

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VYKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING**

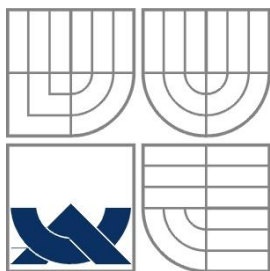
ANALÝZA PROVOZU TRAKČNÍ NAPÁJECÍ STANICE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

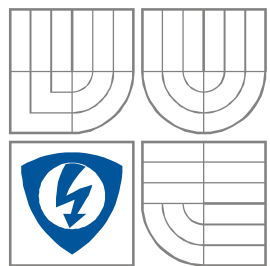
Bc. Marek Lakomý

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

ANALÝZA PROVOZU TRAKČNÍ NAPÁJECÍ STANICE

Hybrid AC/DC, AC/AC substation operation analysis

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

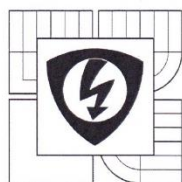
Bc. Marek Lakomý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Dohnal, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Bc. Marek Lakomý

Ročník: 2

ID: 120791

Akademický rok: 2013/14

NÁZEV TÉMATU:

Analýza provozu trakční napájecí stanice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proveďte rozbor vybrané dvousystémové trakční napájecí stanice (Dále TNS)
2. Proveďte simulace hlavních uvažovaných provozních stavů TNS.
3. Navrhněte a popište funkci a vztahy interního řídicího systému s nadřazeným systémem TNS
4. Ověřte simulované provozní stavy TNS praktickým měřením.

DOPORUČENÁ LITERATURA:


- [1] Havelka, Otto a kol. : Elektrické přístroje učebnice pro elektrotechnické fakulty vysokých škol technických, SNTL 1985
- [2] Měříčka J., Zoubek Z. : Elektrické stroje, skriptum ČVUT 1990
- [3] Patočka, Miroslav: Magnetické jevy a obvody ve výkonové elektronice, měřicí technice a silnoproudé elektrotechnice, VUTIUM 2011

Termín zadání: 27.9.2013

Termín odevzdání: 28.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Petr Dohnal, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:


Ing. Ondřej Vitek, Ph.D.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Práce se zabývá analýzou chodu kombinované trakční napájecí stanice. První kapitola nabízí rozbor tuzemských trakčních soustav a detailně popisuje konkrétní stanici. Následující kapitola navazuje na první tak, že získané parametry přepočte na parametry vhodné pro použitý simulační program a uvádí jeho výsledky. Třetí kapitola pojednává o sériové komunikaci použité v jednom rozvaděči a nastavení napěťového regulátoru, který řídí jedno pole vvn. Poslední kapitola verifikuje měřením výsledky získané z druhé kapitoly a je uvedeno i přímé srovnání.

Abstract

The work analyzes the operation of hybrid substations. The first chapter provides an analysis of domestic traction systems and describes in detail specific station. The next chapter follows the first in a way in which obtained parameters are converted to parameters suitable for the simulation program and presents its results. The third chapter discusses the serial communication used in one switchgear and about voltage regulator that controls one high voltage field. The last chapter verifies the simulation results obtained from the second chapter with real measurement and direct comparison is also included.

Klíčová slova:

Rozvodna; simulace; elektrická trakce; transformátor; trakční napájecí stanice; kombinovaná trakční napájecí stanice; lokomotiva; harmonické zkreslení; kompenzace; dekompenzace; měření; Modbus, regulátor napětí; převodník;

Key words:

Substation; simulation; electric traction; transformer; substations; combined traction power station; locomotive; harmonic distortion; compensation; decompensation; measurement; Modbus, voltage regulator; converter;

Bibliografická citace práce:

LAKOMÝ, M. *Analýza provozu trakční napájecí stanice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 91 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Dohnal, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma Analýza provozu trakční napájecí stanice jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 27. 5. 2014

Podpis autora:



Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petrovi Dohnalovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 27. 5. 2014

Podpis autora:



OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ÚVOD.....	14
2 TRAKČNÍ NAPÁJECÍ STANICE	15
2.1 ELEKTRICKÁ TRAKCE	15
2.1.1 STEJNOSMĚRNÁ 3kV	16
2.1.2 STŘÍDAVÁ 25kV	16
2.2 ROZBOR KTNS NEDAKONICE.....	18
2.2.1 PŘÍVODNÍ ČÁST 110kV	18
2.2.2 ČÁST 110kV/22kV	19
2.2.3 ČÁST 110kV/27kV	20
2.2.4 ČÁST 22kV/2,5kV	24
2.2.5 VYPOČET ZKRATŮ.....	26
3 SIMULACE CHODU STANICE.....	28
3.1 NÁHRADNÍ PARAMETRY PRVKŮ STANICE.....	28
3.1.1 PŘÍVODNÍ LINKY	28
3.1.2 PŘEPOČET TRANSFORMÁTORŮ	28
3.2 SIMULACE	35
3.2.1 ODBĚR NA STRANĚ 23kV.....	37
3.2.2 ODBĚR NA STRANĚ 27kV.....	42
3.2.3 VLIV ZAPNUTÍ FKZ.....	45
3.2.4 ZKRATY V SOUSTAVĚ 110kV A 23kV	48
3.2.5 ZKRAT NA TRAKCI 3kV	49
4 KOMUNIKACE A NASTAVENÍ REGULÁTORŮ	50
4.1 KOMUNIKAČNÍ TOPOLOGIE STANICE	50
4.1.1 MODBUS.....	50
4.2 TECO FOXTROT.....	52
4.2.1 ZÁKLADNÍ MODUL	52
4.2.2 PROGRAMOVACÍ PROSTŘEDÍ MOSAIC.....	53
4.3 PŘEVODNÍK	54
4.4 DOTYKOVÝ PANEL	55
4.5 REGULÁTOR NAPĚTÍ	56
4.5.1 NASTAVENÍ KOMUNIKACE REGULÁTORU	56
4.5.2 NASTAVENÍ REGULACE.....	58
4.6 FUNKCE PROGRAMU	61
5 MĚŘENÍ CHODU TRAFOSTANICE.....	62
5.1 VĚTEV PRO NAPÁJENÍ 3kV	62
5.2 VĚTEV PRO NAPÁJENÍ 27kV	64

5.2.1 ZAPNUTÉ FKZ.....	64
5.2.2 VYPNUTÉ FKZ.....	66
5.3 SROVNÁNÍ SE SIMULACÍ.....	68
5.3.1 DODATEK K VÝPOČTU A POROVNÁNÍ	70
ZÁVĚR.....	71
LITERATURA	72
SEZNAM PŘÍLOH.....	73

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 2 Dispozice R 110kV [2]</i>	18
<i>Obrázek 3 Dispozice R 22kV [2]</i>	20
<i>Obrázek 4 Dispozice R 27kV [2]</i>	21
<i>Obrázek 5 Dispozice R 3kV [2]</i>	25
<i>Obrázek 1 Princip filtračně kompenzačního zařízení</i>	22
<i>Obrázek 6 Zjednodušené schéma hlavního obvodu lokomotivy 123</i>	35
<i>Obrázek 7 Zjednodušené schéma hlavního obvodu lokomotivy 242</i>	36
<i>Obrázek 8 Uvažované zapojení pro odběr 3kV</i>	37
<i>Obrázek 9 Uvažované zapojení pro odběr 27kV</i>	42
<i>Obrázek 10 Topologie komunikace jednoho rozvaděče</i>	50
<i>Obrázek 11 Foxtrot CP-1004 [14]</i>	52
<i>Obrázek 12 Sineax DME 401 [16]</i>	54
<i>Obrázek 13 Weintek 8070iH [17]</i>	55
<i>Obrázek 14 Regulátor napětí A-Eberle [19]</i>	56
<i>Obrázek 15 Topologie REG-DA</i>	57
<i>Obrázek 16 Principiální zapojení regulátorů</i>	58
<i>Obrázek 17 Příklad schéma v režimu Paragramer [19]</i>	60
<i>Obrázek 18 Srovnání simulace s měřením bez FKZ – AEA6</i>	68

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Jmenovitá napětí a jejich přípustné mezní hodnoty [1]</i>	16
<i>Tabulka 4 Šítkové parametry T101 a T102</i>	19
<i>Tabulka 5 Šítkové parametry T1 a T2</i>	20
<i>Tabulka 6 Šítkové parametry TU1 a TU2</i>	24
<i>Tabulka 7 Šítkové parametry usměrňovačů a tlumivek</i>	25
<i>Tabulka 2 Parametry FKZ</i>	22
<i>Tabulka 3 Parametry transformátoru pro dekompenzaci</i>	23
<i>Tabulka 8 Parametry přívodních linek</i>	28
<i>Tabulka 9 Ekvivalentní schéma transformátoru [8]</i>	28
<i>Tabulka 10 Funkce protokolu Modbus</i>	51
<i>Tabulka 11 Nastavení komunikačních kanálů</i>	54
<i>Tabulka 12 Adresy přenášených dat z DME401</i>	55
<i>Tabulka 13 Přenášené informace Reg-DA</i>	58
<i>Tabulka 14 Porovnání napětí simulace s měřením</i>	70

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

TNS	Trakční napájecí stanice	
SŽDC s.o.	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace	
FKZ	Filtračně kompenzační zařízení	
vvn	Velmi vysoké napětí	
vn	Vysoké napětí	
nn	Nízké napětí	
IEC	International Electrotechnical Commission Mezinárodní elektrotechnická komise	
R	Rozvodna	
TVS	Transformátor vlastní spotřeby	
RVS	Rozvaděč vlastní spotřeby	
PLC	Programmable Logic Controller Programovatelný logický automat	
AEA	Označení pole napětí 110kV	
ASE	Ovládací skříň pole 110kV	
ACF	Kondenzátorová baterie	
AUF	Označení transformátoru dekompenzace	
AGL	Označení tyristorového prvku	
LF	Filtrační tlumivka	
LR	Dekompenzační tlumivka	
A	Přípojnicový odpojovač	
V	Vývodový odpojovač	
Z	Uzemňovač	
TE	Přístrojový transformátor napětí	
TJ	Přístrojový transformátor proudu	
S	Výkonový vypínač	
F	Omezovač přepětí	
I''_k	Počáteční souměrný rázový zkratový proud	[A]
i_p	Nárazový zkratový proud	[A]
c	Konstanta [6]	[-]
k_1	Konstanta [6]	[-]
κ	Součinitel nárazového zkratového proudu	[-]

S_k	Zkratový výkon	[VA]
Z_s	Ekvivalentní impedance	[Ω]
Z_T	Impedance transformátoru	[Ω]
Z_k	Celková impedance zkratového obvodu	[Ω]
X_s	Ekvivalentní reaktance	[Ω]
U_n	Nominální napětí	[V]
U_f	Fázové napětí	[V]
U_s	Sdružené napětí	[V]
I	Proud	[A]
p	Převod transformátoru	[–]
S_n	Zdánlivý výkon transformátoru	[VA]
u_k	Napětí nakrátko	[%]
I_{dk}	Usměrněná hodnota zkratového proudu	[A]
R_1	Odpor primárního vinutí	[Ω]
R_2	Odpor sekundárního vinutí	[Ω]
R_3	Odpor terciárního vinutí	[Ω]
$X_{\sigma 1}$	Rozptylová reaktance primárního vinutí	[Ω]
$X_{\sigma 2}$	Rozptylová reaktance sekundárního vinutí	[Ω]
$X_{\sigma 3}$	Rozptylová reaktance terciárního vinutí	[Ω]
R_{fe}	Odpor reprezentující ztráty v železe	[Ω]
X_m	Magnetizační reaktance	[Ω]
P_k	Výkon nakrátko	[W]
p_k	Poměrný výkon nakrátko	[%]
R_k	Odpor nakrátko	[Ω]
X_k	Reaktance nakrátko	[Ω]
x_k	Poměrná reaktance nakrátko	[%]
I_0	Proud naprázdno	[A]
i_0	Poměrný proud naprázdno	[%]
I_μ	Magnetizační proud	[A]
I_{Fe}	Proud na krytí ztrát v železe	[A]
$\cos\varphi$	Účinnost	[–]
THD	Celkové harmonické zkreslení	[%]

1 ÚVOD

Tato práce obsahuje rešerši o trakčních soustavách používaných v ČR, problematiku trakčních napájecích stanic a také je konkrétní stanice popsána. Dále tvorbu simulace trakční napájecí stanice, její výsledky a srovnání s naměřenými údaji na téže stanici. Navíc se zabývá nastavením napěťového regulátoru a popsáním a zprovozněním komunikačních linek jedné ovládací skříně tak, aby bylo možno dálkově ovládat povely a snímat stavy daného ovládaného pole.

První kapitola nabízí rozbor trakčních soustav používaných pro napájení železničních vozidel (tzv. elektrická vozba) a také je detailně popsána konkrétní kombinovaná napájecí stanice. Byl proveden sběr dat podstatných silových prvků stanice tak, aby byly v simulaci použity co nejpřesnější parametry pro výpočet. V této kapitole jsou také okrajově spočítány zkratky na některých napěťových hladinách z důvodu následného porovnání s výsledky simulace.

Druhá kapitola obsahuje přepočty prvků do podoby vhodnou zadání do parametrů simulace, vytvořením náhradních schémat reprezentujících trakční odběr a také jsou uvedeny výsledky samotné simulace a to vždy se záměrem minimální repetitivnosti jednotlivých výsledků. Kapitola také obsahuje simulaci zkratů v korelaci s výpočty předchozí kapitoly.

Třetí část se zabývá popsáním řídicí logiky jednoho rozvaděče ovládající jedno pole velmi vysokého napětí. Je proveden rozbor jednotlivých použitých zařízení se zaměřením na korektní nastavení jak jejich parametrů nutných pro provoz tak nastavení komunikace tak, aby byl jeden rozvaděč autonomní i v případě výpadku dohledu nadřízeného systému. Více do detailu je popsáno jak řídicí PLC tak regulátor napětí, u jehož nastavení byly využity poznatky získané ze simulací.

Poslední kapitola obsahuje výsledky měření přímo z uvažované trakční napájecí stanice a také přímé porovnání s některými výsledky ze simulace.

Diplomová práce byla vytvořena ve spolupráci s firmou Signalbau a.s. a provozovatelem trakční napájecí stanice SŽDC s.o.

2 TRAKČNÍ NAPÁJECÍ STANICE

Trakční napájecí stanice (dále jen TNS) zajišťují dodávku elektrické energie do trakční sítě, zabezpečují přenos energie mezi rozvodnou sítí na úrovni VVN a trakčním vedením, které dodává energii do elektrického hnacího vozidla. TNS se skládají z vysokonapěťové části, která je připojena na primární síť, a z jednoho nebo více napáječů, které transformují třífázový proud na jednofázový proud střídavé trakce 25kV (AC) nebo transformuje a usměrňuje pro stejnosměrnou (DC) trakční napájecí soustavu 3kV.

Práce se zabývá analýzou a zprovozněním KTNS Nedakonice (kombinovaná trakční napájecí stanice), napájení z distribučního vedení 110kV. Tato stanice je unikátní v tom, že napájí jak DC trakci o úrovni stejnosměrného napětí 3kV, tak AC střídavou trakci o napětí 25kV. Stejnosměrná trakce je napájena ve směru na Otrokovice a střídavá trakce směr Břeclav. V současnosti je stanice v rekonstrukci, ve které dochází k výměně přístrojového vybavení vvn, armatur, spojovacího vedení, uzemňovací soustavy, systému kontroly a řízení atd. Tato stanice byla vybudována v roce 1985 a původně instalovaná technologická zařízení nelze v dnešní době udržovat v provozuschopném stavu. V roce 2008 byly vyměněny za nové přístrojové transformátory proudu a napětí vvn.

Stanice je rozdělena dle napětí na části 110kV, 27kV, 22kV, 6kV a 3kV. Napěťovou hladinou 6kV se práce zabývat nebude, slouží k napájení zabezpečovacího zařízení. Přívodní napájení je provedeno venkovním rozvodem o hladině napětí 110kV a to ze směru Pánov linkou V547 a Kunovice V5540. Rozvodna je vedena jako tranzitní, tedy má v normálním stavu spojené odpojovače podélné spojky A3 a A4. Samotná stanice začíná přívodními odpojovači V1 a V2 (viz. Obrázek 1).

2.1 Elektrická trakce

Jedná se o zajištění napájení pohonu drážních vozidel. Všeobecně lze rozlišit z hlediska dodávky energie na trakci závislou a nezávislou [4]. Závislá trakce je charakterizována vnějším přívodem energie, elektrického proudu. Nezávislá trakce má zdroj energie uvnitř vozidla. Práce se zabývá trakční napájecí stanicí, je zde uvažována pouze trakce závislá. Pro provoz vlaků jsou v České Republice použity celkem čtyři napájecí soustavy a to:

Stejnosměrná trakce o hladině napětí 3kV (Oblast severně od pomyslné čáry tvořené stykovými stanicemi Ejpovice, Benešov u Prahy, Kutná Hora, Svitavy, Nezamyslice a Nedakonice)

Střídavá trakce o hladině napětí 25kV/50Hz - Jižní část ČR

Střídavá trakce o hladině napětí 15kV/16 2/3 Hz - úsek Retz-Znojmo napájeno z Rakouské strany

Okrajově je v tomto výčtu uvedena trakce 1,5kVDC na trati Lipno-Vyšší Brod-Rybník a Tábor-Bechyně.

Všechny tyto soustavy mají společné, že primárním zdrojem je třífázový rozvod vvn o frekvenci 50Hz, úprava elektrické energie na jmenovité napětí a kmitočet je provedena v napájecích stanicích a rozvod už upravené energie od napájecí stanice k hnacímu vozidlu je provedeno trakčním vedením.

Elektrizační soustava	Nejnižší krátkodobé napětí $U_{\min 2}$ [V]	Nejnižší trvalé napětí $U_{\min 1}$ [V]	Jmenovité napětí U_n [V]	Nejvyšší trvalé napětí $U_{\max 1}$ [V]	Nejvyšší krátkodobé napětí $U_{\max 2}$ [V]
DC (střední hodnoty)	1000 2000	1000 2000	1500 3000	1800 3600	1950 3900
AC (efektivní hodnoty)	11000 17500	12000 19000	15000 25000	17250 27500	18000 29000

Tabulka 1 Jmenovitá napětí a jejich přípustné mezní hodnoty [1]

2.1.1 Stejnosměrná 3kV

Stejnosměrná trakce je charakterizována obzvláště tím, že trakční měnirny dodávají do trakčního vedení už usměrněný proud pro trakční motory v lokomotivách. Stejnosměrná trakce je spolehlivá, její nevýhodou jsou však nároky na průřez trakčního vedení a také na vzdálenost jednotlivých měniren od sebe, typicky dvacet kilometrů. Zásadním nedostatkem stejnosměrné soustavy je vznik DC bludných proudů v okolí napájecích stanic. Tyto proudy způsobují korozi kovových zařízení v okolí elektrizované tratě.

Trakční měnirny jsou v ČR rozloženy přibližně po dvaceti až třiceti kilometrech. Pro zvýšení vzdálenosti dvou trakčních napájecích stanic jsou mezi tyto dva napájecí body vřazeny v určitých úsecích spínací stanice. Pro zlepšení proudových a napěťových parametrů včetně chránění úseků trakčního vedení je zajištěno provozem s vazbou napáječů. Trakční napájecí stanice mají zpravidla dva nezávislé přívody elektrické energie kvůli zvýšení bezpečnosti dodávky elektrické energie. Základním prvkem měnirny je usměrňovací soustrojí, které tvoří třífázový transformátor a usměrňovač a příslušné odpojovače.

Trakční vedení je napájeno buď z jedné měnirny, nebo ze dvou sousedních měniren. Dvoustranné napájení je u nás běžně používané a trakční vozidlo tak dostává proud z obou měniren současně. U dvoukolejných tratí bývá každá kolej napájena zvlášť, při výlukách se může napájení kolejí příčně propojit za účelem snížení napěťového úbytku na trakčním vedení. Vozidlo je tak napájeno ze čtyř napáječů.

Výpočet úbytku napětí na stejnosměrné trakci je poměrně jednoduchý, za předpokladu několika zjednodušujících faktorů. Výpočet vychází z jednoduchého zapojení, kde trakční síť je nahrazena odpory a napájecí stanice je nahrazena zdroji s vnitřním odporem tak, aby se dosáhlo odpovídající charakteristice. Vlaky jsou nahrazeny odpory, které představují zátěž pro danou situaci.

Udržení napájecího napětí v limitech je u stejnosměrné trakce relativně jednoduché. Z pohledu regulace se mění odbočky na transformátoru 110/22kV spíše dle stavu nadřazené sítě, než z pohledu odběru.

2.1.2 Střídavá 25kV

Použití soustavy 25kV s průmyslovou frekvencí 50Hz se jevílo už od začátku jako do budoucna nejvýhodnější, problémem po dobu vývoje byly nevyvinuté stroje pro jednofázový

proud o 50Hz a neexistence dostatečně kompaktních usměrňovačů, které by se daly vložit do strojovny lokomotivy. V současné době je tato soustava považována za tu, kterou se vyplatí dále rozvíjet oproti stejnosměrné soustavě 3kV. Protože technologický pokrok umožnil dostatečné zmenšení usměrňovačů tak, aby byly spolehlivě použity v lokomotivě a ne v měničce, je tak výstavba pevných trakčních zařízení znatelně levnější, než je tomu u výstavby stejnosměrných zařízení [5].

