průměrná relativní vlhkost:	≤ 75 %	
Relativní vlhkost nepřetržitě (30 dní v roce):	75 až 95	%
Relativní vlhkost náhodně v ostatních dnech:	95 až 100	%
Relativní vlhkost vně vozidla:	95 % při +20° C	
Životnost:	30	let
Spolehlivost (výpočtová):	12 000	hod
Rozměry:	2850 x 789 x 2220	mm
Hmotnost:	2250 ±5%	kg
Barevný odstín nátěru:	RAL 1014	

8.1.2 Řídicí systém

[9] Jak již bylo řečeno, každá ze skříní trakčního měniče obsahuje také komponenty řídicích systémů. Každý z řídicích systémů se skládá z mastera pohonu a dvou mikroprocesorových regulátorů. Jednotka mastera spolu s I/O jednotkou koordinuje činnost celého regulátoru pohonu, zajišťuje komunikaci pohonu s dalšími komponenty lokomotivy prostřednictvím několika seriových sběrnic. Komunikaci mezi komponenty uvnitř měničové skříně a logické řízení pohonu ve všech jízdních režimech, tedy i včetně režimu nouzové jízdy, ve kterém převezme část funkcí nadřazeného řízení vozidla. Pro tuto možnost řízení hnacího vozidla je řídicí systém vybaven snímáním příslušných signálů. Master pohonu ovládá pomocí digitálních výstupů I/O spínací přístroje ve skříní měniče i ve strojovně vozidla, pomocí digitálních vstupů je pak schopen kontrolovat jejich správnou funkci.

První mikroprocesorový regulátor spolu s interfaceovou jednotkou pro analogové signály a optické PWM signály řídí všechny zdrojové měniče, to je čtyřkvadrantový měnič, primární měnič a pulzní měnič odporové brzdy. Dále jednotka měří teploty chladičů jí řízených měničů a realizuje ochrany vstupních obvodů vozidla na střídavém systému.

Druhý mikroprocesorový regulátor obsahuje opět interfaceovou jednotku shodného typu jako u prvního mikroprocesorového regulátoru, která zpracovává analogové a optické PWM signály. Dalšími vstupními veličinami jsou signály z otáčkových čidel, díky nimž tento regulátor řídí kotevní měnič, brzdový měnič a budící měnič příslušné motorové skupiny. Jednotka také snímá teplotu chladičů jí řízených měničů a realizuje ochrany vstupních obvodů vozidla na stejnosměrném systému.

Řídicí systém trakčního pohonu komunikuje s nadřazeným řízením vozidla, se kterým je spojen redundantní sběrnici CAN2 a CAN3. Z nadřazeného řízení dále přicházejí po další CAN sběrnici do řídicího systému signály pro řízení pomocných

pohonů. Poslední sběrnice mezi nadřazeným řízením a řídicím systémem je CAN1, která slouží pro ladění. S řídicím systémem trakčního pohonu druhé motorové skupiny je řídicí systém první motorové skupiny spojen seriovou, galvanicky oddělenou, sběrnici CAN4.

Řídicí systém dále vyhodnocuje a uchovává hodnotu spotřebované a rekuperované trakční energie.

8.1.3 Parametry kotevního pulzního měniče

[9] Ve schématu je kotevní dvoufázový pulzní měnič značen U21.A a U21.B. Bloky měniče využívají IGBT moduly 750A, 6,5kV. Budiče výkonových modulů, které jsou společně s příslušnými převodníky napětí a proudu součástí měničové skříně vytvářejí pomocí spínacích impulsů přicházejících z regulátoru, dvoufázové přesazené obdélníkové výstupní napětí různé šířky impulsu pro napájení kotev motorové skupiny. Frekvence spínacích impulsů přicházejících z regulátoru je 300Hz. Ochranné kondenzátory umístěné v IGBT locích jsou zároveň součástí kondenzátoru hlavního filtru DC meziobvodu.

V režimu jízdy pracuje tento měnič jako snižovací, v režimu elektrodynamické brzdy jako zvyšovací. Přejít mezi režimy jízda - brzda je bezkontaktní. Proud kotev je řízen tak, aby bylo dosaženo požadované závislosti tažné nebo brzděné síly na rychlosti.

Řízení regulace trakčních měničů napájejících příslušnou motorovou skupinu zajišťuje druhý mikroprocesorový regulátor s příslušnou interfaceovou jednotkou. Trakční měniče se sestávají z dvoufázového kotevního měniče U21.A, U21.B a budicího měniče U71. Vstupními veličinami pro regulaci jsou kotevní a budicí proud, kotevní napětí, rychlost a napětí stejnosměrného meziobvodu. Výstupem jsou spínací impulzy pro výkonové tranzistory trakčních měničů. Žádaný moment trakčních motorů je generován na základě požadované tažné síly z nadřazeného řízení, resp. vzniká Masteru pohonů na základě vstupních binárních signálů pro nouzovou jízdu. Regulace pohonu zajišťuje dosažení projektovaných trakčních charakteristik při optimálním využití výkonových polovodičových měničů a trakčních motorů. To zajištěno generováním zadané hodnoty kotevního proudu, resp. fázových proudů, budicího proudu a kotevního napětí na základě zadaného tahu, měření napětí stejnosměrného meziobvodu a měření rychlosti. To vše umožňuje široký regulační rozsah s režimem odbuzování při vysoké rychlosti a vysoký moment při nižších rychlostech. Každého precovního bodu je zároveň dosaženo s vysokou účinností.

V režimu jízda jsou trakční motory od nulové rychlosti po rychlost, při které kotevní měniče dosáhnou maximálního otevření řízeny změnou kotevního napětí při konstantním budícím proudu. Po dosažení maximálního otevření kotevních měničů jsou motory řízeny odbuzováním při konstantním kotevním napětí to vše až na hranici mezního odbuzení trakčních motorů. V nízkých rychlostech je měničem v motorech udržován tzv. zvýšený kotevní proud, který se zvyšující se rychlostí postupně lineárně snižuje na hodnotu jmenovitou. V případě náhlého poklesu napětí stejnosměrného meziobvodu je kvůli udržení konstantní tažné síly krátkodobě využíváno až plného otevření kotevních měničů. Proud obou větví měniče jsou regulovány samostatně díky čemu je proud správně rozdělen mezi obě větve měniče, což zlepšuje dynamické vlastnosti.

V režimu brzda jsou trakční motory v oblasti nejvyšších rychlostí řízeny odbuzováním. Kotevní proud je udržován konstantní, poměrné otevření měniče je malé, konstantní a díky tomu je možné udržet požadovaný brzdový výkon při nižším kotevním proudu. Po dosažení maximálního budicího proudu jsou při dalším poklesu rychlosti trakční motory řízeny kotevními měniči (budicí proud je konstantní). Když je hodnota kotevního proudu rovna hodnotě maximálního kotevního proudu v brzdě, tak se při dalším snižování rychlosti hodnoty budicího a kotevního proudu již nemění a jsou konstantní. Při dosažení minimální rychlosti, pod jejíž hodnotou by již došlo k poklesu brzdové síly, začne působit pneumatické brzda.

V režimu elektrodymanického brzdění je možno elektrickou energii zaurčítých podmínek rekuperovat do napájecí trakční sítě. Nejsou-li splněny podmínky pro rekuperaci, uvede se automaticky do činnosti brzdový měnič, který elektrickou energii stejnosměrného meziobvodu zmaří v brzdovém odporu. V ostatních režimech je brzdový měnič využit ke krátkodobému omezení přepětí stejnosměrného meziobvodu.

Všechny trakční měniče spolu s brzdovým měničem v obou měničových skříních jsou řízeny synchronně s vhodným posuvem tak, aby byl minimalizován vliv činnosti měničů na stejnosměrný meziobvod.

Ochranné obvody regulátoru trakčních měničů zapůsobují při překročení maximálních povolených provozních hodnot zablokováním měniče, případně vypnutím hlavního vypínače hnacího vozidla. Jako poruchový stav je vyhodnocován také kterýkoliv vstup chybového hlášení spínacích jednotek výkonové části měniče. Přenos těchto signálů do regulátoru zajišťují světlovody, v I/O jednotce jsou tyto signály konvertovány na signál elektrický. Se zásahem ochrany dojde také k uložení záznamu poruchového stavu do paměti regulátoru měniče. Zároveň je tato informace odeslána po CAN sběrnici do nadřazeného řízení. Obdobným způsobem je řešena komunikace ochrany vstupních obvodů vozidla na stejnosměrném napájecím systému.

Stejnoseměrný meziobvod:

Jmenovité napětí:	3 000	V
Minimální napětí:	2 000	V
Maximální trvalé napětí:	3900V	V
Krátkodobé maximální (>1 s) napětí:	4 300	V
Jmenovité výstupní napětí kotevního pulsního měniče:	2860	V
Výstupní proud jmenovitý (součet proudů obou fází):	715	A
Výstupní proud maximální (rychlost větší než 70km/h):	850	A
Výstupní proud maximální (rychlost do 22 km/h):	1100	A
Spínací frekvence pulsního měniče:	300	Hz

8.1.4 Vstupní čtyřkvadrantový usměrňovač

[9] Bloky vstupního usměrňovače U01 a U02 jsou tvořeny vždy dvěma IGBT bloky, vytvářejícími stejnosměrný meziobvod napájející trakční pulsní měniče, pulzní měnič odporové brzdy a primární měnič. Každý z měničů U01 a U02 je tedy tvořen dvěma jednofázovými můstky, z nichž každý je napájen samostatnou odbočkou trakčního transformátoru. Ve větvích můstků jsou zapojeny IGBT moduly 750A, 6,5kV. DC výstupy můstků jsou spojeny paralelně. Spínací pulzy jsou voleny tak,

aby proud odebíraný z odboček transformátoru byl blízký sinusovému průběhu s požadovaným účínkem. Výstupní proud usměřovače je pulzní a výstupní napětí je filtrováno kondenzátory IGBT bloků. Tyto zároveň plní funkci ochrany. Součástí sestavy usměřovače jsou dále budiče IGBT prvků, převodníky napětí pro měření výstupního napětí, převodníky proudů pro měření proudů na vstupujících z jednotlivých transformátorových odboček do usměřovače. Při chodu na stejnosměrném napájecím systému pracují prvky usměřovače jako vstupní diody, nebo výstupní tranzistory, zatěžované stejnosměrným proudem dalších obvodů.

Řízení čtyřkvadrantového usměřovače je realizováno jedním z procesorů prvního mikroprocesorového regulátoru s příslušnou interfaceovou jednotkou. Výstupní napětí je regulováno na konstantní hodnotu takovou, aby vstupní proud měniče, a tedy i proud odebíraný z troleje, měl sinusový průběh a byl ve fázi s trolejovým napětím. V tomto stavu měnič odebírá pouze činný výkon, účíník je roven jedné. Vstupními veličinami regulátoru jsou trolejové napětí (signál s informací o jeho hodnotě přichází z měřícího transformátoru), proudy příslušných sekundárních vinutí transformátoru a výstupní stejnosměrné napětí. Tyto signály přicházejí do regulátoru v podobě optických signálů. Výstupní impulzy řídí měnič tak, že na jeho střídavé straně vzniká pulzně modulované střídavé napětí s frekvencí napájecí sítě, vhodnou amplitudou a fázovým posuvem. Oba můstky měniče jsou řízeny synchronně a jejich spínací impulsy jsou posunuty o polovinu periody spínací frekvence. Výsledná frekvence zvlnění primárního proudu je dvojnásobná - 1,8 kHz. To zajišťuje velmi malé hodnoty zvlnění výstupního proudu, díky čemuž je také malé zkreslení sinusového průběhu napájecího napětí. Signál o napájecím napětí je získán z napěťového měřícího transformátoru a nadřazenému vozovému počítači předává informace potřebné pro ovládání příslušných spínacích přístrojů. Součástí regulátoru měniče jsou také ochranné funkce, chránící zařízení před nedovolenými nebo nebezpečnými stavy při překročení maximálních povolených provozních hodnot měniče. Zapůsobení ochrany vyvolá zablokování měniče a vypnutí hlavního vypínače příslušného napájecího systému. Jako poruchový signál je též vyhodnocen kterýkoli vstup chybového hlášení spínacích jednotek výkonové části měniče. Současně se zapůsobením ochrany je informace o poruše uložena v paměti regulátoru a zároveň je tento signál přenášen pomocí CAN sběrnice do nadřazeného vozového počítače. Obdobně jsou řešeny ochrany vstupních obvodů vozidla ve střídavém režimu.