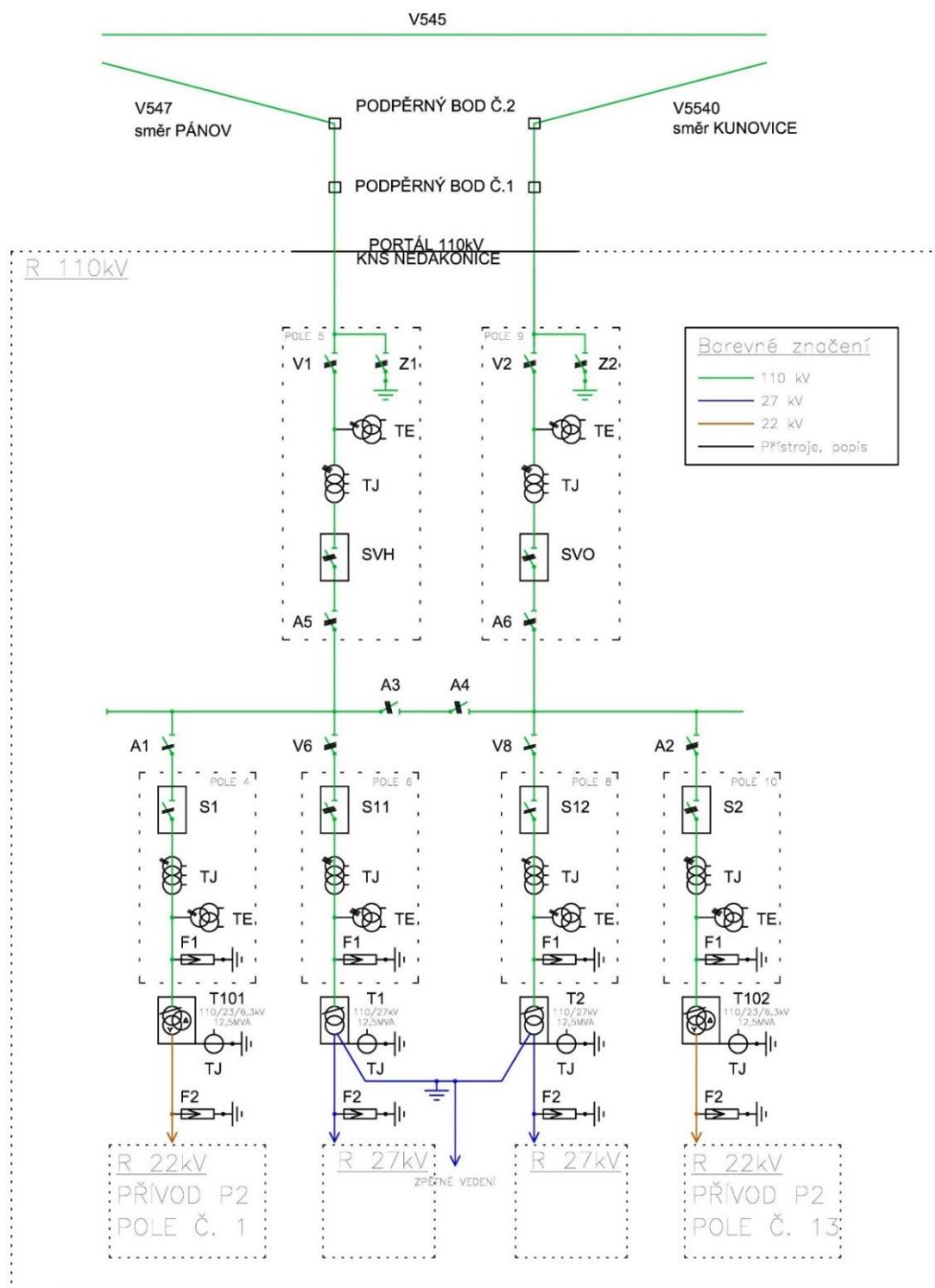
Konstrukční provedení trakčních transformátorů je odlišné od klasických transformátorů používaných v energetické síti. Jsou to jednofázové transformátory, které jsou připojeny na dvě fáze vedení 110kV. Protože je odběr elektrické energie velmi časově proměnný a také lze předpokládat mnohem větší četnost zkratů, oproti klasické energetické síti, musí být tyto transformátory konstruovány jako zkratuvzdorné. Velikost těchto zkratových proudů je různá, přičemž zkratový výkon energetické sítě, na kterou jsou tyto transformátory připojeny, se pohybuje přibližně od 1000MVA do 3000MVA. Mimo zkratuvzdornost se vyžaduje také značná přetížitelnost transformátorů a s tím související proměnnost napětí a to jak na primární tak na sekundární straně. Proto mají tyto transformátory regulaci stejnou, jako mají transformátory energetické. Tyto transformátory jsou na správné nastavení regulace napětí náročnější, protože vlivem velkého odběru velmi rychle klesne napětí i o 5kV a je nutné vhodně nastavit, kdy má být proveden regulační zásah a kdy nechat napětí časem vzrůst opět na výchozí hodnotu (vlivem zmenšeného proudového odběru). Soustava se tedy jeví jako napěťově měkká.

Mezi hlavní výhody této soustavy patří vzhledem k nižším proudům a tedy i úbytkům možnost přenosu stejného výkonu na větší vzdálenosti než u stejnosměrné trakce. Tímto je i dána větší vzdálenost mezi jednotlivými trakčními napájecími stanicemi, přibližně 50km. Dále odpadá potřeba použití usměrňovače ve stanicích. Nevýhodou tohoto řešení je jednofázový odběr z distribuční sítě a s tím související značný vliv na symetrii sítě 110kV. Z tohoto důvodu musí být každá sousední trakční transformátor na trakční napájecí stanici 110/27kV připojen na rozdílné fáze, aby se minimalizoval vliv nesymetrie při připojení jednofázové vozby.

2.2 Rozbor KTNS Nedakonice

2.2.1 Přívodní část 110kV

Rozdělení je následující. Dvě přívodní pole 5 a 9, každé s vlastním přívodním napájením. Každé pole obsahuje nožový odpojovač (V1 a V2) a uzemňovač (Z1 a Z2), za nimi (z pohledu přívodu) je měřicí transformátor typu EOF123 a měřicí transformátor proudu typu JOF123, oba od výrobce PFIFFNER. Výkonové vypínače (SVH a SVO) jsou plněné plynem SF₆ od výrobce Siemens. Připojení na přípojnice je provedeno pantografovými odpojovači A5 a A6. Veškeré odpojovače jsou od plzeňského výrobce SERW.



Obrázek 1 Dispozice R 110kV [3]

2.2.2 Část 110kV/22kV

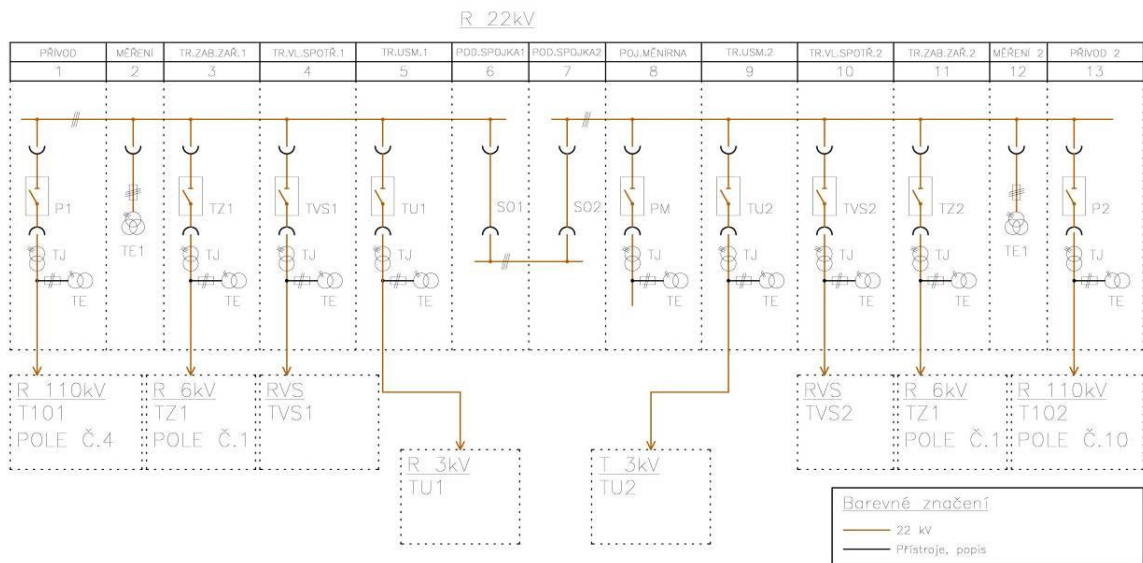
V TNS jsou dva transformátory 110kV/22kV a to pod označením T101 a T102. V případě T101 se jedná o nový transformátor s výkonem 12,5MVA. Transformátor T102 je použit původní, bez rekonstrukce, s výkonem 10MVA. Jak plyne z níže uvedených parametrů, T101 má pouze přirozené chlazení vzduchem a T102 je vybaven i ventilátory pro stálý chod při výkonu 12,5MVA. Oba transformátory mají regulaci napětí pomocí odboček na primární straně, tzn. jmenovité primární napětí je $110 \pm 8 \times 2\%$ kV. Šítkové parametry:

Označení	T101	T102	T102
Typ	ER28M-7	Typ	6ERH27M-0
Počet fází	3	Počet fází	3
Frekvence	50 Hz	Frekvence	50 Hz
Jmenovitý výkon	12500 kVA	Jmenovitý výkon	10000 kVA
Primární napětí	110 kV	Primární napětí	110 kV
Primární proud	66 A	Primární proud	52,5 A
Sekundární napětí	23 kV	Sekundární napětí	23 kV
Sekundární proud	314 A	Sekundární proud	251 A
Výkon terciéru	4000 kVA	Výkon terciéru	3150 kVA
Terciární napětí	6,3 kV	Terciární napětí	6,3 kV
Terciární proud	367 A	Terciární proud	289 A
Počet odboček	17	Počet odboček	17 -
Chlazení	ONAN	Chlazení	ONAN/ONAF -
Napětí nakrátko	13,5 %	Napětí nakrátko	11,1 %
Proud naprázdno	0,25 %	Proud naprázdno	0,235 %
Ztráty naprázdno	8,5 kW	Ztráty naprázdno	11,68 kW
Ztráty nakrátko	67 kW	Ztráty nakrátko	82,6 kW
Skupina spojení	YNyn0/(d)	Skupina spojení	YNyn0/(d)

Tabulka 2 Šítkové parametry T101 a T102

Jak je zřejmé z dispozice, tak tyto transformátory napájí rozvodnu 22kV, která přes trakční transformátory napájí stejnosměrnou trakční větev 3kV. Rozvodna 22kV je vnitřní, kobková, stejně tak rozvodna 3kV, vyjma trakčních transformátorů, které jsou mimo budovu.

Rozvodna 22kV obsahuje celkem třináct polí. Z toho jsou dvě pole vyhrazeny na podélnou spojku, dvě pro měření napětí na přípojnicích z každé napájecí strany a dvě pole jsou přívodní (jedno z T101, druhé z T102). Vývodových polí je celkem sedm. Dvě napájí transformátory vlastní spotřeby, přičemž měřičnu napájí vždy jen jeden transformátor TVS a v případě poruchy je přepnut na druhý transformátor. Ačkoliv je možné, aby jely oba transformátory paralelně, tak PLC v rozvaděči RVS tomuto stavu zabráňuje. Dvě pole napájí transformátory 22/6kV, které slouží k napájení zabezpečovacích zařízení trati a poslední dvě pole napájí trakční transformátory 22/2,5kV. Zbývající pole slouží pro připojení pojízdné měřičny zapojené v případě poruchy či rekonstrukce usměrňovacích soustrojí.



Obrázek 2 Dispozice R 22kV [3]

2.2.3 Část 110kV/27kV

Dále jsou zde dva transformátory 110kV/27kV, oba s výkonem 12,5MVA. Oba transformátory jsou vybaveny ventilátory jako přídavné chlazení, jejich jmenovitý výkon by však měl bych dlouhodobě dosažitelný i přes vypnuté chlazení. Stejně jako transformátory T101 a T102 mají tyto regulaci napětí na primární straně a to také $110 \pm 8 \times 2\%$ kV.

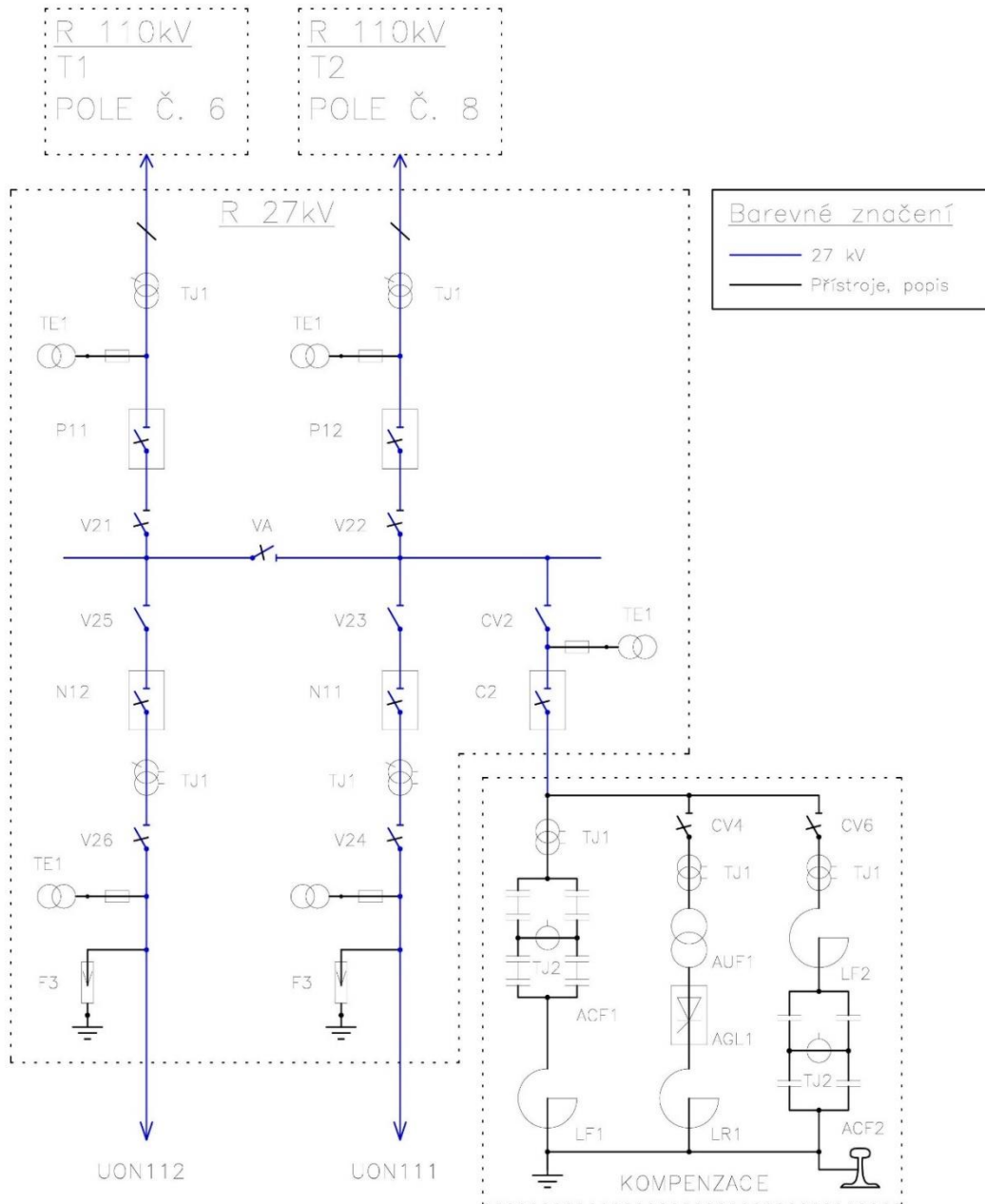
Označení	T1
Typ	EJRH28M-0
Počet fází	1
Frekvence	50 Hz
Jmenovitý výkon	12500 kVA
Primární napětí	110 kV
Primární proud	113,6 A
Sekundární napětí	27 kV
Sekundární proud	463 A
Počet odboček	17 -
Chlazení	ONAN/ONAF -
Napětí nakrátko	12,55 %
Proud naprázdno	0,105 %
Ztráty naprázdno	13,102 kW
Ztráty nakrátko	91,639 kW

Označení	T2
Typ	EJRH28M-0
Počet fází	1
Frekvence	50 Hz
Jmenovitý výkon	12500 kVA
Primární napětí	110 kV
Primární proud	113,6 A
Sekundární napětí	27 kV
Sekundární proud	463 A
Počet odboček	17 -
Chlazení	ONAN/ONAF -
Napětí nakrátko	12,5 %
Proud naprázdno	0,205 %
Ztráty naprázdno	10,94 kW
Ztráty nakrátko	77,16 kW

Tabulka 3 Štítkové parametry T1 a T2

Rozvodna 27kV je čistě venkovní. Na přívodu je rozvodna vybavena měřicími transformátory napětí a proudů. Dále následují výkonové vypínače, podélná spojka a pak dvě vývodní pole, které opět obsahují měřicí transformátory, vypínač atd. Z těchto polí je už napájena přímo trakční trolej. Rozvodna dále obsahuje kompenzaci účinníku. Protože trakce 27kV má v sobě nevýhodu často nízkého dosahovaného účinníku, tak je zavedena kompenzace, která má za

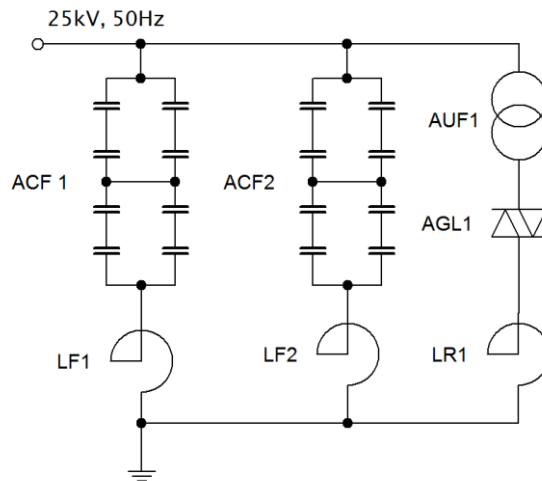
úkol tento parametr vylepšit. Lokomotivy staršího data používající stejnosměrné komutátorové motory s neřízenými usměrňovači generují velké spektrum lichých harmonických do sítě, zatímco moderní trakční vozidla obvykle vybavena čtyřkvadrantové pulzně šířkové měniče sítě zaručují minimálně. Dalším problémem je zapojení vvn transformátorů mezi dvě fáze, zatímco jejich sekundární vinutí vn je zapojeno jako fáze vůči ukolejné zemi. Tak vzniká i při čistě činném odběru fázový posuv 30° , který má za úkol FKZ vykompenzovat.



Obrázek 3 Dispozice R 27kV [3]

2.2.3.1 Filtračně kompenzační zařízení

Pro kompenzaci negativních vlivů vyšších harmonických, které se v síti 27kV vyskytují z důvodu usměrňovačů použitých na lokomotivách, je použito filtračně kompenzační zařízení. Běžně obsahuje tři větve, a to větev pro filtraci třetí harmonické, filtračně-kompenzační větev pro pátou harmonickou a regulační větev s indukčním jalovým výkonem. Filtračně kompenzační zařízení dokáže i při krátkodobých špičkách trakčního odběru vykompenzovat účinník tak, že je pořád blízky hodnotě 0,95 a při chodu stanice bez zátěže zabránit překompenzování.



Obrázek 4 Princip filtračně kompenzačního zařízení

Regulačním prvkem kompenzačního zařízení je tlumivka, jejíž výkon je regulován fázově řízeným tyristorovým prvkem. Úhel řízení je závislý na požadavku na velikost jalového výkonu kompenzačního zařízení tak, aby byl vždy rozdíl výkonu kondenzátorových baterií a tlumivek roven zadanému kompenzačnímu výkonu. Trakční diodové usměrňovače jsou zdrojem celého spektra harmonických složek, typicky 25% pro třetí harmonickou, 10% pro pátou, 5% pro sedmou a tři procenta pro devátou harmonickou. Toto je z pohledu dodavatele elektrické energie nepřijatelné, a proto jsou zde zavedeny filtry. Filtr odsávající třetí harmonickou bývá typicky laděn na 147Hz a obvod na odsávání páté harmonické bývá naladěn na 247Hz.

Dekompenzační větev bývá v současné době v jiných rozvodnách provedena bez snižovacího transformátoru AUF1.