Trakční transformátor:

Výsledná frekvence střídavé složky primárního proudu:	3,6	kHz
(při nouzové jízdě na 1 podvozek:	1,8	kHz)
Napětí nakrátko:	≥ 35	%

Primární vinutí:

Jmenovité vstupní napětí (50Hz):	25	kV
Maximální vstupní napětí (50Hz):	29	kV
Minimální vstupní napětí (50Hz):	17,5	kV

Sekundární vinutí:

Jmenovité vstupní napětí (50Hz):	2 x 1,9	kV
Počet sekundárních vinutí:	4	
Jmenovitý výkon jednoho vinutí:	1 095	kVA
Výstupní napětí (napětí stejnosměrného meziobvodu):	3	kV
Jmenovitý výstupní proud:	700	A
Maximální výstupní proud:	900	A
Výsledná frekvence střídavé složky proudu 1 vinutí:	900	Hz
Spínací frekvence čtyřkvadrantového usměrňovače v jedné větvi:	450	Hz

Učinnost vozidla pro rozsah jmenovitého výkonu:

50 - 100 %:	$\geq 0,98$
33 - 50 %:	$\geq 0,95$
16 - 33 %:	$\geq 0,9$

8.1.5 Pulzní měnič odporové brzdy

[9] V režimu odporové brzdy slouží tento měnič k řízení množství energie, která je v brzděném odporu R01 (R02) přeměněna na teplo. V režimu jízdy, případně aktivního odstavení, má úlohu přepětí ochrany stejnosměrného meziobvodu trakčních měničů. Je sestaven z modulů IGBT (750A, 6,5 kV) a nulových diod (600A, 6,5 kV). Součástí tohoto měniče jsou také budiče výkonových IGBT modulů, jejich zdroje a ochranný kondenzátor C7. Ve schématu je měnič označen U30. Funkci brzdového odporu zlepšuje zařazení vyhlazovacího kondenzátoru a oddělovací diody chladičů ventilátorů, které jsou napájeny z odbočky brzděného odporu.

Stejnoseměrný meziobvod:

Jmenovitý výstupní stejnosměrný proud:	140	A
Krátkodobý (15 min) výstupní stejnosměrný proud:	175	A

Budicí měnič U71:

Pracovní frekvence:	300	Hz
Výsledná frekvence (řízení IGBT je přesazeno):	600	Hz
Maximální budicí proud:	110	A

8.1.6 Rychlá tyristorová ochrana stejnosměrného meziobvodu

[9] Obvod je sestaven z tyristoru V08 a odporu R50. Aktivuje se samočinně dosažením předem nastavené úrovně napětí stejnosměrného meziobvodu. Po sepnutí této ochrany se kondenzátory stejnosměrného meziobvodu vybíjí do odporu R50 a sepnou rychlospoušť hlavního vypínače.

Hladina napětí vybavení samočinné tyristorové ochrany \pm :	4,6	kV
Jmenovitá odpor odporníku R50:	5	Ω
Maximální zatěžovací proud (0,15s):	850	A

8.1.7 Kondenzátor filtru druhé harmonické

[9] Kondenzátory jsou provedeny tak, aby bylo možno je po částech odpojovat, a tím filtr přesně naladit. Na rozdíl od indukčnosti filtru druhé harmonické, která je umístěna v nádobě trakčního transformátoru, jsou součástí skříně 4MS-1 (4MS-2).

Celková kapacita kondenzátoru jedné skříně:	2,82	mF
Indukčnost filtru:	0,9	mH
Trvalý proud filtru:	600	A
Maximální proud filtru (při dodržení minimální indukčnosti filtru):	775	A

8.1.8 Nabíjecí obvod filtračních kondenzátorů měničové výzbroje

[9] Obvod je tvořen nabíjecím stykačem K13, který po dosažení předvolené hodnoty napětí na kondenzátoru odepne předbíjecí odpor R13 s jmenovitým odporem 5 Ω . Maximální předbíjecí proud je 850A (0,15s). Každé sekundární vinutí trakčního transformátoru je osazeno síťovým stykačem (K11, K12).

8.1.9 Protiskluzová a protismyková ochrana

[9] Protože většina trakční charakteristiky v jízdním režimu při maximálních zadáných hodnotách leží nad křivkou adheze Curtius-Knifflera je význam této ochrany velmi významný a správná funkce ochrany významně ovlivňuje průměrné dosažené hodnoty tažné síly. Tato ochrana získává informace o skutečných otáčkách trakčních motorů z čidel otáček na nápravách. Na základě získaných informací zabraňuje jednak synchronnímu skluzu (smyku) všech dvojkolí a jednak umožňuje rychlé obnovení adhezního valení po skluzu (smyku) náprav. Zajišťuje také předávání informací o skluzu (smyku) dvojkolí jednoho podvozku na řízení druhého a naopak. Signál o hlubokém skluzu je vysílán nadřazenému řízení vozidla. Její další vlastností je také bezpečný a rychlý provoz, to je provoz hnacího vozidla bez navození stavů poškozujících kola - rychlé roztočení kol při jízdě nebo zablokování kol při brzdě. Trvale také srovnává okamžitá zrychlení vozidla s trakčním výkonem a otáčkami jednotlivých trakčních motorů. Obnova tažných a brzdných momentů po skluzu pohonu zohledňuje maximální nárůsty zrychlení (jerk). Zařízená pracuje se vzájemně různými průměry dvojkolí podvozku.

Při ztrátě komunikace s čidlem otáček je jeho signál nahrazen signálem vypočteným. To znamená snížení kvality protiskluzové a protismykové ochrany, nicméně

nevznikne díky tomu neschopnost provozu hnacího vozidla. Tato funkce je zajištěna i při současném výpadku všech čtyřech čidel.

9 Simulace

[11] Pro simulaci byl použit program Matlab s nadstavbou Simulink s toolboxem Simscape. Rozšíření Simscape obsahuje nástroje pro modelování a simulace fyzikálních systémů sestávajících z mechanických, elektrických, hydraulických a dalších komponent. Simscape obsahuje knihovny základních prvků z oblasti mechanické (translační a rotační), elektrické, hydraulické, pneumatické, magnetické, tepelné, termo-hydraulické a z oblasti dvoufázových tekutin. Parametry pro reálné modely součástek byly získány z příslušných datasheetů k jednotlivým použitým součástkám. Výsledný simulovaný stav byl získán z originální dokumentace výrobce měniče. Kromě modelu obsahujícího součástky s reálnými parametry byl vytvořen také model s ideálními IGBT prvky. V simulaci je zahrnuta pouze první motorová skupina, protože model vytvářený ve studentské licenci Matlab/Simulinku má omezení na počet použitých bloků. Ideální model s IGBT prvky byl vytvořen pro obě motorové skupiny.

9.1 Parametry obvodu pro simulaci

Parametry použitých polovodičových součástek:

Funkce	Typ	U_f [V]	R_{on} [mΩ]
Hlavní tyristor [12]	TR 907C-700-14	2,180V	0,347
Hlavní dioda [13]	DV 855-250	1,8	1,532
Zhášecí tyristor [14]	TR 955-250	1,85	1,1
Zhášecí dioda [15]	DR 855-250	1,8	0,875
Nulová dioda [16]	DA 807-680-38	2,310	0,720

Parametry komponentů měniče:

Funkce	indukčnost	odpor	kapacita
Komutační tlumivka	120 μ H		
Omezovací tlumivka	30 μ H		
Vyhlazovací tlumivka	11 mH	0,055	
Komutační kondenzátor			20 μ F

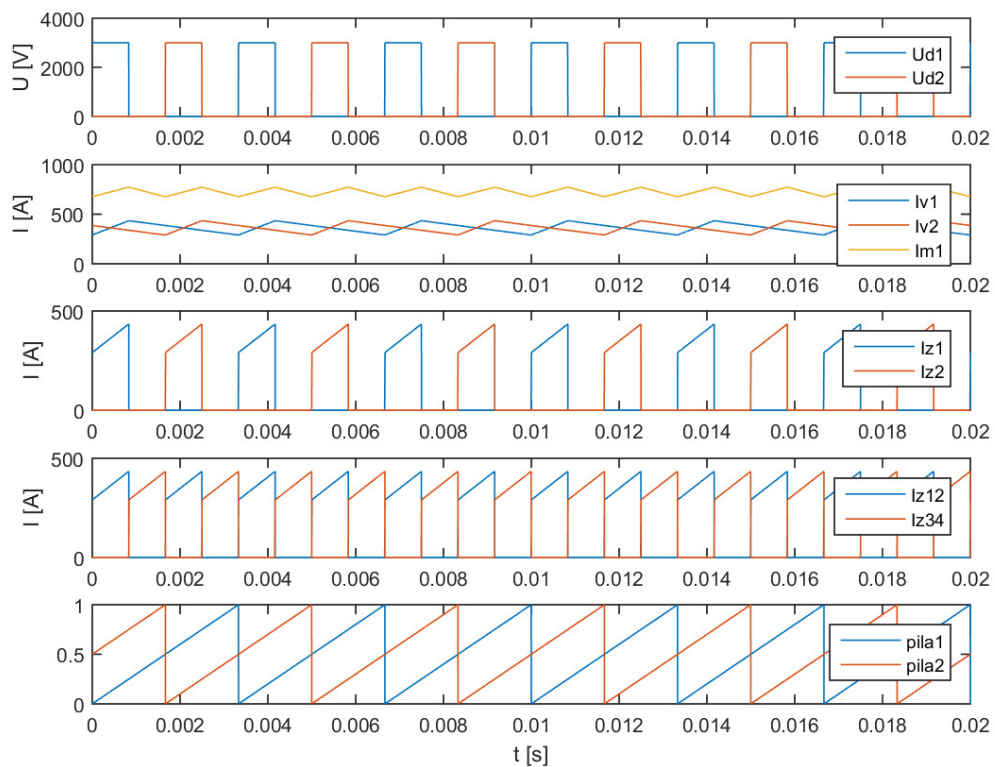
Náhradní parametry motoru, parametry náhradního zdroje:

Funkce	hodnota
Odpor kotvy motoru	0,0163 Ω
Indukčnost kotvy	2 mH
Indukované napětí	714,657 V
Napětí náhradního zdroje	3 000 V