3. harmonická	
ACF 1	6 μF
LF 1	230 mH
fr	135,5 Hz
Q	860 kVAr

5. harmonická	
ACF 2	3,12 μF
LF 2	130 mH
fr	249,9 Hz
Q	770 kVAr

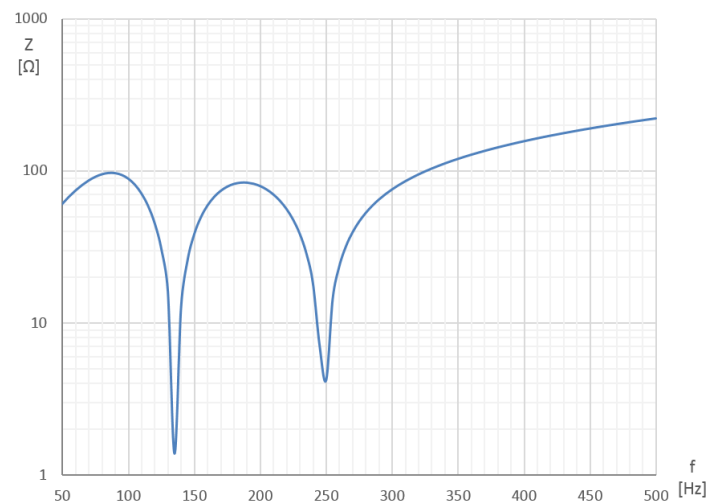
Dekompenzace	
LR 1	24,7 mH
Výkon	3 MVar
AUF	3MVA, 27/5kV
AGL 1	Typ DCR1279SD

Tabulka 4 Parametry FKZ

Z grafu a z tabulek lze vidět, že pro hodnoty 150Hz a 250Hz se FKZ projevuje velmi malou impedancí a tak propouští tyto harmonické na zem.

Označení	AUF 1
Typ	4OJ2 185/85
Počet fází	1
Frekvence	50 Hz
Jmenovitý výkon	3000 kVA
Primární napětí	27 kV
Sekundární napětí	5000 kV
Chlazení	AN -
Napětí nakrátko	6,89 %
Proud naprázdno	0,539 %
Ztráty naprázdno	0,179 %
Ztráty nakrátko	0,427 %

Tabulka 5 Parametry transformátoru pro dekompenzaci



Graf 1 Frekvenční charakteristika FKZ bez započítání dekompenzační tlumivky

2.2.4 Část 22kV/2,5kV

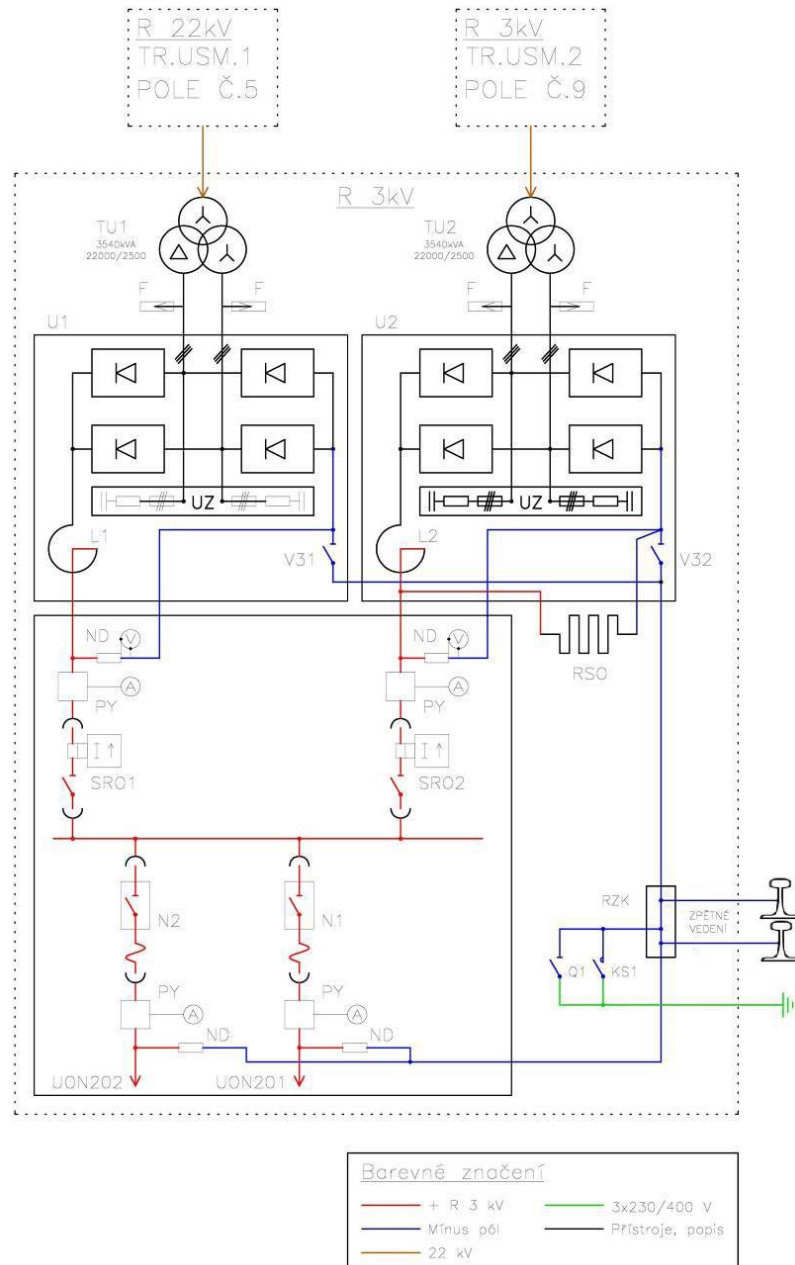
Trakční transformátory jsou zde dva, stejné typové výroby, liší se pouze výrobním číslem. Prakticky mají mírně odlišné parametry:

Označení	TU1	Označení	TU2
Typ	30T118/60	Typ	30T118/60
Počet fází	3	Počet fází	3
Frekvence	50 Hz	Frekvence	50 Hz
Jmenovitý výkon	3540 kVA	Jmenovitý výkon	3540 kVA
Primární napětí	23 kV	Primární napětí	23 kV
Primární proud	89 A	Primární proud	89 A
Sekundární napětí	2,5 kV	Sekundární napětí	2,5 kV
Sekundární proud	409 A	Sekundární proud	409 A
Terciární napětí	2,5 kV	Terciární napětí	2,5 kV
Terciární proud	409 A	Terciární proud	409 A
Chlazení	ONAN	Chlazení	ONAN
Napětí nakrátko	6,73 %	Napětí nakrátko	6,81 %
Proud naprázdno	5,05 A	Proud naprázdno	3,98 A
Ztráty naprázdno	5,2 kW	Ztráty naprázdno	4,56 kW
Ztráty nakrátko	25,907 kW	Ztráty nakrátko	25,864 kW
Skupina spojení	Yy0d1	Skupina spojení	Yy0d1

Tabulka 6 Štítkové parametry TU1 a TU2

Transformátory mají sekundární vinutí a terciální vinutí o stejném typovém výkonu a to 1,77MVA. Celkem tedy 3,54MVA. Celkový maximální příkon do trakce tak může být 7,08MVA, což je zdatelně méně, než dovoluje výkon přívodu, tedy transformátoru T101 nebo T102, což činí 12,5MVA. Trakční transformátory se tam mohou zdát jako silně předimenzované, předpokládá se u nich relativně časté přetěžování, a proto jsou vyrobeny v třídě přetížení V (100% trvale, 150%-2hodiny, 200%-1 minuta). Důvod, proč je vinutí transformátorů Yy0d1 je zřejmé. Pro vytvoření co nejhladšího průběhu napětí (bez použití kondenzátorů) by pouze šestipulzní usměrnění nestačilo a tak je zde použito dvanáctipulzního usměrnění, což právě posunutí terciéru od sekundéru o 30° umožňuje.

Na přívodu jsou tedy dva transformátory, jejichž sekundární a terciální vinutí vede do dvanáctipulzních usměrňovačů. S usměrňovači je v sérii vzduchová tlumivka, která jednak mírně vyhlazuje průběh odebíraného proudu, ale hlavní úkol je zmenšení strmosti nárůstu proudu při tvrdém zkratu. Nutnost této tlumivky je nepopíratelná. Ve střídavých soustavách omezuje velikost zkratového proudu zejména reaktance vedení a tato reaktance pochopitelně u stejnosměrné soustavy, jako je tato, chybí. Maximální zkratový proud je tedy omezen pouze vlastním odporem sériového spojení troleje a koleje, což je hodnota obvykle menší jak jeden ohm. Ustálený zkratový proud by tedy byl zdatelně větší, než je vypínací schopnost vypínačů. Zkrat se tak musí vypnout téměř okamžitě, a aby se zajistilo vypnutí, je v proudové cestě použita tlumivka, která zajišťuje určitou maximální strmost di/dt a vypínač je tak schopen úspěšně vypnout.



Obrázek 5 Dispozice R 3kV [3]

Každý vývod z usměrňovačů dále jde přes přesytku a vozík s odpojovačem (SRO) na společnou přípojnicí. Z přípojnice je přes výkonový vypínač a přesytku je napájena trolej trakčního vedení.

Označení	U1, U2
Typ	2 UKTB-1H-00433
Počet fází	3
Frekvence	50 Hz
Jmenovité napájecí napětí	2500 V
Jmenovité napětí	3300 V
Jmenovitý proud	1000 A
Použité polovodičové prvky	DV 855-200-16

Označení	L1,L2
Typ	TL 157/53
Počet fází	1
Provozní napětí	3300 V
Jmenovitý proud	1000 A
Indukčnost	4 mH
Odpor	0,0042 Ω

Tabulka 7 Štítkové parametry usměrňovačů a tlumivek

2.2.5 Výpočet zkratů

Aby se simulace ověřila jak měřením, tak výpočtem, jsou spočítány zkratové proudy to pro hladinu 110kV, 23kV a 2,5kV. Je uvažován nejnepriznivější možný stav zkratu, tedy zkrat trojfázový - $k_1 = 1$. Pro výpočet je uvažováno napájení pouze jedné poloviny měřirny, tedy transformátorů T101, T1 a TU1. Konstanta c je volena dle normy [6] jako $c = c_{max} = 1,1$. Součinitel nárazového zkratového proudu κ je volen pro napětí vvn jako 1,7, pro napětí vn 1,6.

2.2.5.1 Zkrat 110kV

Zkratový obvod je napájen ze sítě vvn, u kterého je znám zkratový výkon S_k . Ekvivalentní impedanci Z_s vztaženou ke straně transformátoru s vyšším napětím lze určit jako:

$$Z_s \approx X_s = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k} = \frac{1,1 \cdot 110k^2}{1140M} = 11,68 \Omega \quad (1.1)$$

Počáteční rázový zkratový proud:

$$I_k'' = k_1 \cdot \frac{c \cdot U_n^2}{\sqrt{3} \cdot Z_s} = 1 \cdot \frac{1,1 \cdot 110k}{\sqrt{3} \cdot 11,68} = 5,98 \text{ kA} \quad (1.1)$$

Nárazový zkratový proud:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,98k = 14,38 \text{ kA} \quad (1.1)$$

2.2.5.2 Zkrat 23kV

Ekvivalentní impedanci vztaženou ke straně transformátoru s nižším napětím lze určit jako:

$$Z_s = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k} \cdot \frac{1}{p^2} = \frac{1,1 \cdot 110k^2}{1140M} \cdot \frac{1}{\left(\frac{110}{23}\right)^2} = 0,51 \Omega \quad (1.1)$$

Impedance transformátoru:

$$Z_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{13,5}{100} \cdot \frac{23k^2}{12,5M} = 5,71 \Omega \quad (1.1)$$

Celková impedance:

$$Z_k = Z_s + Z_t = 0,51 + 5,71 = 6,22 \Omega \quad (1.1)$$

Počáteční rázový zkratový proud:

$$I_k'' = k_1 \cdot \frac{c \cdot U_s^2}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = 1 \cdot \frac{1,1 \cdot 23k}{\sqrt{3} \cdot 6,22} = 2,34 \text{ kA} \quad (1.2)$$

Nárazový zkratový proud:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,34k = 5,34 \text{ kA} \quad (1.2)$$

2.2.5.3 Zkrat 2,5kV

Ekvivalentní impedanci vztaženou ke straně transformátoru s nižším napětím lze určit jako:

$$Z_s = Z_k \cdot \frac{1}{p^2} = 6,22 \cdot \frac{1}{\left(\frac{23}{2,5}\right)^2} = 0,07 \ \Omega \quad (1.2)$$

Impedance transformátoru:

$$Z_t = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{6,73}{100} \cdot \frac{2,5k^2}{3,54M} = 0,12 \ \Omega \quad (1.2)$$

Celková impedance:

$$Z_{ss} = Z_s + Z_t = 0,07 + 0,12 = 0,19 \ \Omega \quad (1.2)$$

Počáteční rázový zkratový proud:

$$I_k'' = k_1 \cdot \frac{c \cdot U_n^2}{\sqrt{3} \cdot Z_s} = 1 \cdot \frac{1,1 \cdot 2,5k}{\sqrt{3} \cdot 0,19} = 8,36 \text{ kA} \quad (1.3)$$

Nárazový zkratový proud:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,36k = 18,91 \text{ kA} \quad (1.1)$$

Při uvažování usměrnění je ustálená hodnota zkratového proudu:

$$I_{dk} = \sqrt{2} \cdot I_k'' = \sqrt{2} \cdot 8,36k = 11,82 \text{ kA} \quad (1.2)$$

3 SIMULACE CHODU STANICE

Simulace má za úkol vytvořit matematický model tak, aby se její výsledek co nevíce přibližoval skutečnosti. Vzhledem k zaměření práce, tedy simulovat celou trafostanici od přívodu až po elektrickou zátěž reprezentující trakční vozidlo na libovolném úseku napájené trati, je nutné veškeré transformátory, usměrňovače a vedení přepočítat do formy náhradních zapojení a jeho hodnot, které by věrně reprezentovaly přenos daného zařízení.

Jako simulační prostředí bylo použito prostředí Simulink, který je součástí Matlabu. Protože Simulink už prvky, jako jsou transformátory, vypínače atd obsahuje, není nutné obecně popisovat pomocí rovnic každý prvek a lze použít prvky už v Matlabu definované. To ztelně usnadňuje práci, avšak pouze za předpokladu, že tyto už vyrobené modely jsou popsány matematicky správně bez zásadních zjednodušení.

3.1 Náhradní parametry prvků stanice

3.1.1 Přívodní linky

TNS má dva na sobě nezávislé přívody elektrické energie, a to směr Pánov a směr Kunovice. Linky, pomocí kterých je připojena mají tyto parametry:

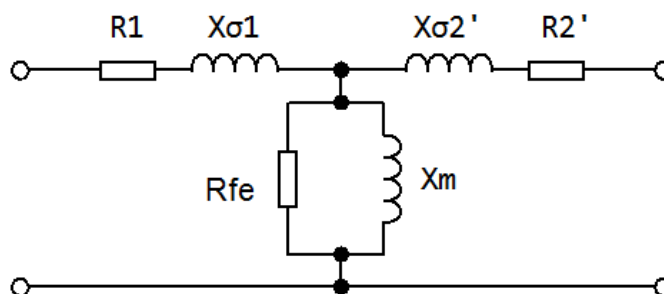
Pánov		Kunovice	
Odpor fáze	5,27 Ω	Odpor fáze	0,97 Ω
Reaktance fáze	13,81 Ω	Reaktance fáze	2,87 Ω
Vodivost fáze	98,88 μS	Vodivost fáze	20,19 μS
Celková délka	34,4 km	Celková délka	7,1 km

Tabulka 8 Parametry přívodních linek

Pro popsání vedení je v modelu použitý blok π -článku právě pomocí výše uvedených parametrů.

3.1.2 Přepočet transformátorů

Náhradní zapojení transformátoru bez uvažování hystereze je následující:



Tabulka 9 Ekvivalentní schéma transformátoru [9]

Je tedy potřeba zadat všechny tyto parametry do simulace. Jejich výpočet je uveden níže. Z důvodu podobnosti parametrů například transformátoru T101 a T102 je uveden vždy výpočet jen jednoho z nich. Obdobně i pro ostatní prvky.

3.1.2.1 Přepočít transformátoru 110/23kV

Postup pro přepočít transformátorů T101 (a podobně i pro T102) vypadá následovně:

Při měření nakrátko bylo napájeno do vinutí 110kV a vinutí 23kV bylo zkratováno.

Převod transformátoru:

$$p_{12} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{110k/\sqrt{3}}{23k/\sqrt{3}} = 4,78 \quad (1.3)$$

Výkon nakrátko:

$$p_k = \frac{\Delta P_k}{S_n} \cdot 100 = \frac{67k}{12,5M} \cdot 100 = 0,53\% \quad (1.4)$$

Jmenovitá impedance:

$$Z_T = \frac{U_{1f}}{I_{1n}} = \frac{110k/\sqrt{3}}{66} = 962,25\Omega \quad (1.5)$$

Odpor nakrátko:

$$R_k = \frac{p_k}{100} \cdot Z_n = \frac{0,53}{100} \cdot 962,25 = 5,15\Omega \quad (1.6)$$

Odpor primárního vinutí:

$$R_1 = \frac{R_k}{2} = \frac{5,15}{2} = 2,57\Omega \quad (1.7)$$

Odpor sekundárního vinutí:

$$R_2 = \frac{R_1}{p_{12}^2} = \frac{2,57}{4,78^2} = 112,73m\Omega \quad (1.8)$$

Poměrná reaktance nakrátko:

$$x_k = \sqrt{u_k^2 - p_k^2} = \sqrt{13,5^2 - 0,53^2} = 13,49\% \quad (1.9)$$

Reaktance nakrátko:

$$X_k = \frac{x_k}{100} \cdot Z_n = \frac{13,49}{100} \cdot 962,25 = 129,81\Omega \quad (1.10)$$

Rozptylová reaktance primárního vinutí:

$$X_{\sigma 1} = \frac{X_k}{2} = \frac{129,81}{2} = 64,90\Omega \quad (1.11)$$

Rozptylová reaktance sekundárního vinutí:

$$X_{\sigma 2} = \frac{X_{\sigma 1}}{p_{12}^2} = \frac{64,9}{4,78^2} = 2,83\Omega \quad (1.12)$$

Měření naprázdno proběhlo na vyrovnávacím vinutí 6,3kV, je nutné přepočítat veličiny na hladinu vvn.