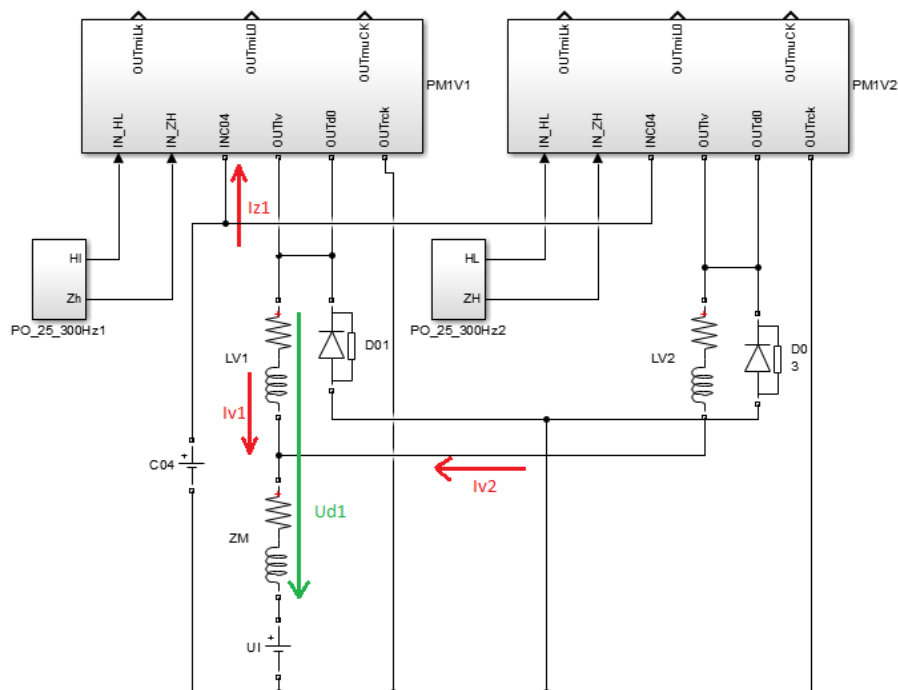
9.2 Nastavení simulace

Pro simulaci bylo v prostředí Simulink pomocí komponentů z knihovny Simscape/Power Systems vytvořeno schéma obvodu jedné motorové skupiny. Napájecí napětí zdroje C04 bylo nastaveno na 3000V. Pro předbití kondenzátoru byl před předbíjecí odpor vložen IGBT tranzistor sepnutý po dobu 2 ms od spuštění simulace. Tím bylo nasimulováno vykrácení tohoto odporu při zařazení směru přepojovačem Q11. Poměrné otevření bylo zvoleno $z = 0,25$. Tato hodnota byla zvolena tak, aby proud odebraný měničem jedné motorové skupiny ze stejnosměrného meziobvodu měl největší zvlnění. Podle toho byly nastaveny bloky generující zapalovací a zhášecí impulsy $PO_{2,5,3,00Hz1}$ a $PO_{2,5,3,00Hz2}$. U druhého zmiňovaného bylo při nastavování parametrů respektováno posunutí o 180° . Kvůli velmi malému odporu obou kotev byl v simulaci respektován ještě odpor vyhlazovacích tlumivek LV1 a LV2. Motory zátěže jsou nahrazeny náhradním obvodem, který tvoří sériové spojení odporu, indukčnosti a napěťovým zdrojem. Hodnota odporu je 0.0326 a odpovídá dvojnásobku reálné hodnoty odporu jednoho kotevního vinutí. Indukčnost 2mH vytvoří na zátěži zvlnění 11.54%. Indukované napětí reprezentované napěťovým zdrojem bylo zvoleno tak, aby motorem tekla jmenovitý proud. Pro ideální obvod byl vytvořen skript, ve kterém byly tyristory nahrazeny ideálními IGBT tranzistory. Tento skript obsahuje měniče pro obě motorové skupiny. Poměrné otevření z ideálního měniče je 0.25. U reálného měniče byla provedena korekce poměrného otevření z tak, aby motorem tekla přibližně stejný proud, jako při spínání měničem s ideálními prvky. Indukované napětí zátěže reálného měniče je stejné jako indukované napětí zátěže ideálního měniče, jeho hodnota je 714,657V.

9.3 Průběhy napětí a proudů reálného měniče



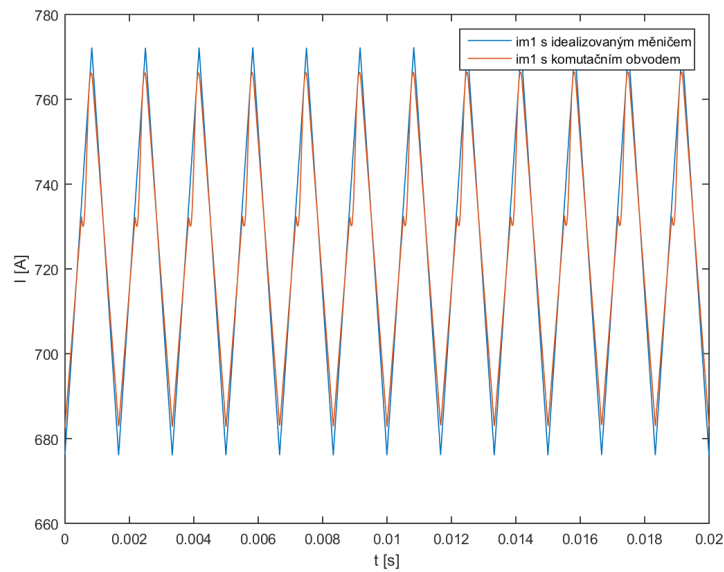
Obrázek 9.1: Průběhy napětí a proudů obvodu s ideálním měničem



Obrázek 9.2: Simulační schéma pro jednu motorovou skupinu s vyznačenými proudy a napětím, jejichž průběhy jsou na Obr.: 8.1

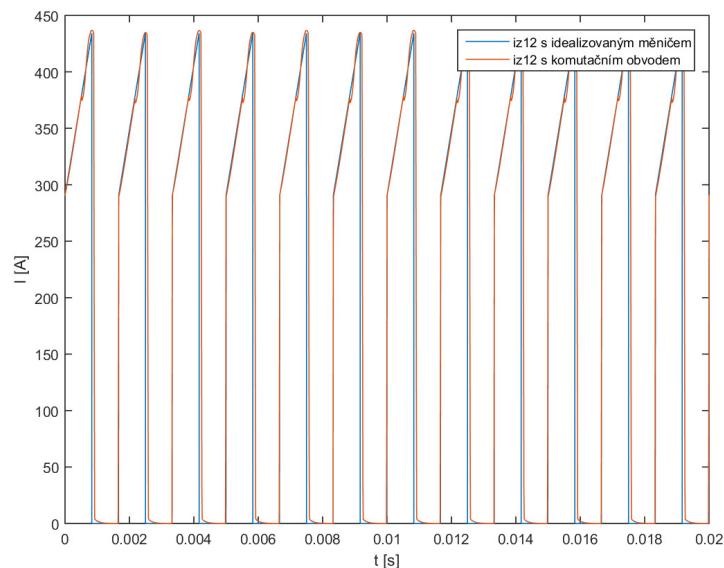
Na obrázku 8.1 jsou vidět průběhy napětí a proudů na ideálním měniči. První graf zobrazuje průběh napětí na zátěži. Na druhém jsou vidět proudy vyhlazovacími tlumivkami I_{v1} a I_{v2} . Rostoucí část proudu I_{v1} (I_{v2}) zobrazuje stav, kdy je hlavní tyristor otevřen, klesající část potom stav, kdy je proud veden nulovou diodou. Jejich superpozice je zobrazena průběhem I_{m1} a ukazuje výsledné zvlnění proudu jedné motorové skupiny. Třetí graf zobrazuje průběh proudů I_{z1} a I_{z2} , které znázorňují odběr proudu ze stejnosměrného meziobvodu měničem jedné motorové skupiny. Ve čtvrtém grafu můžeme vidět složení těchto proudů, zobrazující odběr proudů z filtračního kondenzátoru C_{04} . Poslední graf zobrazuje pouze pro kontrolu průběh budícího pilového napětí bez řídicího napětí.

Obrázek 8.3 nám ukazuje průběh proudu na zátěži v ustáleném stavu na ideálním i na reálném měniči. Nelinearita v polovině vzestupné hrany proudu reálného měniče představuje moment, kdy dojde k sepnutí zášacího tyristoru a komutační kondenzátor začne přebíjet komutační tlumivku. Po jeho vybití dojde ke komutačnímu LC kmitu a vypnutí hlavního tyristoru. V tu chvíli přebírá vedení proudu nulová dioda.



Obrázek 9.3: Průběh proudu na zátěži v ustáleném stavu

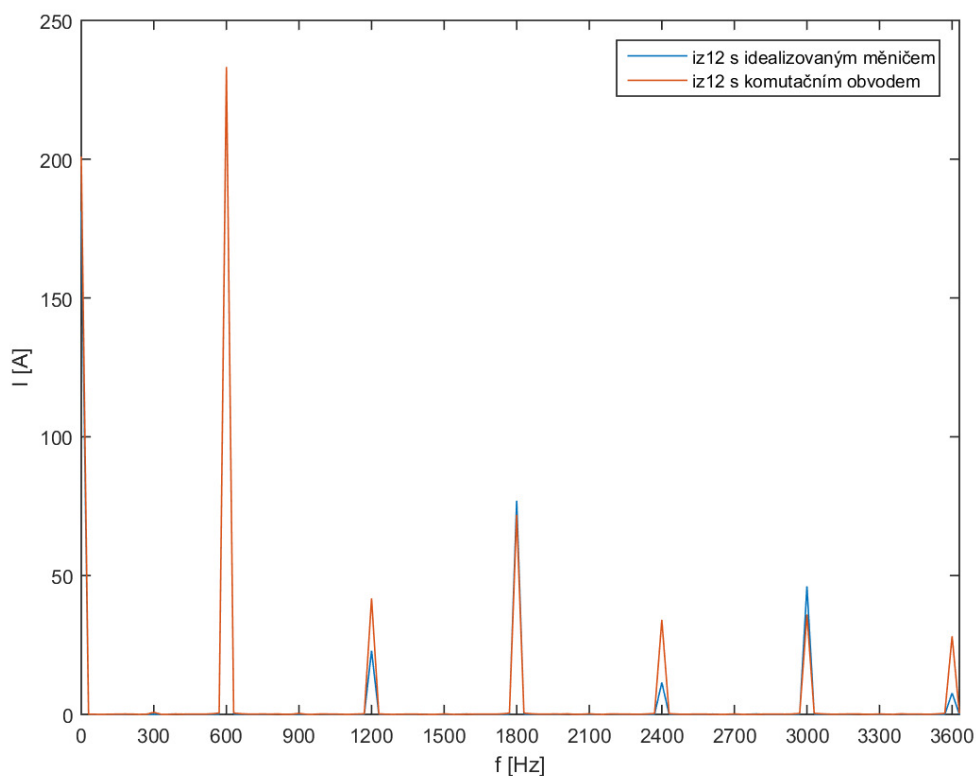
Na obrázku 8.4 je zobrazen průběh proudu odebíraného ze zátěže, tj. při otevřeném hlavním tyristoru. Opět můžeme vidět moment, kdy sepne zhášecí tyristor a obvod začne komutovat.