Převod:

$$p_{13} = \frac{U_1}{U_3} = \frac{110k/\sqrt{3}}{6,3k} = 10,08 \quad (1.13)$$

Proud naprázdno:

$$I_0 = \frac{i_0}{100} \cdot I_{3n} = \frac{0,25}{100} \cdot 367 = 918mA \quad (1.14)$$

Účinit naprázdno:

$$\cos\varphi_0 = \frac{\Delta P_0}{S_0} = \frac{\Delta P_0}{3 \cdot U_{3n} \cdot I_0} = \frac{8,5k}{3 \cdot 6,3k \cdot 918m} = 0,49 \quad (1.15)$$

Proud I_{Fe2} vztažen na hladinu vn:

$$I_{Fe2} = I_0 \cdot \cos\varphi_0 = 918m \cdot 0,49 = 449,82mA \quad (1.16)$$

Proud I_{μ} vztažen na hladinu vn:

$$I_{\mu 2} = I_0 \cdot \sin\varphi_0 = 918m \cdot 0,96 = 800,24mA \quad (1.17)$$

Ztráty představující odpor v železe:

$$R_{Fe2} = \frac{U_{3n}}{I_{Fe2}} = \frac{6,3k}{449,82m} = 14,005k\Omega \quad (1.18)$$

Ztráty představující odpor v železe přepočtené na hladinu vvn:

$$R_{Fe} = R_{Fe2} \cdot \left(\frac{U_{1n}}{\sqrt{3} \cdot U_{3n}} \right)^2 = 14,005k \cdot \left(\frac{110k}{\sqrt{3} \cdot 6,3k} \right)^2 = 1,423M\Omega \quad (1.19)$$

Magnetizační reaktance:

$$X_{\mu 2} = \frac{U_{3n}}{I_{\mu 2}} = \frac{6,3k}{800,24m} = 7,873k\Omega \quad (1.20)$$

Magnetizační reaktance přepočtená na hladinu vvn:

$$X_{\mu} = X_{\mu 2} \cdot \left(\frac{U_{1n}}{\sqrt{3} \cdot U_{3n}} \right)^2 = 7,873k \cdot \left(\frac{110k}{\sqrt{3} \cdot 6,3k} \right)^2 = 800,06k\Omega \quad (1.21)$$

3.1.2.2 Přepočít transformátoru 110/27kV

Pro jednofázový transformátor T1 je výpočet obdobný jako pro T101 s rozdílem výpočtu příčné větve:

Převod transformátoru:

$$p_{12} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{110k}{27k} = 4,07 \quad (1.22)$$

Výkon nakrátko:

$$p_k = \frac{\Delta P_k}{S_n} \cdot 100 = \frac{91,63k}{12,5M} \cdot 100 = 0,73\% \quad (1.23)$$

Jmenovitá impedance:

$$Z_T = \frac{U_{1f}}{I_{1n}} = \frac{110k}{66} = 968,31\Omega \quad (1.24)$$

Odpor nakrátko:

$$R_k = \frac{p_k}{100} \cdot Z_n = \frac{0,73}{100} \cdot 968,31 = 7,09\Omega \quad (1.25)$$

Odpor primárního vinutí:

$$R_1 = \frac{R_k}{2} = \frac{7,09}{2} = 3,54\Omega \quad (1.26)$$

Odpor sekundárního vinutí:

$$R_2 = \frac{R_1}{p_{12}^2} = \frac{3,54}{4,07^2} = 213,82m\Omega \quad (1.27)$$

Poměrná reaktance nakrátko:

$$x_k = \sqrt{u_k^2 - p_k^2} = \sqrt{12,55^2 - 0,733^2} = 12,52\% \quad (1.28)$$

Reaktance nakrátko:

$$X_k = \frac{x_k}{100} \cdot Z_n = \frac{12,52}{100} \cdot 968,31 = 121,32\Omega \quad (1.29)$$

Rozptylová reaktance primárního vinutí:

$$X_{\sigma 1} = \frac{X_k}{2} = \frac{121,32}{2} = 60,65\Omega \quad (1.30)$$

Rozptylová reaktance sekundárního vinutí:

$$X_{\sigma 2} = \frac{X_{\sigma 1}}{p_{12}^2} = \frac{60,65}{4,07^2} = 3,65\Omega \quad (1.31)$$

Proud naprázdno:

$$I_0 = \frac{i_0}{100} \cdot I_{2n} = \frac{0,22}{100} \cdot 463 = 1,0186A \quad (1.32)$$

Účinit naprázdno:

$$\cos\varphi_0 = \frac{\Delta P_0}{S_0} = \frac{\Delta P_0}{U_{2n} \cdot I_0} = \frac{13,102k}{27k \cdot 1,0186} = 0,48 \quad (1.33)$$

Proud I_{Fe2} :

$$I_{Fe2} = I_0 \cdot \cos\varphi_0 = 1,02 \cdot 0,48 = 488,93mA \quad (1.34)$$

Proud I_μ :

$$I_{\mu 2} = I_0 \cdot \sin\varphi_0 = 1,02 \cdot 0,88 = 896,37mA \quad (1.35)$$

Ztráty představující odpor v železe:

$$R_{Fe2} = \frac{U_{2n}}{I_{Fe2}} = \frac{27k}{448,93mA} = 60,143k\Omega \quad (1.36)$$

Ztráty představující odpor v železe přepočtené na hladinu vvn:

$$R_{Fe} = R_{Fe2} \cdot \left(\frac{U_{1n}}{U_{2n}}\right)^2 = 60,143k \cdot \left(\frac{110k}{27k}\right)^2 = 998,26k\Omega \quad (1.37)$$

Magnetizační reaktance:

$$X_{\mu 2} = \frac{U_{2n}}{I_{\mu 2}} = \frac{27k}{896,37mA} = 30,12k\Omega \quad (1.38)$$

Magnetizační reaktance přepočtená na hladinu vvn:

$$X_\mu = X_{\mu 2} \cdot \left(\frac{U_{1n}}{U_{2n}}\right)^2 = 30,12k \cdot \left(\frac{110k}{27k}\right)^2 = 499,93k\Omega \quad (1.39)$$

3.1.2.3 Přepočít transformátoru 23/2,5kV

Pro trakční transformátor TU1 (obdobně pro TU2) je výpočet následující:

Převod transformátoru primár vůči sekundáru:

$$p_{12} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{23k/\sqrt{3}}{2,5k/\sqrt{3}} = 9,2 \quad (1.40)$$

Převod transformátoru primár vůči terciáru:

$$p_{13} = \frac{U_{1n}}{U_{3n}} = \frac{23k/\sqrt{3}}{2,5k} = 5,3 \quad (1.41)$$

Výkon nakrátko:

$$p_k = \frac{\Delta P_k}{S_n} \cdot 100 = \frac{25,907k}{3,54M} \cdot 100 = 0,73\% \quad (1.42)$$

Jmenovitá impedance:

$$Z_T = \frac{U_{1f}}{I_{1n}} = \frac{23k/\sqrt{3}}{89} = 142,72\Omega \quad (1.43)$$

Odpor nakrátko:

$$R_k = \frac{p_k}{100} \cdot Z_n = \frac{0,73}{100} \cdot 142,72 = 1,04\Omega \quad (1.44)$$

Odpor primárního vinutí:

$$R_1 = \frac{R_k}{2} = \frac{5,15}{2} = 0,52\Omega \quad (1.45)$$

Odpor sekundárního vinutí:

$$R_2 = \frac{R_1}{p_{12}^2} = \frac{0,52}{9,2^2} = 6,15m\Omega \quad (1.46)$$

Odpor terciárního vinutí:

$$R_3 = \frac{R_1}{p_{13}^2} = \frac{0,52}{9,2^2} = 18,51m\Omega \quad (1.47)$$

Poměrná reaktance nakrátko:

$$x_k = \sqrt{u_k^2 - p_k^2} = \sqrt{6,73^2 - 0,73^2} = 6,69\% \quad (1.48)$$

Reaktance nakrátko:

$$X_k = \frac{x_k}{100} \cdot Z_n = \frac{6,69}{100} \cdot 142,72 = 9,55\Omega \quad (1.49)$$

Rozptylová reaktance primárního vinutí:

$$X_{\sigma 1} = \frac{X_k}{2} = \frac{9,55}{2} = 4,77\Omega \quad (1.50)$$

Rozptylová reaktance sekundárního vinutí:

$$X_{\sigma 2} = \frac{X_{\sigma 1}}{p_{12}^2} = \frac{4,77}{9,2^2} = 56,41m\Omega \quad (1.51)$$

Rozptylová reaktance terciárního vinutí:

$$X_{\sigma 3} = \frac{X_{\sigma 1}}{p_{13}^2} = \frac{4,77}{5,3^2} = 169,81m\Omega \quad (1.52)$$

Účinit naprázdno:

$$\cos\varphi_0 = \frac{\Delta P_0}{S_0} = \frac{\Delta P_0}{3 \cdot U_{3n} \cdot I_0} = \frac{5,2k}{3 \cdot 2,5k \cdot 3,48} = 0,2 \quad (1.53)$$

Proud I_{Fe2} :

$$I_{Fe2} = I_0 \cdot \cos\varphi_0 = 3,48 \cdot 0,2 = 696mA \quad (1.54)$$

Proud $I_{\mu 2}$:

$$I_{\mu 2} = I_0 \cdot \sin\varphi_0 = 3,48 \cdot 0,98 = 3,41A \quad (1.55)$$

Ztráty představující odpor v železe:

$$R_{Fe2} = \frac{U_{3n}}{I_{Fe2}} = \frac{2,5k}{696m} = 3,59k\Omega \quad (1.56)$$

Ztráty představující odpor v železe přepočtené na hladinu vn – 23kV:

$$R_{Fe} = R_{Fe2} \cdot \left(\frac{U_{1n}}{\sqrt{3} \cdot U_{3n}} \right)^2 = 3,59k \cdot \left(\frac{23k}{\sqrt{3} \cdot 2,5k} \right)^2 = 101,28k\Omega \quad (1.57)$$

Magnetizační reaktance:

$$X_{\mu 2} = \frac{U_{3n}}{I_{\mu 2}} = \frac{2,5k}{3,41} = 733,14\Omega \quad (1.58)$$

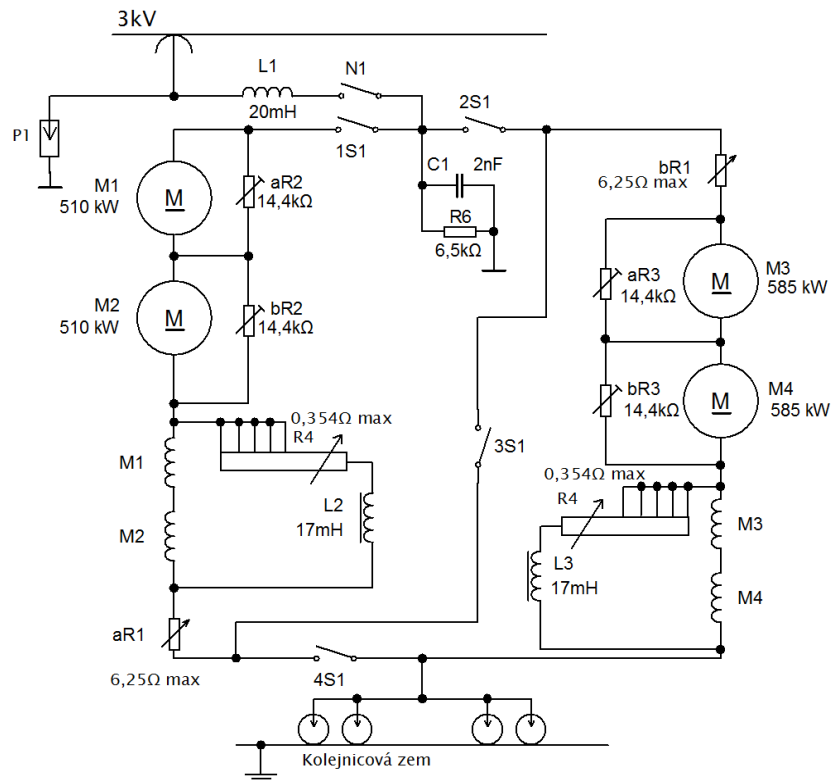
Magnetizační reaktance přepočtená na hladinu vn – 23kV:

$$X_{\mu} = X_{\mu 2} \cdot \left(\frac{U_{1n}}{\sqrt{3} \cdot U_{2n}} \right)^2 = 733,14 \cdot \left(\frac{23k}{\sqrt{3} \cdot 2,5k} \right)^2 = 20,6k\Omega \quad (1.59)$$

3.2 Simulace

Simulace chodu trafostanice byla vytvořena v programu Matlab za pomoci prostředí Simulink. Pro vytvoření jednotlivých prvků bylo použito knihovny Simscape. Vzhledem k povaze práce jsou zkoumány spíše ustálené stavy, přechodné děje jen v omezeném, ilustrativním množství pro důkaz, že simulace může poskytnout i tyto informace.

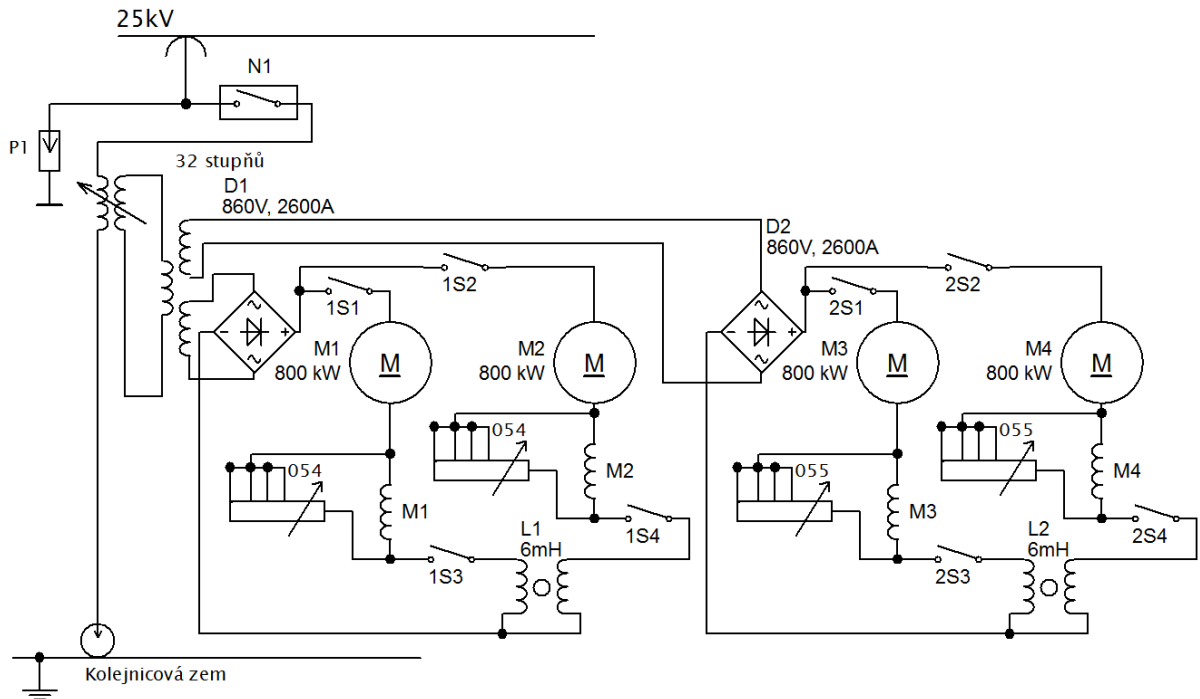
Jako předlohu pro vytvoření korektních parametrů odběru sloužily trakční schémata lokomotiv 163, 363, 123 a 242. První dvě zmíněné jsou lokomotivy s tyristorovým řízením výkonu a nakonec v simulaci nebyly použity, protože ztlačily výpočet. Lokomotivy 123 [10] a 242 [12] mají odporové řízení výkonu a tvorba jejich náhradních schémat byla ztlačně jednodušší a také zbytečně nekomplikovali výpočet simulace. Pro napájení stejnosměrné strany byla použita lokomotiva 123 a pro napájení střídavé strany lokomotiva 242. Obě lokomotivy obsahují stejnosměrné motory. Lokomotiva řady 123 neobsahuje žádný transformátor ani usměrňovače a její silové provedení je velmi jednoduché. Jedná se pouze o čtyři sériové šestipólové elektromotory, které jdou řadit jako dva a dva paralelně, nebo všechny v sérii. Řízení výkonu je provedeno odpory paralelně připojenými k budíci mu vinutí, pomocí kterých se zeslabuje magnetické pole mezi póly statoru.



Obrázek 6 Zjednodušené schéma hlavního obvodu lokomotivy 123

Na Obrázek 6 je nakresleno zjednodušené schéma silové části lokomotivy. Ve schématu je vynechán například druhý sběrač, všechna měření, ventilátory atd. Principiálně lze zjednodušit na sérioparalelní RLC obvod a není dopuštěno velké chyby, protože není zkoumán například vliv motorů ale chod měřirny.

Pro střídavou stranu byly použity hodnoty ze střídavé lokomotivy 242. Její zapojení obsahuje oproti 123 navíc transformátor s regulací na straně vn a také usměrňovače, kterými se pak napájí stejnosměrné motory.



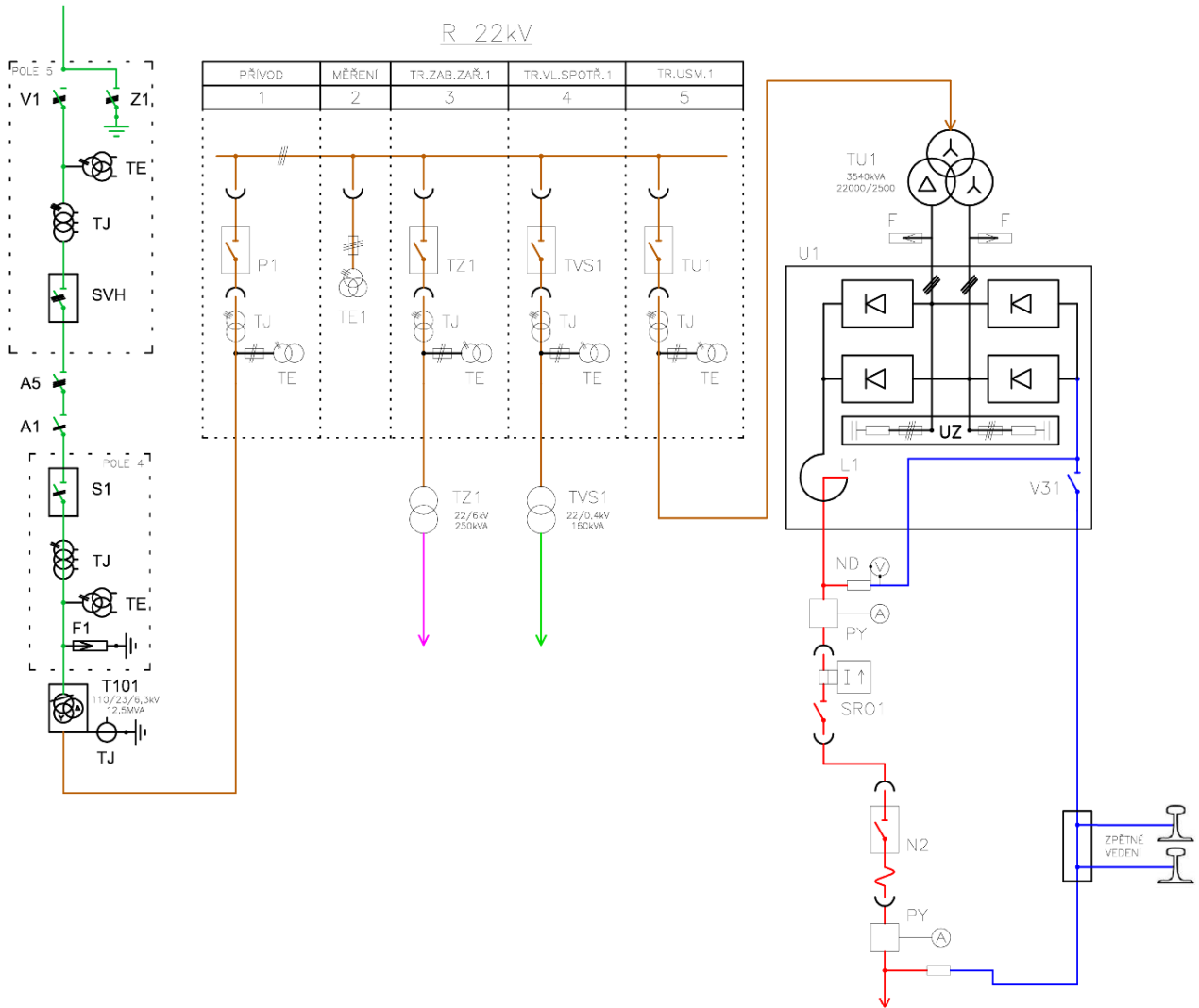
Obrázek 7 Zjednodušené schéma hlavního obvodu lokomotivy 242

Ze schématu lze vidět, že zapojení silového obvodu je jednoduché. Na vstupu je autotransformátor s 32 odbočkami, ze kterých je pak napájen transformátor s pevným převodem o třech vinutích. Motory jsou stejnosměrné sériové šestipólové, šuntovací stupně jsou celkem čtyři.

Obě tyto lokomotivy jsou výroby kolem roku 1970, což se projevilo na celkové jednoduchosti provedení. Lokomotiva 242 například neobsahuje ani jeden kondenzátor v silové části a lokomotiva 123 pouze jeden.

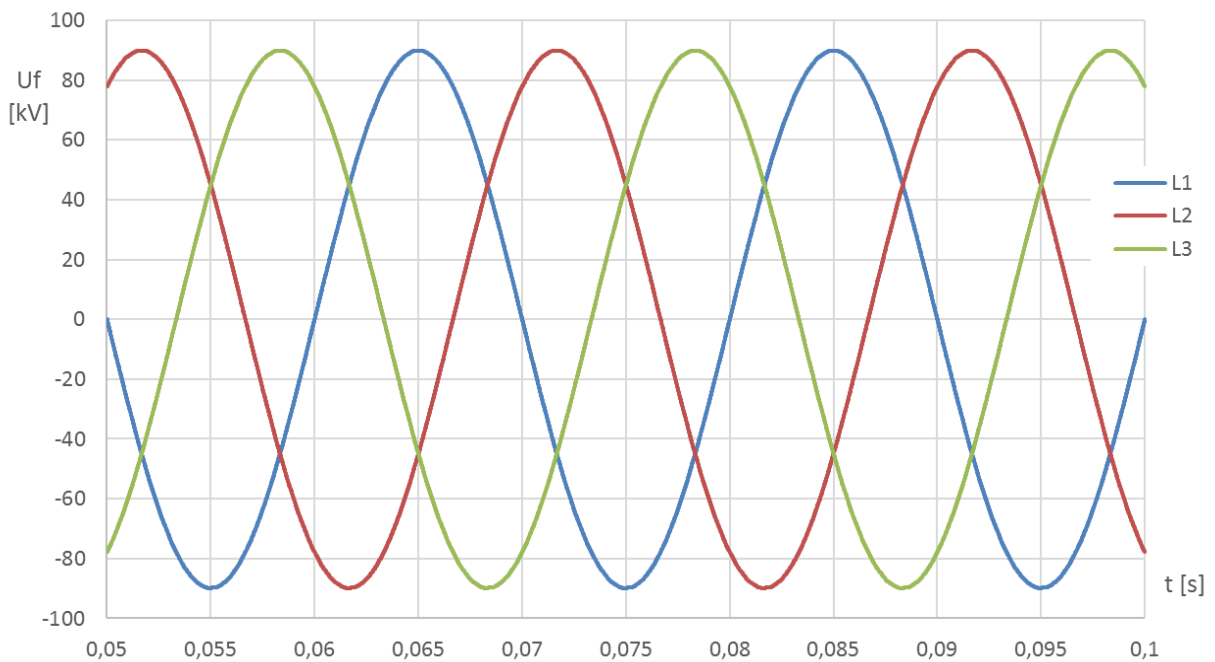
3.2.1 Odběr na straně 23kV

Jako první bude simulována strana napájecí stejnosměrnou trakci. Hodnoty jsou použité z lokomotivy 123 a to pro různé výkony. Maximální nominální výkon této lokomotivy je přibližně 2MW, v případě většího výkonu byly použity na uvažovaném úseku dvě tyto jednotky.



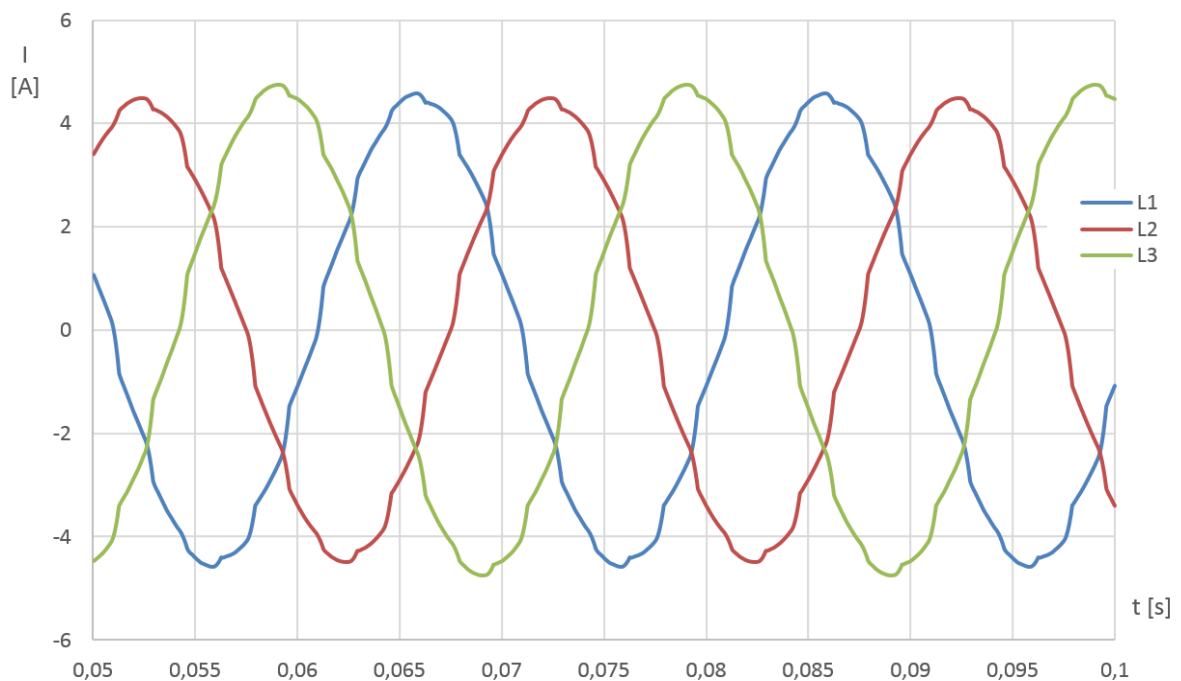
Obrázek 8 Uvažované zapojení pro odběr 3kV

Ve výchozím stavu má trakční odběr hodnotu $P_{3kV} = 200kW$ a v provozu je současně zátěž představovaná vlastní spotřebou rozvodny a napájením rozvodů zabezpečovacího zařízení. Vlastní spotřeba má volený odebíraný výkon přímo jako udávaný výkon transformátoru TVS1, tedy $P_{TVS} = 160 kW$ obdobně i odběr zabezpečovacího zařízení: $P_{TZ} = 250 kW$. Takto volené hodnoty jsou z důvodu jednoduššího porovnání s poslední kapitolou. Napájení stanice je jak z linky V547 tak z V5540. Obě linky jsou před stanicí spojené a napájecí stanice tak tvoří jeden paprsek.



Graf 2 Průběh napětí 110kV při chodu naprázdno

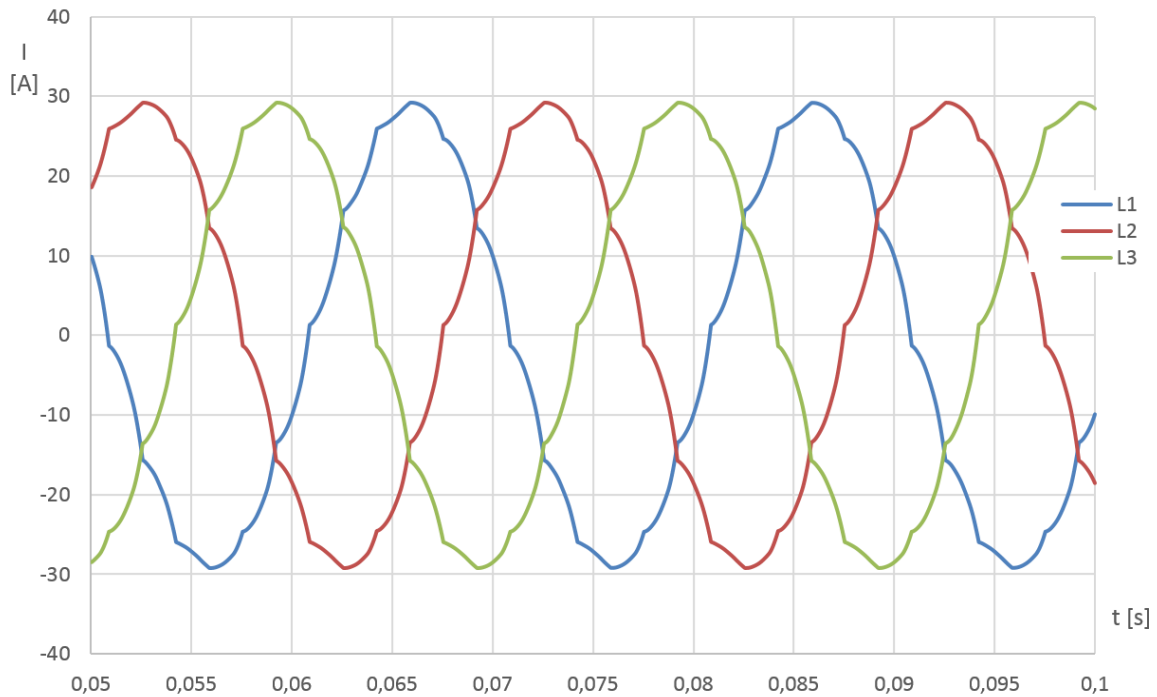
Protože odběr, požadovaný za trakčními usměrňovači, je pouze třetinový z celkového požadovaného výkonu, je průběh proudu jen lehce zkreslen. Odběr vlastní spotřeby a zabezpečovacích zařízení je idealizovaný a neobsahuje vyšší harmonické. Viditelné zkreslení je tak původem od trakčního dvanáctipulzního usměrňování.



Graf 3 Průběh proudů při chodu naprázdno

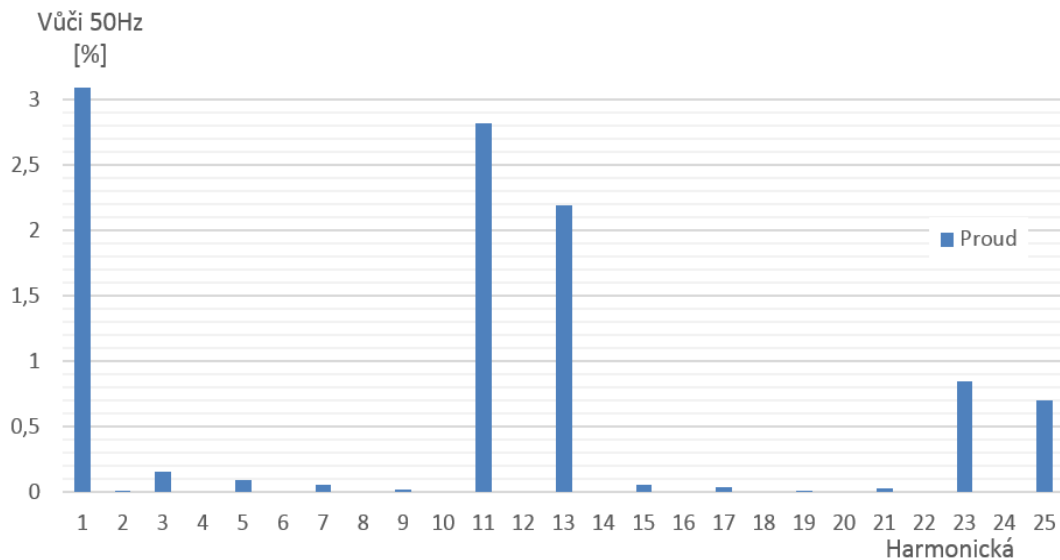
Při napájení stejnosměrné traktice o konstantním uvažovaném odběru o výkonu $P_{3kV} = 4 \text{ MW}$ je napětí na lince 110kV opět téměř nezkreslené. Zkreslení tvoří pouze 0,55% základní harmonické a není v tomto případě vykreslené. Odběr je uvažovaný na konci napájeného úseku,

tedy v délce $l = 10 \text{ km}$. Odběr vlastní spotřeby a zabezpečovacího zařízení je stejný jako v předchozím případě. Je zde už viditelnější typické zkreslení pro dvanáctipulzní usměrňení.



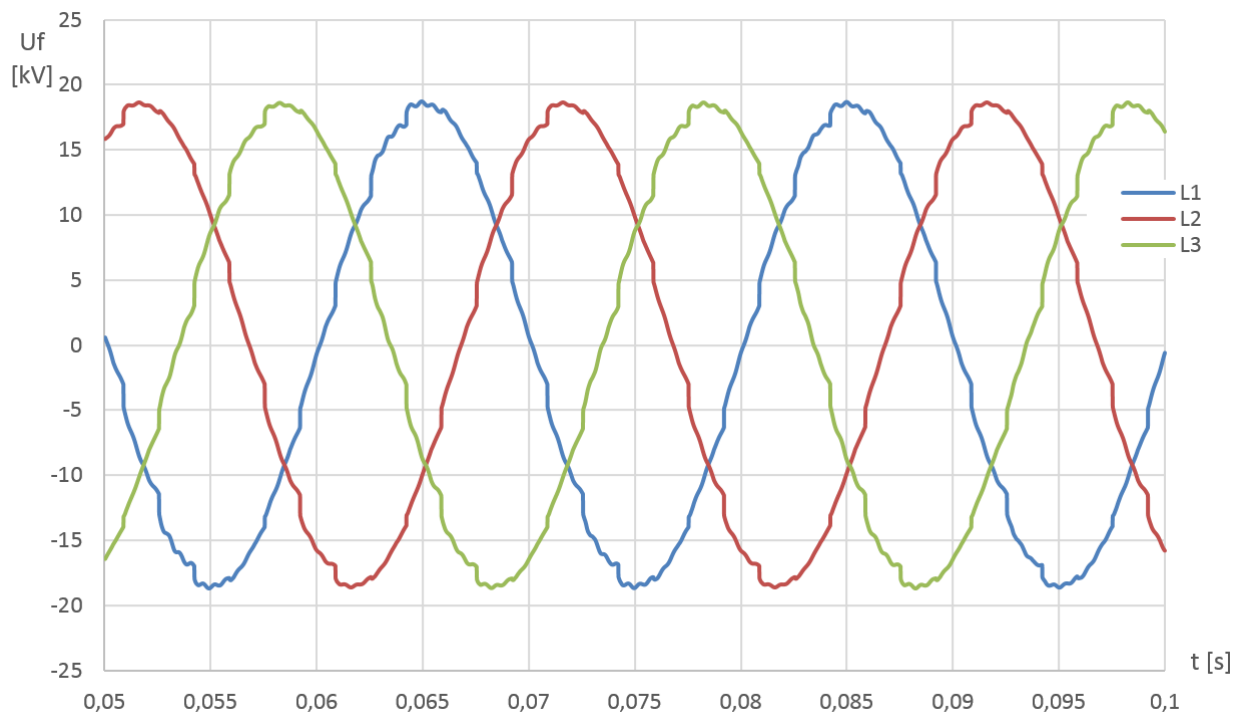
Graf 4 Průběh proudů v hladině 110kV při zatížení stejnosměrné trakce

Celkové harmonické zkreslení tohoto proudu dosahuje 3,79%, což se dá považovat za zanedbatelnou hodnotu, taktéž související s tím, že za tak malou hodnotu zkreslení dodavatel elektrické energie odběratele nepostihuje, je to spíše hodnota pro představu zarušení sítě. Pro první harmonickou platí, že je její poměr vůči 50Hz rovna 100% i přes to, že v grafu zdánlivě dosahuje pouze 3%. Toto platí pro všechny grafy rozkladu na harmonické složky.



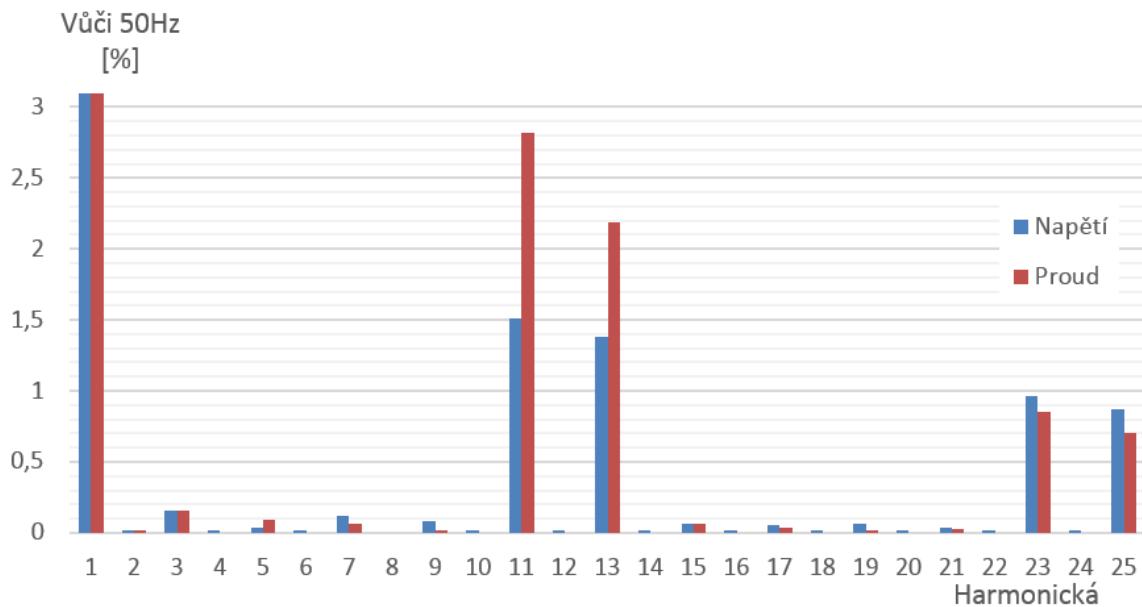
Graf 5 Rozklad na harmonické pro Graf 4

Zkreslení lze pozorovat ztelněji na hladině 22kV a to jak u proudu, kde je očekávatelné, ale také u napětí, kde se objevilo ztelné zkreslení vlivem spínání trakčních diod.



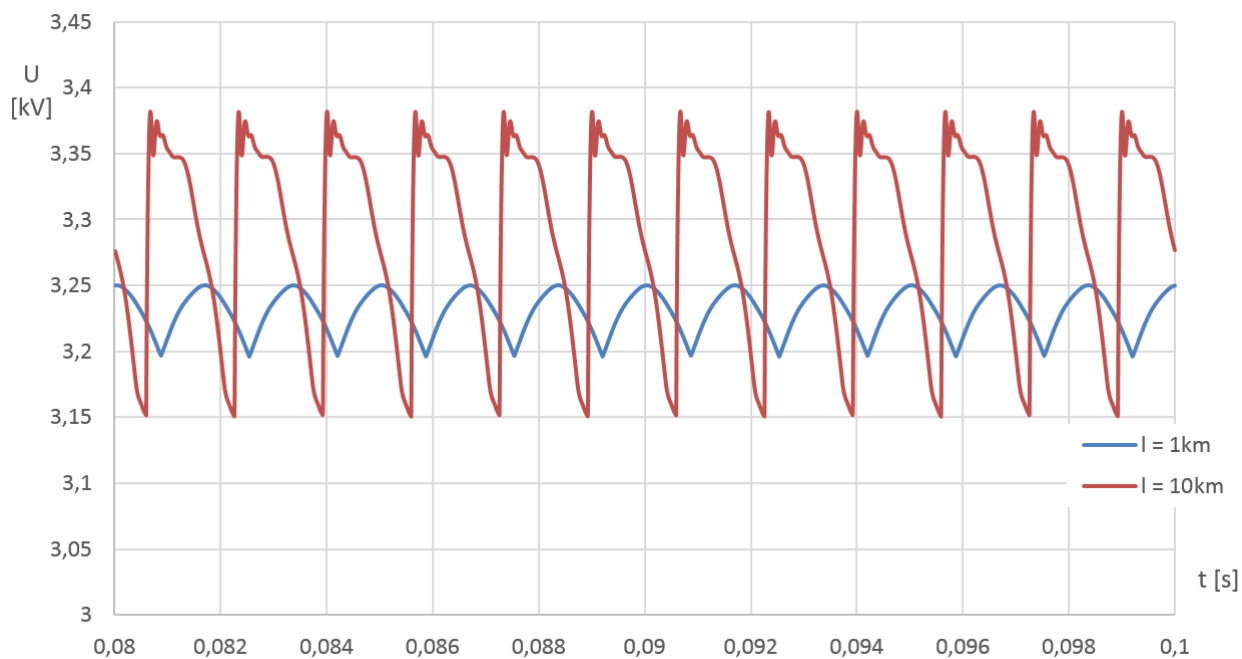
Graf 6 Průběh napětí na hladině 22kV

Průběh proudu na straně 22kV je silně podobný jako má Graf 4, s rozdílem dosahované hodnoty efektivního proudu $I_{22kV} = 98,28 \text{ A}$, proto není zobrazen.



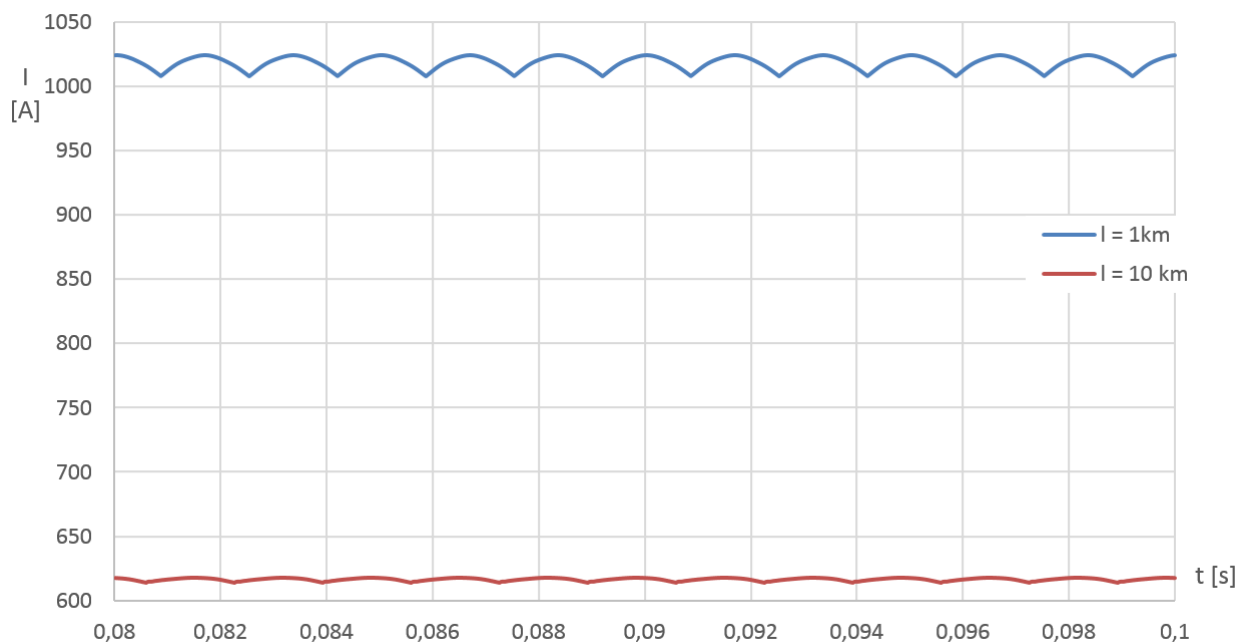
Graf 7 Rozklad na harmonické pro hladinu 22kV

Průběh napětí a proudu na trakčním vedení je proveden dvojím způsobem. A to při konstantní impedanci reprezentující odběr s rozdílem napájení zátěže u napájecí stanice a na konci uvažovaného napájecího úseku.