Obrázek 9.4: Průběh proudu odebíraného ze zdroje

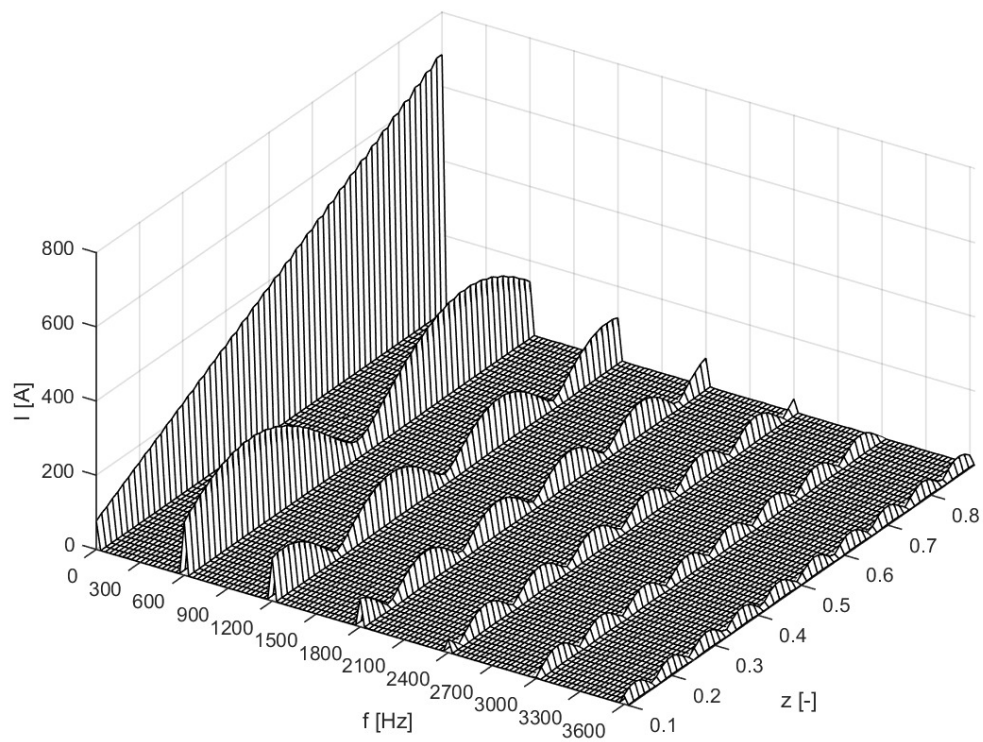
Na obrázku 8.5 můžeme pozorovat spektrum harmonických, které jsou odebírány ideálním a reálným měničem ze zdroje. Jedna větev měniče jedné motorové skupiny odebírá ze zdroje proud o frekvenci první harmonické 300 Hz. Kdyby byl průběh proudu obdélkový a střída 1:3 ($z = 0,25$), obsahoval by tento všechny harmonické kromě násobku čtyř. Průběh proudu má ale tvar lichoběžníku (obr.8.4) proto jsou ve

výsledném spektru zahrnutý i malé násobky čtvrté harmonické. Amplitudy spektra odebíraného ideálním a reálným měničem na druhé a šesté harmonické se výrazně liší. Je to způsobeno jednak dobíjením komutačního kondenzátoru a jednak rozdílem středních hodnot proudů tekoucích zátěží při spínání ideálním a reálným měničem. Střední hodnota proudu odebíraného zátěží spínaného ideálním měničem je 718A. Střední hodnota proudu odebíraného zátěží spínaného reálným měničem je kvůli nelinearitě způsobené komutací o 6A větší. Celkový proud odebíraný měničem jedné motorové skupiny má frekvenci první harmonické 600Hz.



Obrázek 9.5: Spektrum harmonických odebíraných měničem ze zdroje

Na obrázku 8.6 vidíme prostorovou vizualizaci spektra proudu odebíraného ze zátěže. Aby se co nejvíce omezily harmonické odebírané ze zdroje, je spínání jednotlivých větví měničů, jak již bylo zmíněno, vzájemně posunuto o 180° . Díky tomu dojde k odečtení lichých a sečtení sudých násobků 300Hz. Protože reálný měnič s komutačním obvodem nemá jmenovitou délku impulsu, dochází ke zvětšení amplitudy 4. a 8. harmonické oproti měniči ideálnímu. Připojíme-li ke zdroji měnič druhé motorové skupiny tak, že spínání jeho větví bude opět přesazeno o 180° , zároveň první a třetí větev spolu se druhou a čtvrtou větví budou vzájemně přesazeny o 90° , dojde ještě navíc k odečtu každého druhého sudého násobku 300Hz. V obvodu tedy zůstanou jen 2., 6., 10., 14 atd. harmonické. Odběr proudu z kondenzátoru hlavního filtru bude rovnoměrný a na kondenzátoru také nebudou vznikat na přepěťové a podpěťové špičky, které by mohly vyvolat zapůsobení podpěťových a přepěťových ochran.



Obrázek 9.6: Prostorová vizualizace spektra harmonických odebíraných měničem ze zdroje

10 Závěr

V první části této bakalářské práce je vysvětlena funkce trakčního měniče PULS DELTA a problematika jeho komutace. Pro nastínění situace okolo měniče byla také zmíněna funkce některých celků elektrické výzbroje lokomotivy. V popisu modernější verze měniče s RCT tyristory byl vyzdvižen především univerzální tyristorový blok PMA. Popis strojů číslo 363.501 až 363.530 se zaměřil na zdůvodnění provedené rekonstrukce a popis hlavních změn v elektrické výzbroji, které se při ní udály. Zvláštní důraz byl kladen na měničovou skříň 4MS-1. Ve druhé části byla provedena simulace měniče s klasickými tyristory. Pozornost byla věnována zejména proudu odebíraného kotevními měniči ze stejnosměrného meziobvodu. Tento proud byl porovnán s proudem odebíraným idealizovaným měničem, díky čemu lépe vynikla problematika komutace tyristoru. Z průběhu proudu odebíraného reálným měničem ze stejnosměrného meziobvodu byly pomocí Fourierovi transformace získány průběhy jednotlivých harmonických. Tyto byly dále srovnány s harmonickými získanými z proudu odebíraného ze stejnosměrného meziobvodu měničem s ideálními spínacími prvky. Na základě získaných průběhů bylo odůvodněno přesazení jednotlivých větví měničů tak, aby byl stejnosměrný obvod co nejsymetričtěji zatěžován a nedocházelo na něm k poruchovým stavům.