Graf 8 Průběh napětí trakce 3kV

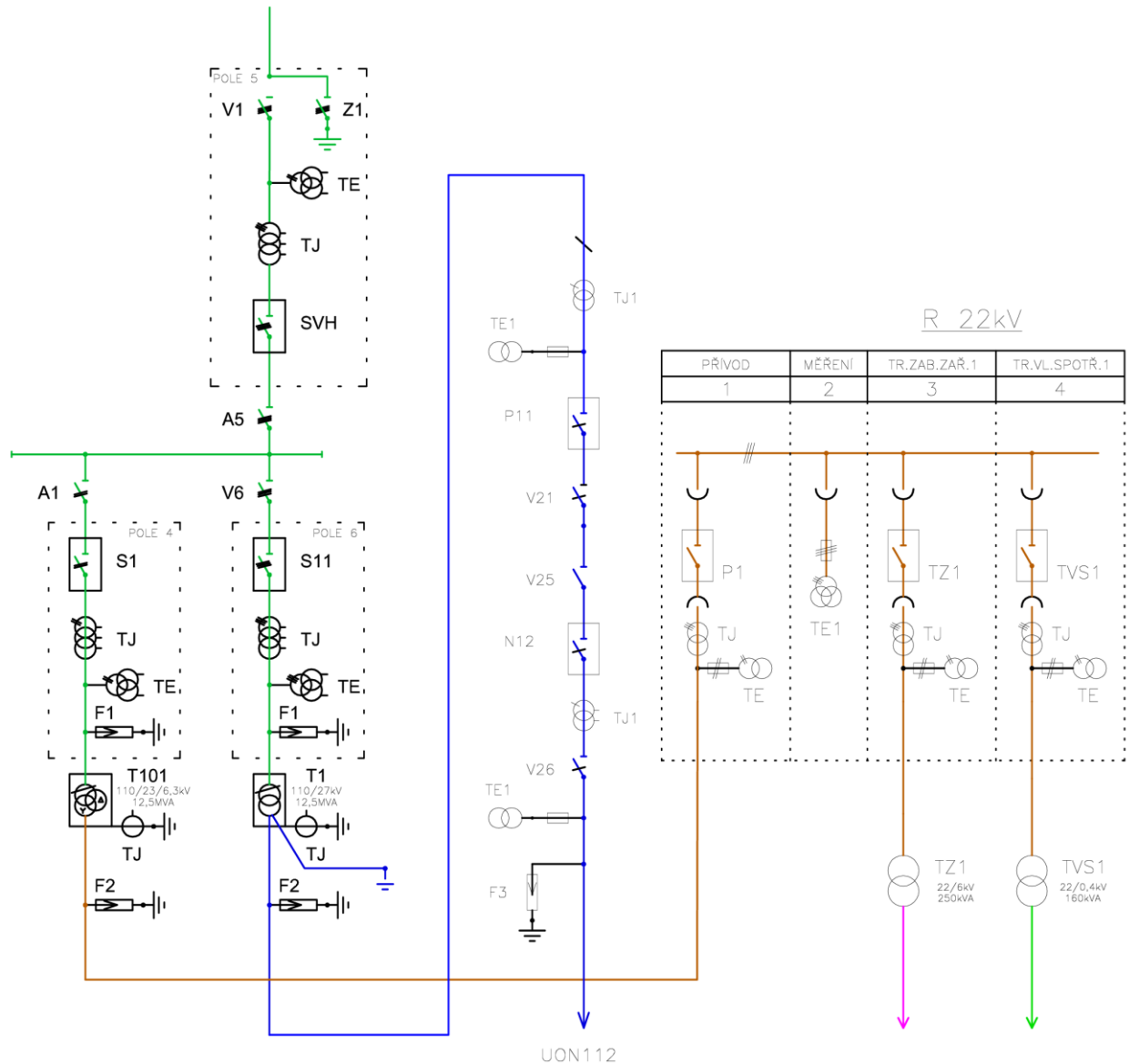
Vlivem zvětšení délky trakčního vedení se zvětší kapacita a indukce a to způsobí silnější přechodné děje, zobrazující se jako větší napěťové rázy a také posunutí fáze oproti vedení délky jednoho kilometru. Odběr proudu má vlivem větší indukčnosti při delším napájeném úseku hladší tvar než je tomu při napájení menší vzdálenosti.



Graf 9 Průběh proudu trakce 3kV

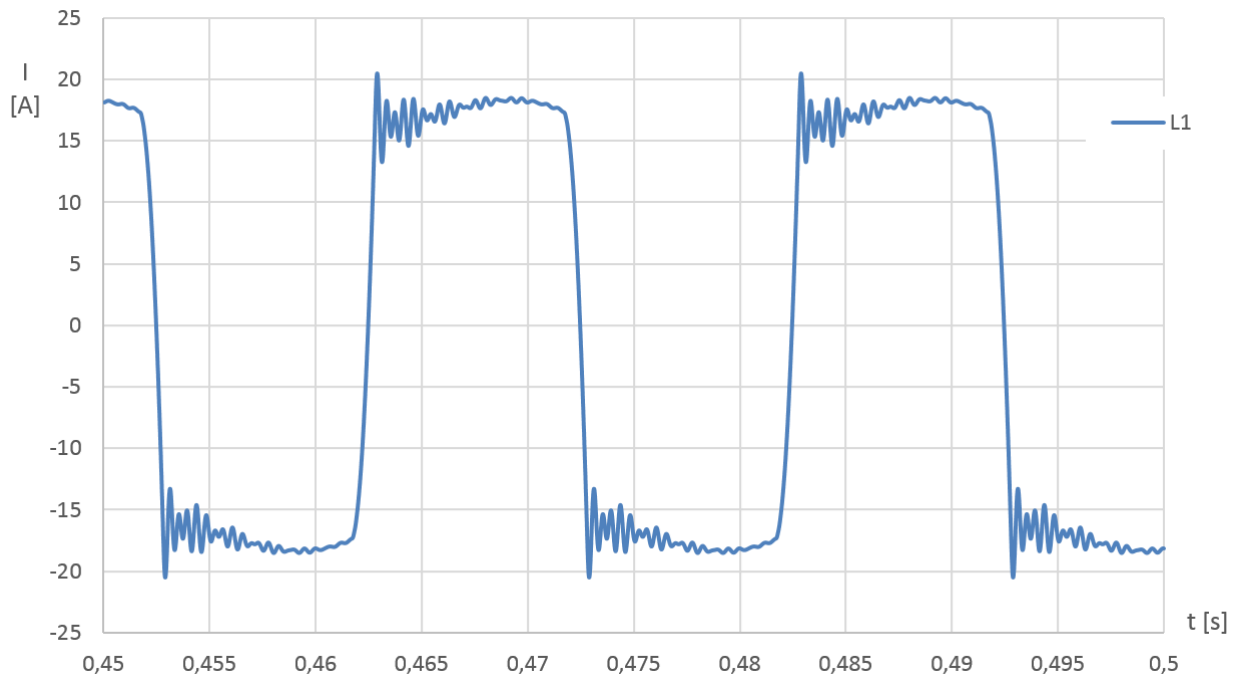
3.2.2 Odběr na straně 27kV

V případě základní simulace odběru na střídavé trakci je stále uvažováno napájení vlastní spotřeby a zabezpečovacího zařízení. Výkon o zátěže je nastaven s parametry $S = 1 \text{ MVA}$. Filtračně kompenzační zařízení zde zatím pro názornost není uvažováno.



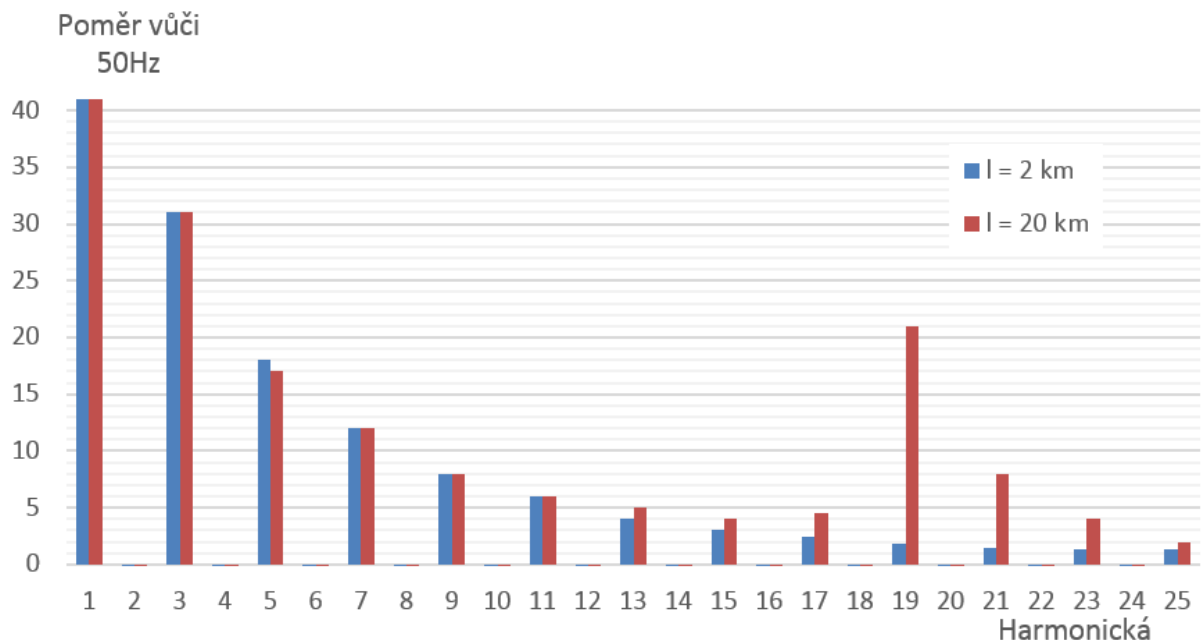
Obrázek 9 Uvažované zapojení pro odběr 27kV

Průběh napětí v přívodním poli je tvarově nezměněn, proto není vykreslen. Jednofázový transformátor T1 (taktéž platí i pro T2), je zapojen mezi první a třetí fází.



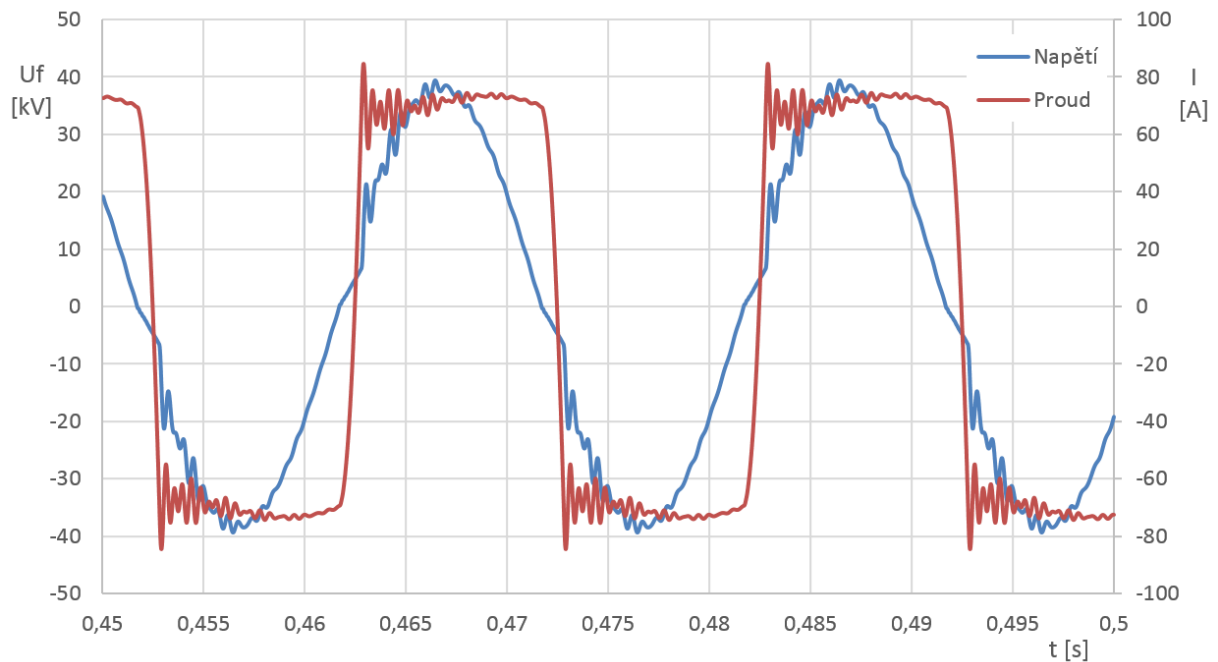
Graf 10 Průběh proudů v hladině 110kV - Pole 6 při zatížení střídavou trakcí

V grafu lze pozorovat značné zkreslení odebíraného proudu vlivem dvoucestného usměrnění v místě odběru. Protože není uvažováno FKZ a uvažovaný trakční odběr je silně indukčního charakteru, je tvar odebíraného proudu obdélkový. Kmitání po přechodech z jednotlivých stavů jsou způsobeny vlastní rezonanční frekvencí vedení a také filtrací proudu a napětí uvnitř lokomotivy.



Graf 11 Rozklad proudu na harmonické pro Graf 10

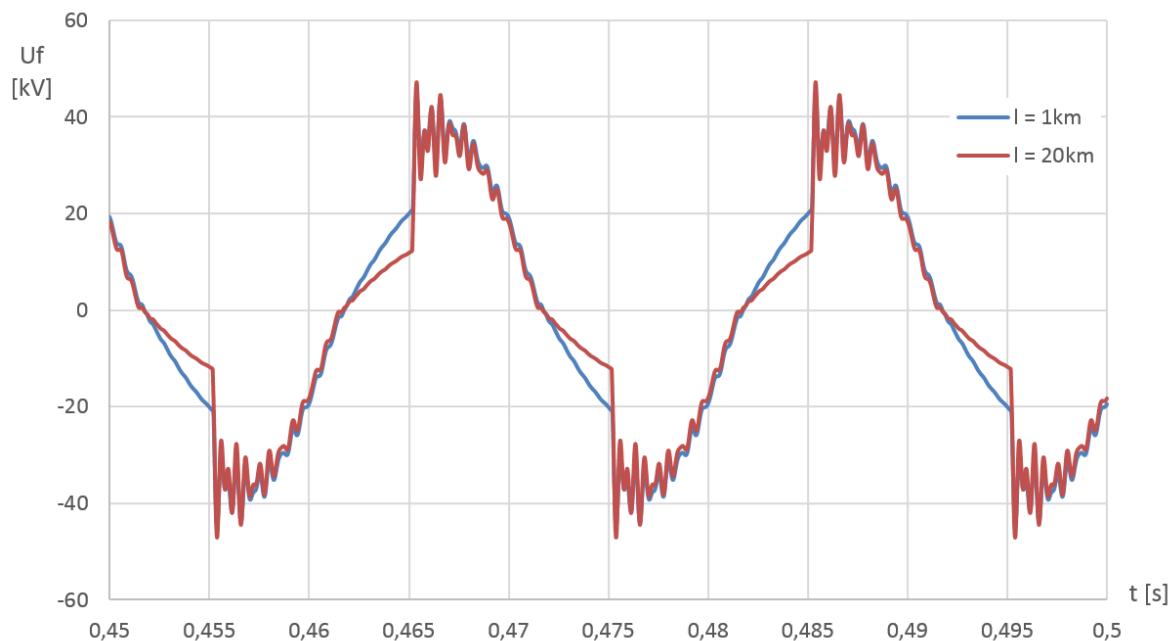
V rozkladu lze pozorovat zkreslení celého spektra harmonických. Při použití napájení na konci uvažovaného trakčního úseku (není vykreslen) se dále vyskytuje další zkreslení vlivem vlastní rezonanční frekvence trakčního vedení.



Graf 12 Průběh veličin po transformaci na 27kV

Průběh proudů na straně 27kV za transformátorem je znázorněn v Graf 12. Lze vidět rozdílné průběhy při zvětšení délky vedení k místu odběru. Rozklad na harmonické má podobný výsledek, jako má Graf 11. Za zmínku stojí relativní měkkost této soustavy, kde při zatížení přibližně

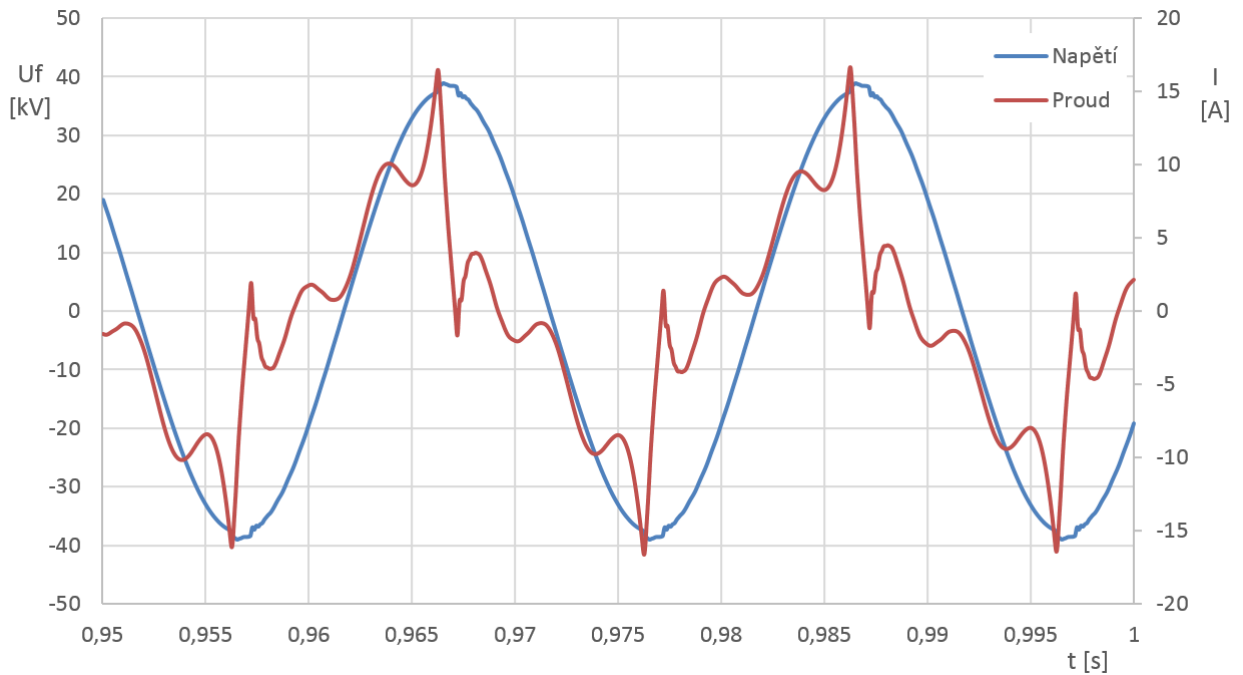
$S_z = 7\text{MVar}$ dosahuje efektivní hodnota napětí v místě odběru $U_2 = 23,1\text{kV}$ při délce vedení $l = 10\text{km}$ a za transformátorem 110/27kV je hodnota napětí $U_1 = 24,6\text{kV}$. S touto měkkostí se ale počítá a je uvedena i v normách pro trakční provoz v hladině 25kV (Tabulka 1). I při takovém poklesu se nedoporučuje regulovat, protože je obvyčejně jen krátkodobý.