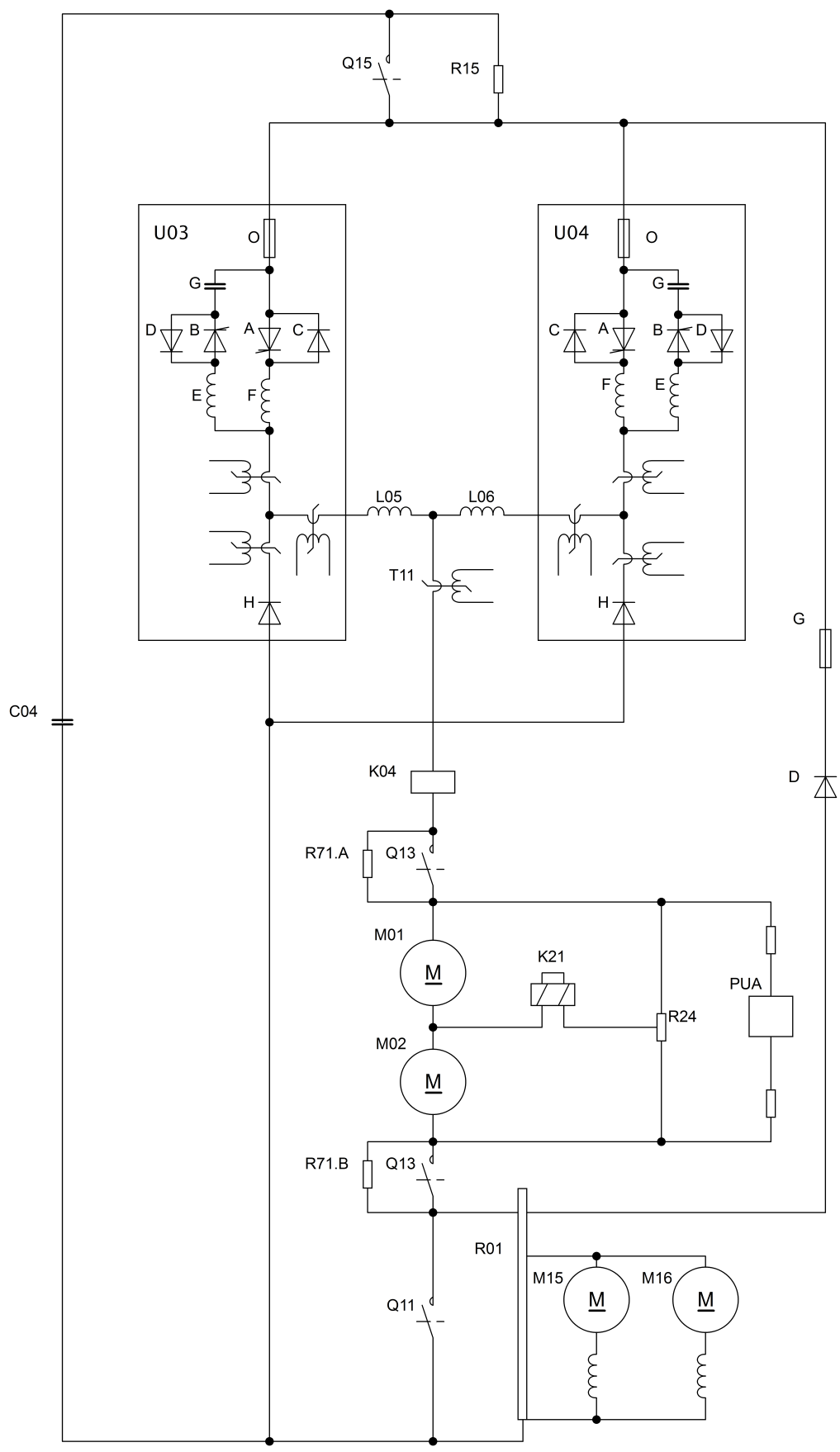
11 Seznam použité literatury

Reference

- [1] *363, ES 499.1.* (květen 2016).
<http://www.atlaslokomotiv.net/loko-363.html>
- [2] *Řada 363.0 (ex ES499.1).* (květen 2016).
<http://www.prototypy.cz/?rada=363>
- [3] *Popis silové části pulsních měničů 69E3.* Škoda
- [4] J. Štěpánek: *Funkční popis elektrických obvodů a kusovník 69E3-69E4.* Lokomotivní depo, Plzeň, 1990
- [5] Ing. J. Svoboda: *Elektronické obvody 69E3-69E4.* Lokomotivní depo, Plzeň, 1990
- [6] *Popis elektrických strojů elektrické dvouproudové lokomotivy Es499.1 (69E3).* Škoda, Plzeň, 1986
- [7] *Popis silové části pulsních měničů 69Em.* Škoda
- [8] M. Šrámek: *Lokomotivní řada 363.5 ČD Cargo.* (květen 2016).
http://spz.logout.cz/vozidla/363_5/363_5.php
- [9] J. Rejent, L. Koucký, J. Sova: *Skříň měničů 4MS-1 technický popis.* Škoda electric a.s., Plzeň, 2010
- [10] J. Švehlák, F. Tomeček, P. Svoboda, V. Skugarevský: *Lokalizace závad na lokomotivách řady 162, 163, 363.* Českomoravská železniční opravna spol. s.r.o. , Přešov, 1995
- [11] *Simscape.* (květen 2016).
<http://www.humusoft.cz/matlab/simscape/>
- [12] *TR 907C-700-14.* (květen 2016).
https://library.e.abb.com/public/c4a8ffd7ea5eb2c7/5STF_07T1413.pdf
- [13] *DV 855-250.* (květen 2016).
http://www.tunkr.cz/images/pdfFiles/Diody_sroubove/DV855-250CZ.pdf
- [14] *TR 955-250.* (květen 2016).
http://www.semic.cz/!old/files/pdf_www/TR955-250_PL.pdf
- [15] *DR 855-250.* (květen 2016).
http://www.tunkr.cz/images/pdfFiles/Diody_sroubove/DR855-250CZ.pdf
- [16] *DA 807-680-38.* (květen 2016).
https://library.e.abb.com/public/9ec6f6b5af1d016ac/5SDA_07D3806.pdf

12 Přílohy

1. schéma kotevního měniče s klasickými tyristory
2. zkušební protokol AL 4542 FiR
3. VN část vozidla 363 (a)
4. VN část vozidla 363 (b)
5. Lo 53539 P - Trakční obvody lokomotivy
6. Ey60413 P - Blokové schéma loko 71Em s měničovou výzbrojí ŠELC



Obrázek 12.1: schéma jedné větve kotevního měniče