Graf 13 Průběhy napětí v rozdílných bodech vedení

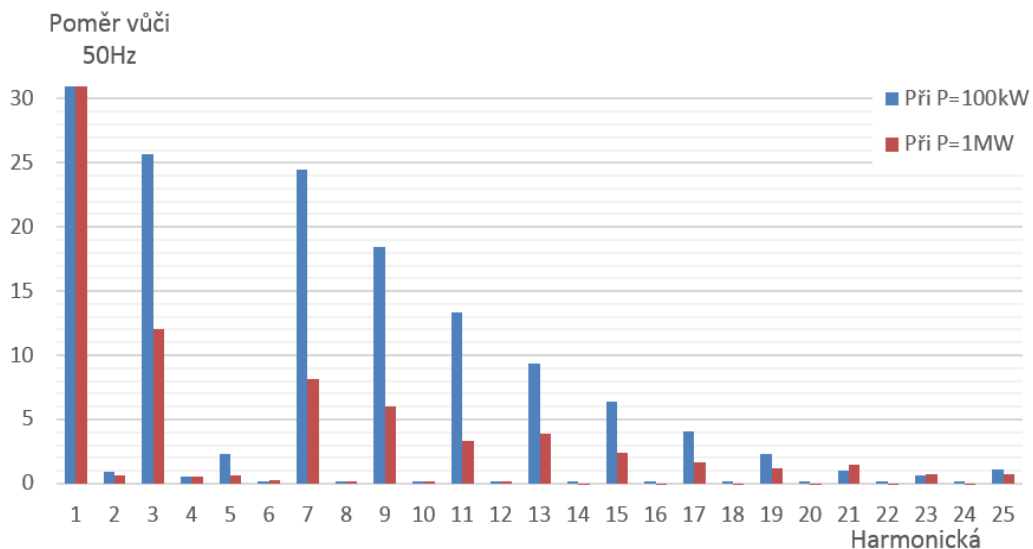
3.2.3 Vliv zapnutí FKZ

V předchozích grafech je průběh bez kompenzačního zařízení silně zkreslen a celkové zkreslení THD dosahuje až 40%. V simulaci je kompenzace provedena relativně jednoduše, logika se vždy snaží najít zápalný úhel tyristorů, které ovládají dekompenzační člen tak, aby byl účinník v rozmezí 0,95 až 1 indukčně. Průběhy po zapnutí dekompenzace jsou uvedeny níže, odběr je 1km daleko od napájecí stanice. Při nízkém zatížení, přibližně $P = 100kW$ není odebíraný průběh sinusový, což vzhledem k malému výkonu až tolik nevádí, protože cenové přírážky za tvar proudu by byly minimální:

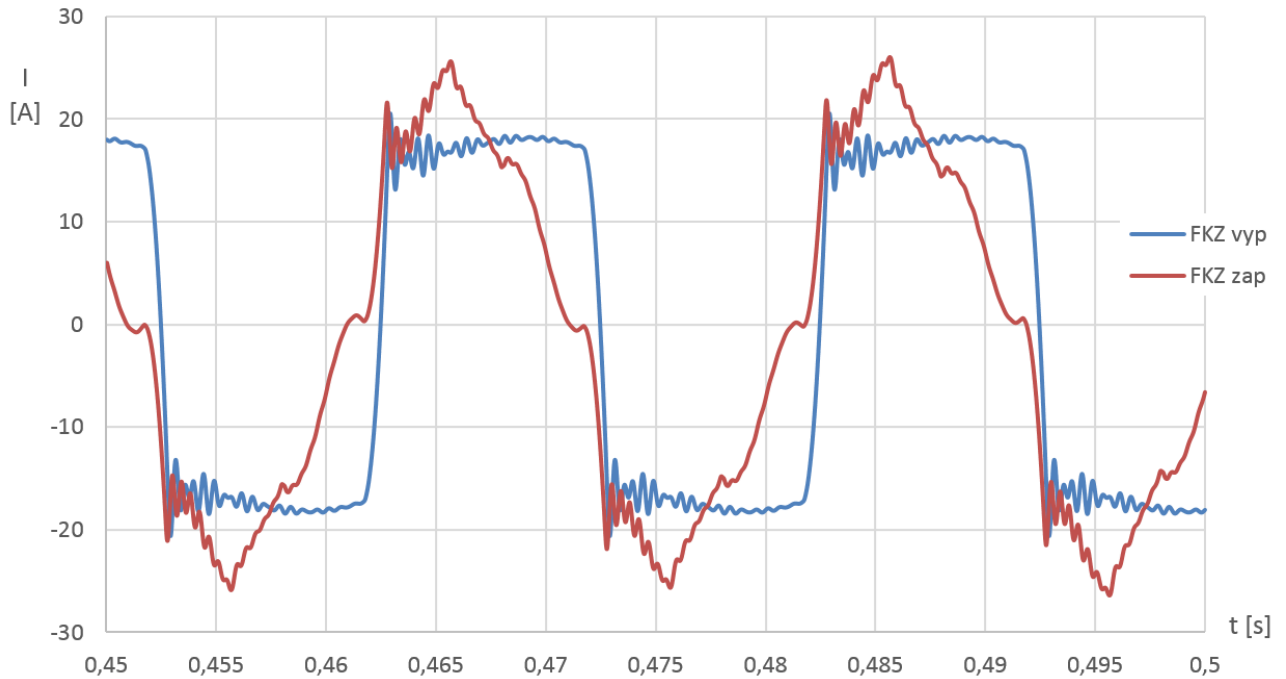


Graf 14 Odběr při malém odebíraném výkonu a zapnutém FKZ

Ačkoliv je účinník $\cos\varphi = 0,995$ tak celková deformace proudu dosahuje 45%. Rozklad na harmonické pro tento průběh a pro průběh při větším odebíraném výkonu je zobrazen níže. Účinník je pro oba průběhy téměř totožný, malý odběr však způsobí značně větší zkreslení proudu.

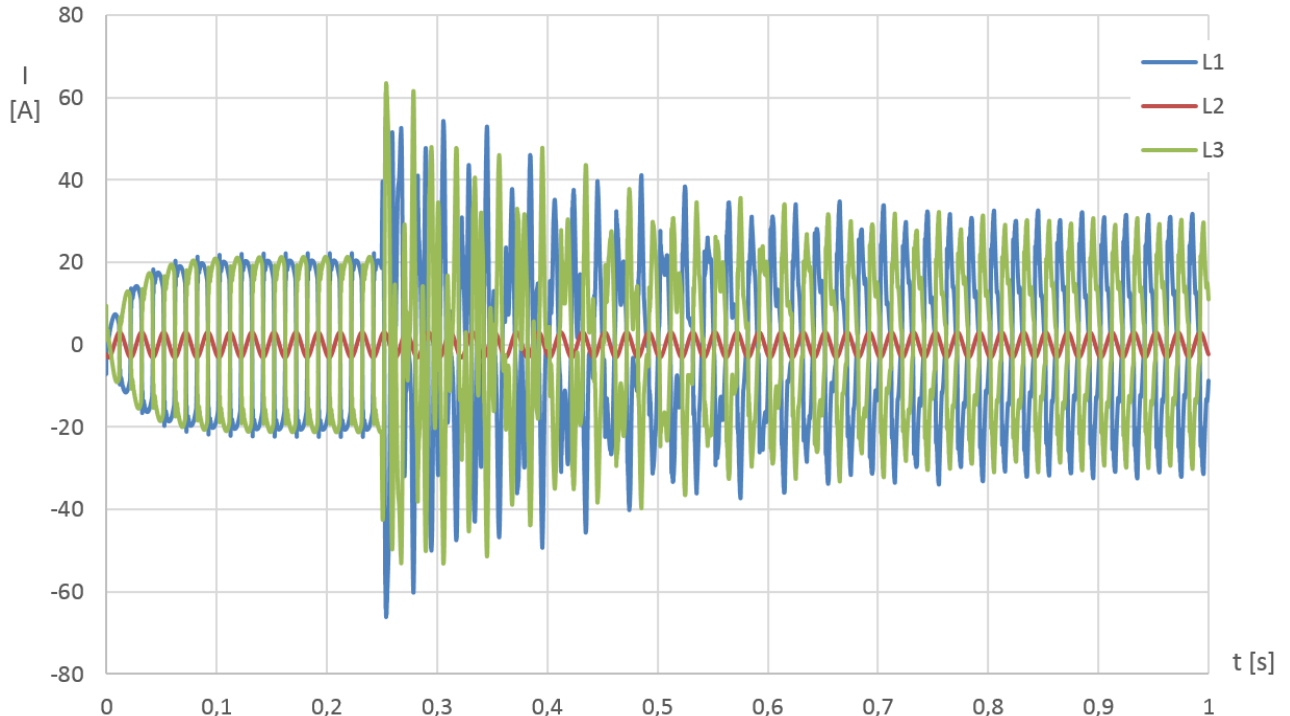


Graf 15 Porovnání proudového zarušení při různých odebíraných výkonech



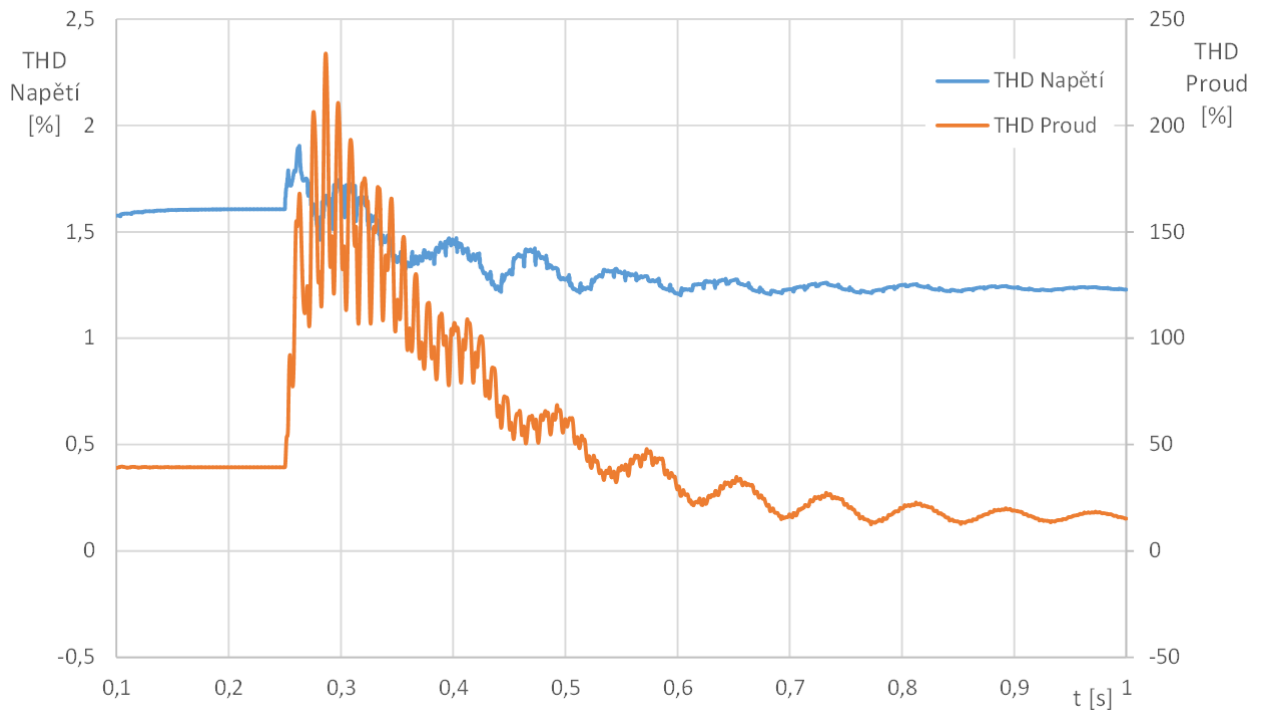
Graf 16 Rozdíl odebíraného proudu v hladině 27kV při zapnutém a vypnutém FKZ

Účinník při zapnutém FKZ a odběru přibližně $P = 1\text{MW}$ činí $\cos\varphi = 0,97$ a při vypnutém FKZ $\cos\varphi = 0,7$. Delší časový průběh, kde lze vidět čas nutný k „doregulování“ na požadovaný účinník je zobrazen níže. V čase $t = 0,25\text{s}$ je sepnut vypínač C2, který zapne napájení a regulaci FKZ.



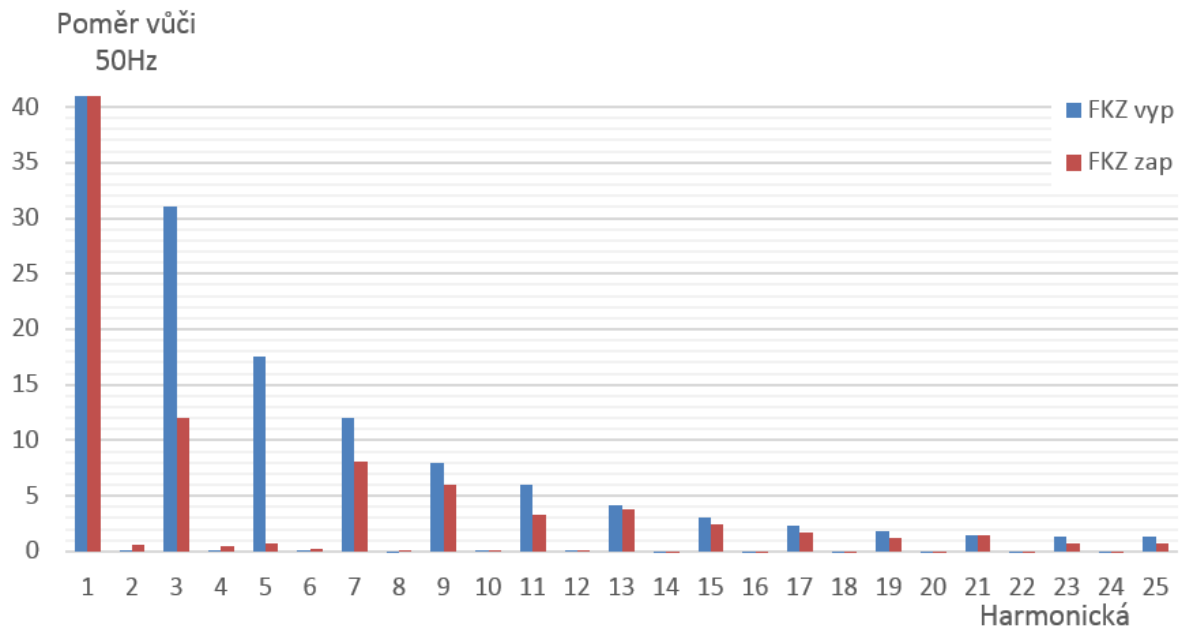
Graf 17 Transient po zapnutí FKZ

Spolu se zlepšením účinníku stojí také za zmínku celkové harmonické zkreslení proudu a vliv FKZ na jeho velikost. V čase $t = 0,25\text{s}$ je zapnuto FKZ. Zkreslení napětí, které už před zapnutím kompenzace bylo relativně malé (1,6%) se po zapnutí ještě více sníží. Zkreslení proudu dosahuje po zapnutí FKZ až 230%, po odeznění přechodného děje a naladění na správný zápalný úhel klesne THD přibližně na 15%, bez zapnutí dosahovalo hodnoty přibližně 40%.



Graf 18 THD napětí a proudu s vlivem FKZ

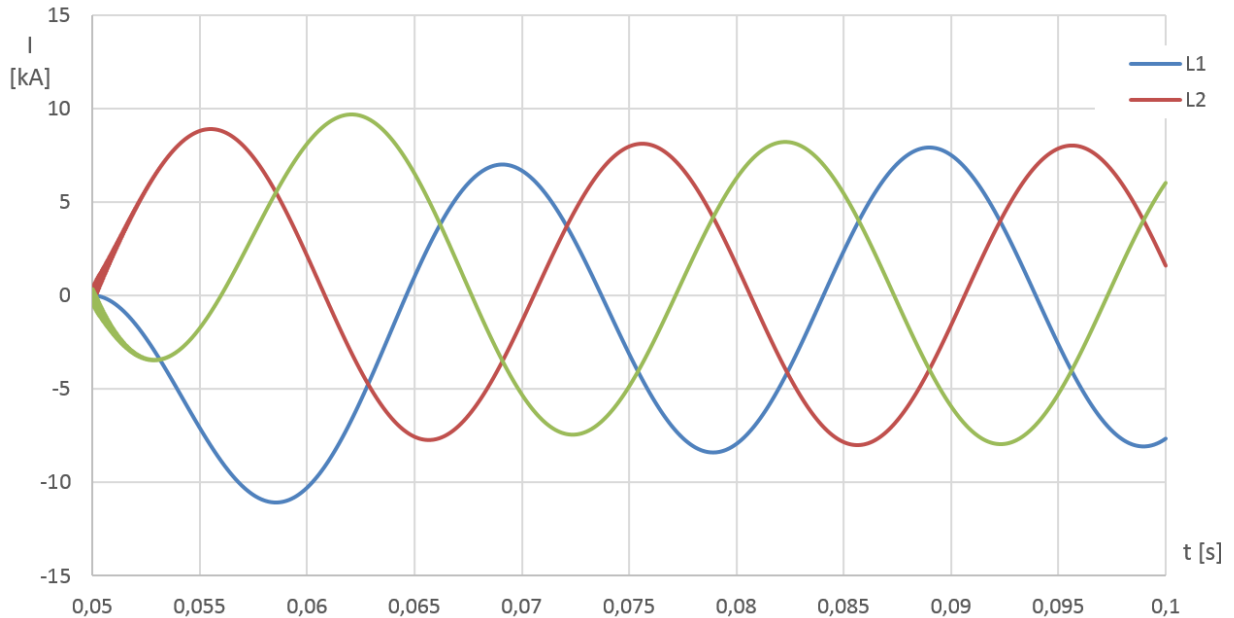
Rozklad na jednotlivé harmonické:



Graf 19 Rozklad na harmonické pro Graf 17

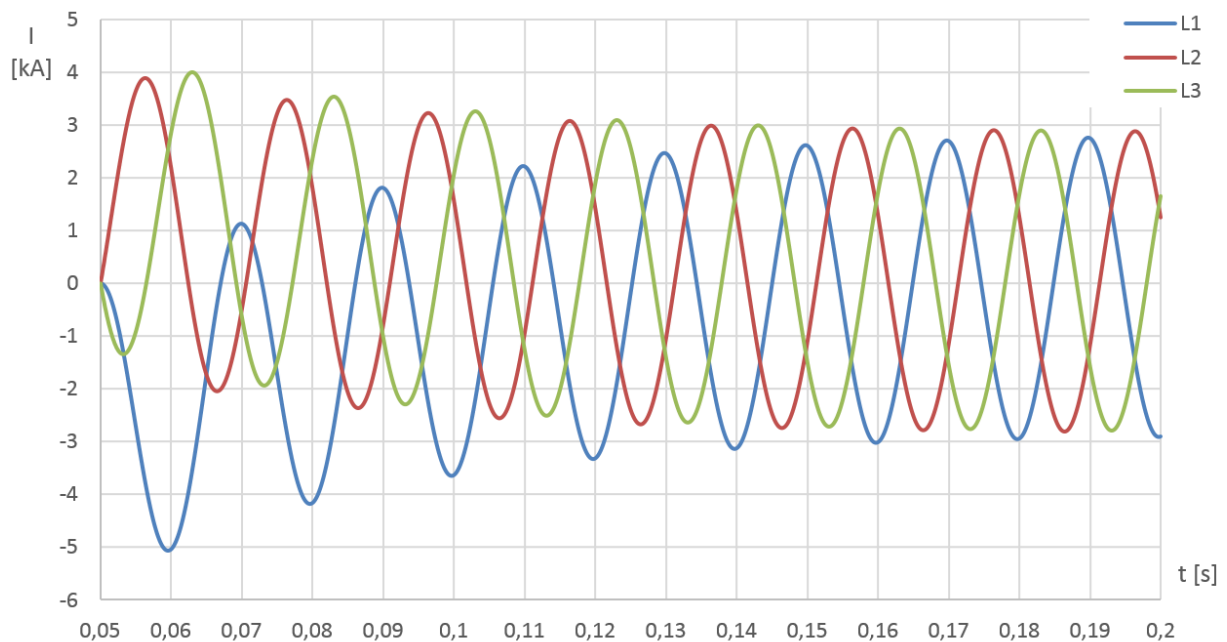
3.2.4 Zkraty v soustavě 110kV a 23kV

Dle výpočtů výše by měl ustálený zkratový proud dosahovat šesti kiloampér. Výsledek ze simulace při zkratu na 110kV:



Graf 20 Zkrat v síti 110kV

Efektivní hodnota v simulaci dosahuje přibližně $I_k'' = 5,72$ kA a $i_p = 11,04$ kA. Ačkoliv to nejsou hodnoty totožné s výpočty, pořád se dají považovat za relevantní a pro potřeby simulace dostatečně přesné.

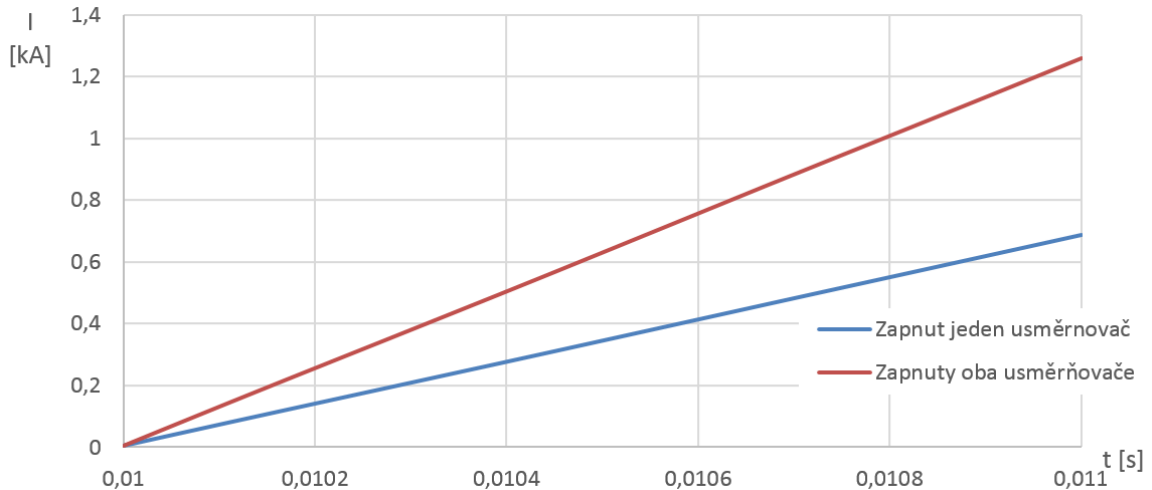


Graf 21 Zkrat v síti 23kV

Zde jsou hodnoty následující: $I_k'' = 2,08$ kA a $i_p = 5,06$ kA. Opět dostatečně blízké výpočtům.

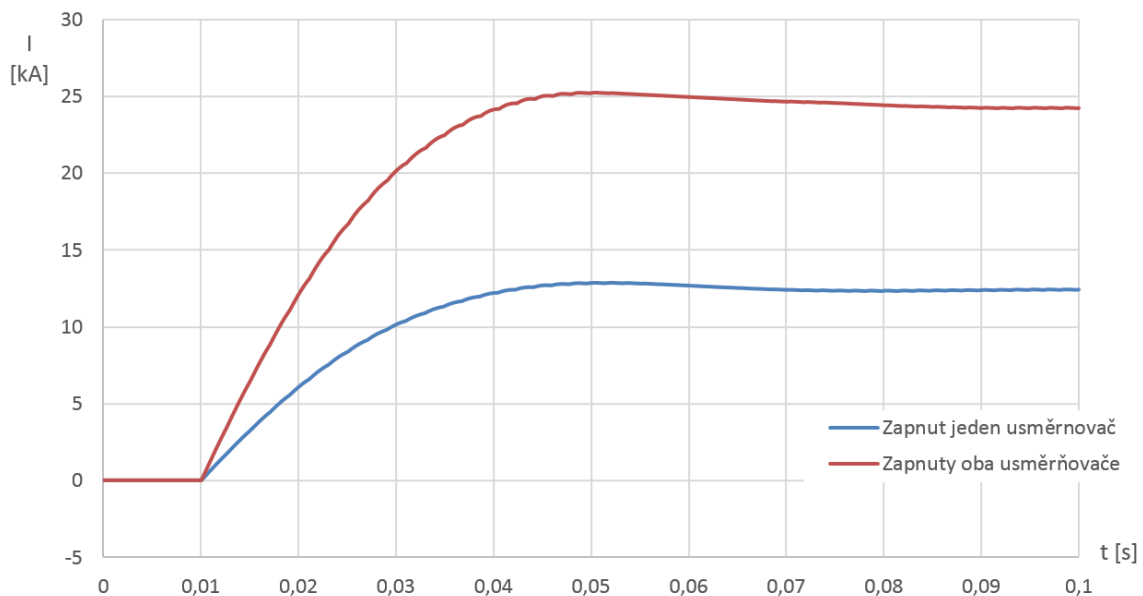
3.2.5 Zkrat na trakci 3kV

Zkrat na stejnosměrné straně 3kV je z pohledu zhášení velmi problematický, protože oproti střídavé síti nelze vypnout při průchodu proudu nulovou hodnotou. Je proto nutné vypnout zkratový nárůst v co nejmenším možném čase, dokud nepřesáhne velikost proudu vypínací schopnost rychlovypínače. Měřením byla zjištěna hodnota strmosti zkratového proudu pro zapnutý jeden usměrňovač $S_1 = 0,68 \text{ kA/ms}$ a pro zapnuté oba usměrňovače pak $S_2 = 1,37 \text{ kA/ms}$ [8]. Nárůst proudu v modelu při zkratování hned na vývodu z měřírny vypadá následovně:



Graf 22 Strmost zkratového proudu

Výsledky udávají podobné hodnoty. Pro jeden usměrňovač je nárůst $S_{1m} = 0,686 \text{ kA/ms}$, pro oba usměrňovače $S_{2m} = 1,257 \text{ kA/ms}$. Níže je uveden celý průběh zkratového proudu včetně ustálených hodnot. Pro jeden usměrňovač je ustálená hodnota $I_{dk1m} = 12,4 \text{ kA}$, pro oba $I_{dk2m} = 24,2 \text{ kA}$, což přibližně odpovídá teoretickým výpočtům $I_{dk1t} = 11,82 \text{ kA}$ a $I_{dk2t} = 22,7 \text{ kA}$.



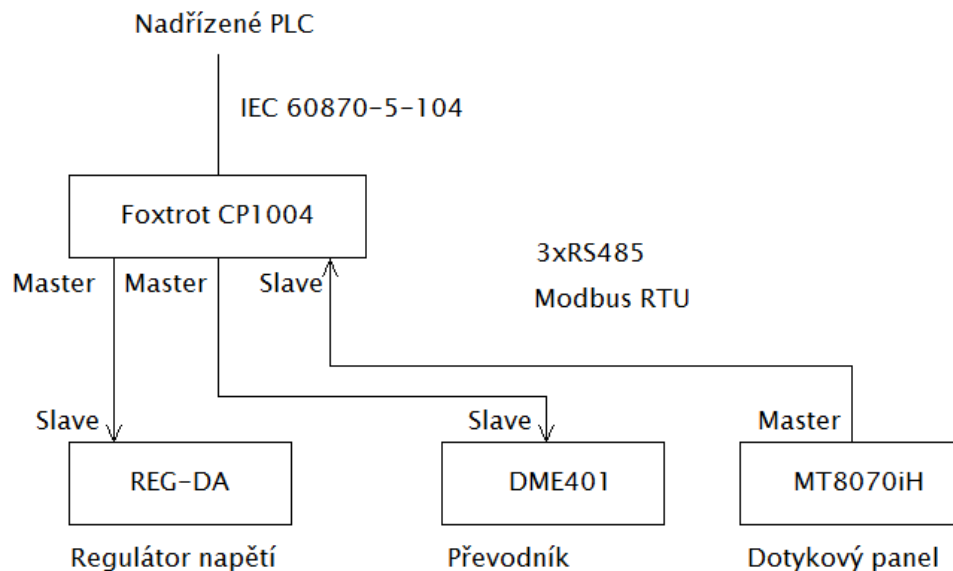
Graf 23 Celkový průběh zkratového proudu na 3kV

4 KOMUNIKACE A NASTAVENÍ REGULÁTORŮ

Tato kapitola se zabývá parametry nastavení komunikace a regulátoru napětí.

4.1 Komunikační topologie stanice

Topologie komunikace jednoho rozvaděče, ovládající jeden transformátor velmi vysokého napětí je následující:



Obrázek 10 Topologie komunikace jednoho rozvaděče

V práci je důraz hlavně na nastavení komunikace Foxtrot CP1004 a podřízenými stanicemi.

4.1.1 Modbus

Komunikační protokol Modbus je otevřený protokol používající se pro spojení různých zařízení, typicky PLC nebo HMI. Jedná se o sériovou komunikaci přes sběrnici, kde na sběrnici je jeden Master, který přenos řídí, a až 250 Slave stanicí. Protokol Modbus může být proveden přes Ethernet přes TCP/IP, nebo jako sériový přenos přes RS-232, RS-485 atd. Zde použité rozhraní je RS-485, které pro potřeby požadované komunikace plně dostačuje. Modbus podporuje dva vysílací režimy a to režim RTU a ASCII [13]. V režimu ASCII je binární obsah transformován na ASCII znaky, běžněji používaný je režim RTU a je tomu i zde.

RS485 [14] je ve stanici provedeno jako dvou vodičové propojení daných zařízení. Jeho odlišností například klasické sériové linky (RS232) je v hodnotě napětí logické 1 a logické 0. U RS232 je napětí pro logickou jedničku -3V až -15V a pro logickou nulu obráceně, vždy vůči referenční zemi. U RS485 je použito pro detekci logické nuly a logické jedničky rozdílové napětí mezi vodiči, jehož hodnota v případě překročení 200mV odpovídá logické „0“ a pokud je rozdíl menší jak 200mV tak je logická „1“. Výhodou této metody je vyšší odolnost proti indukovanému napětí, kde lze předpokládat, že se naindukované napětí přičte do obou vodičů téměř stejně a tím není způsobena nepřesnost při detekci logických úrovní.

Pro úspěšný přenos informace je nutné Masterovi zadat, o jaký typ přenosu půjde. Protokol Modbus má funkce rozděleny následovně:

Kód	Popis
1	Čtení výstupů - paměť 0xxx
2	Čtení vstupů - paměť 1xxx
3	Čtení registrů - paměť 4xxx
4	Čtení vstupních registrů - paměť 3xxx
5	Nastavení výstupu - paměť 0xxx
6	Nastavení registru - paměť 4xxx
7	Informace o stavu
8	Diagnostické funkce
15	Nastavení více výstupů - paměť 0xxx
16	Nastavení více registrů - paměť 4xxx
17	Vrátí slave id stanice

Tabulka 10 Funkce protokolu Modbus

Příklad inicializace komunikace v prostředí Mosaic vypadá následovně:

```
ModbusCmd(Gr:=1,FNC:=03,SNo:=1,StAdr:=1,NoPoint:=4,PtrData:=adr(Data),Cmd:=CmdCH2[1];
```

Kde podstatné jsou:

- FNC – značí funkci z Tabulka 10
- SNo – adresa slave zařízení
- StAdr – počáteční adresa, která bude ve Slave zařízení čtena
- NoPoint – počet po sobě jdoucích adres, které budou čteny
- PtrData – ukazatel na počátek pole proměnných v PLC

Tento příkaz tak provede přečtení čtyř po sobě jdoucích registrů, ze zařízení s adresou 1, startujících na Modbus adrese 4x001 a uloží je do pole proměnných s názvem Data. Sestavený příkaz pak uloží do prvního pole proměnné CmdCH2.

Pro samotný přenos je použit funkční blok ModbusRTUmas, který dle připravených relací v proměnné CmdCH2 postupně řídí přenos na lince. Jako příklad:

```
ModbusRTUmas(EN:=1,GrSel:=01,MaxCmd:=1,chanCode:=CH2_uni,Commands:=CmdCH2;
```

Při nastavování přenosu informací ze Slavu do Masteru, je nutné mít všechny stanice, které společem budou komunikovat, nastaveny na stejnou přenosovou rychlost, paritu a také řízení modemového signálu.

V zásadě se dá říct, že modbusová komunikace je připravená tak, že jednotlivé registry jdou po sobě a tak se dá přenést více informací pomocí jednoho příkazu, což je jednodušší, než pro každý registr vypisovat nový příkaz, navíc v takovém případě bývá problém s vlastní rychlostí Master PLC a odezvou od Slave zařízení. To samé platí pro čtení a nastavování vstupů a výstupů. Proto se v Modbus komunikaci nepoužívá absolutní odkaz na registr nebo například vstup ve slave zařízení, tedy X0.1., ale všechny tyto odkazy jsou přepsané do čtyřčíselného formátu. Na to, aby se tak přečetl stav vstupu na adrese X0.1. je potřeba adresovat na paměť 1001. Zde však nastává problém interpretace hodnot vyšších než je X0.7, kde další vstup je X1.0., ale pro modbus může být varianta 1008 tak 1010 přijatelná. V zásadě záleží na zařízení a jeho

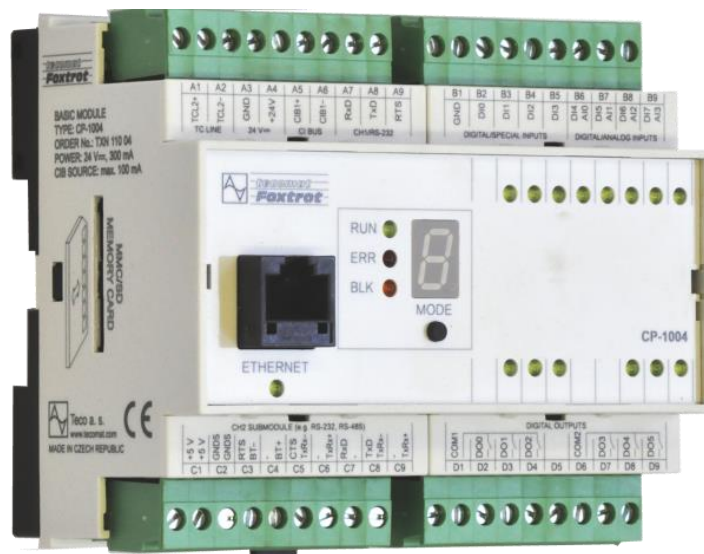
komunikačnímu modulu, jak k této problematice přistupuje. Dá se říct, že novější zařízení už pracují s formátem 0-8, zatímco starší používají desítkovou soustavu. Tento problém pochopitelně odpadá u registrů, které používají desítkové číslování standardně. Dalším problémem je přenášení integerů, wordů atp. Protože paměť dokáže do jedné adresy ukládat pouze jeden byte, tedy osm bitů, je problém s přenosem těchto hodnot, které zabírají právě více než jeden byte. Řešením je přenos každého byte zvlášť, není ale definováno, který byte při přenosu odpovídá „horní“ části wordu a který „spodní“ části. Protokol Modbus pracuje v režimu Big Endian, ukládá tedy nejvýše položené byty do nejnižších adres. Protože je to pro práci s pamětí nepraktické, tak se v běžné praxi používá spíše Little Endian. Modbus je však navržený na Big Endian a je nutno s tím počítat a pokud zařízení, se kterým je potřeba komunikovat toto rozdělení neřeší, obvykle pracuje v Little Endianu a pak je nutné v PLC přijaté data zkonvertovat.

4.2 Teco Foxtrot

Jedná se o relativně jednoduché PLC, používané v řadě aplikací, například pro řízení průmyslových procesů, ve strojírenství, nebo pro inteligentní řízení budov [15]. V případě této trafostanice je Foxtrot použit jako dílčí PLC, které přes Modbus komunikuje s regulátorem napětí, převodníky, do kterých jsou zapojeny měřící transformátory a také s dotykovým panelem. Dále psaná kombinace pro nastavení plně dostačuje pro kontrolu a řízení daného rozvaděče případně ovládaní transformátorů.

4.2.1 Základní modul

Základní modul CP-1004 se od ostatních základních modulů této řady odlišuje počtem vstupů a výstupů. Tento model má šest reléových výstupů a osm vstupů. Jeden pevně nastavený komunikační kanál CH1 přes rozhraní RS232 a pomocí komunikačního submodulu další tři nezávislé komunikační rozhraní CH2, CH3, CH4 přes RS485. Přes CH1 je možno se přes sériový komunikační port na PC k PLC připojit, stejně tak pomocí rozhraní Ethernet.



Obrázek 11 Foxtrot CP-1004 [15]

V použité konfiguraci je má každý připojený prvek svůj kanál, ačkoliv to princip Modbusu nevyžaduje a mohly být všechny připojené prvky zapojeny na jeden komunikační kanál. Tento typ byl zvolen pro oddělení jednotlivých prvků od sebe, zlepšit se tak nezávislost na poruchách. Dále by byla linka omezena maximální komunikační rychlostí nejpomalejšího prvku v síti, v tomto případě převodníku DME401.

4.2.1.1 Rozšiřující moduly

K základnímu modulu jsou dále připojeny moduly rozšiřující počet binárních vstupů a reléových výstupů. Konkrétně se jedná o typy:

IB-1301 – obsahuje dvanáct digitálních binárních vstupů.

IR-1501 – obsahuje čtyři digitální vstupy, nastavitelné také jako čítače a také osm reléových výstupů.

4.2.2 Programovací prostředí Mosaic

Pro vytvoření programů pro různá PLC od výrobce Teco, dodává firma vlastní vývojový software Mosaic, který dodržuje shodu s mezinárodní normou, která definuje strukturu programů a programovací jazyky pro PLC. Programovat se dá ve čtyřech programovacích jazycích [16]:

- Instruction list – podobný assembleru
- Structured Text – vyšší programovací jazyk s podobností Pascalu a C
- Ladder Diagram – grafické znázornění reléové logiky
- Function Block Diagram – blokový diagram, popisující funkce a vztahy v systému

Poslední dva jsou pro názornost nejlepší, ale v případě složitějších programů začínají být nepřehledné, proto je program pro komunikaci vytvořen jako Structured Text, který je tak přehlednější. Jednou z největších výhod grafických jazyků (LD a FBD) je možnost real-time debugingu, což textové jazyky neumožňují (ale umožňují real-time náhled do registrů, vstupů atd.).

V nastavení jednotlivých komunikačních linek je zde podstatný režim kanálu MDB a uni. MDB vytvoří z PLC Modbus Slave a řízení sítě a požadavky na přenos jednotlivých dat je plně v režii Mastera. Režim uni je plně konfigurovatelný režim, který je použit jako Modbus Master pro PLC Foxtrot. Nastavení pro Ethernetový port je relativně jednoduchý. Po fyzické vrstvě je posíláno více protokolů zároveň. V tomto případě je PLC Foxtrot v režimu Slave pro komunikaci IEC 60870-5-104 a zároveň probíhá komunikace jednotlivých Foxtrotů mezi sebou pomocí protokolu Modbus. Celkové nastavení je následující:

Navrhnutý program má za úkol ovládat pole AEA4. Má zahrnutý sběr dat z jednotlivých slave stanic, tak přenos informací na zobrazovací panel a obsahuje přípravu na komunikaci s nadřazeným PLC pomocí protokolu Modbus. Řídí povely z regulátoru a z dotykového panelu tak, aby nedošlo k havarijní situaci. Obsahuje blokové podmínky pro zapnutí nebo vypnutí odpojovače v poli, stejně tak nedovolí obsluhu vypínače například v případě, kdy není dostatečný tlak SF6 ve vypínači, nebo není vypínač ještě dostatečně nastřádán. Obsahuje převod měřítka z převodníku tak, aby byly zobrazené hodnoty jednak dle kalibrace převodníku, tak zároveň korektně přenesena na dotykový panel.

CH2		CH2	
Zařízení	Weintek 8070iH	Zařízení	A-Eberle Reg-DA
Režim kanálu	MDB	Režim kanálu	uni
Adresa	1	Adresa	0
Rychlost	19200	Rychlost	9600
RTS/CTS	off	RTS/CTS	auto
Parita	off	Parita	sudá
CH3		ETH	
Zařízení	Sineax DME401	Zařízení	TC700, CP-1004
Režim kanálu	uni	Režim kanálu	uni, PC, MDB
Adresa	0	Adresa	4
Rychlost	9600	Režim	TCP Slave
RTS/CTS	auto		
Parita	off		

Tabulka 11 Nastavení komunikačních kanálů

4.3 Převodník

Jedná se o programovatelný multipřevodník, který digitalizuje vstupní analogové hodnoty z měřících transformátorů a dále je přenáší přes Modbus RS485 [17].



Obrázek 12 Sineax DME 401 [17]

Zároveň má převodník port na rozhraní RS232, pomocí je ho nutné přes PC nastavit a zároveň je možné do tohoto portu zapojit zobrazovací jednotku A200. Převodník má maximální rychlost komunikace pouze 9600 baudů a při nastavení velkého množství přenášených dat se objeví znatelná časová prodleva v obnovení každé hodnoty.

Nastavení převodníku je jednoduché. Je potřeba zadat typ sítě, převod měřících transformátorů, konfiguraci měření a také rychlost a adresu pro komunikaci. Dále je vhodné vybrat, které veličiny se budou přenášet do Mastera. Ve výchozím stavu, kde se přenáší veškeré veličiny, které převodník umí vyhodnotit, trvá prodleva mezi každým cyklem přibližně jednu sekundu. Protože se zde nejedná o měření, které musí být extrémně přesné, je i toto vyhovující, ale ve finálním nastavení, kde se přenáší pouze sdružená napětí, proudy, zdánlivý, činný a jalový

výkon, má jeden měřicí cyklus čas do 0,567s. I tak půjdou veličiny, které se nepřenášejí přes Modbus zobrazit na připojeném displeji A200.

Mezi přenášené data patří i vnitřní kalibrace převodníku. Tyto data není nutné přenášet cyklicky, protože jsou po inicializaci pevně nastavené. Pro dosažení reálné hodnoty je nutné každou měřicí veličinu vynásobit se svoji škálou a to pro každý cyklus. Adresy přenášené z převodníku jsou tyto:

Veličina	Hodnoty	Měřítko
	Registr	Registr
U12	104	302
U23	105	304
U31	106	306
I1	108	316
I2	109	318
I3	110	320
P	111	322
Q	115	330
S	128	356

Tabulka 12 Adresy přenášených dat z DME401

Ve Foxtrotu jsou pak surové hodnoty s měřítkem vynásobeny a převedeny tak aby se ve správném formátu přenášely na zobrazovací panel a připraveny na přenos do nadřazeného systému.

4.4 Dotykový panel

Dotykový panel je od výrobce Weintek, typ 8070iH. Jedná se o širokoúhlou dotykovou obrazovku s rozlišením 800x480 pixelů. Je vybaven třemi sériovými porty, jedním Ethernet portem, usb portem a slotem na SD kartu [18]. Tento panel je kompatibilní s velkým množstvím různých PLC od mnoha výrobců, přímo s Foxtrotem však kompatibilní není.



Obrázek 13 Weintek 8070iH [18]

Výhoda přímé kompatibility je v tom, že panel pak může přímo nahlížet do registrů plc bez nějakého překladu, jak je tomu u modbus komunikace. Tzn, že struktura paměti, vstupů a výstupů je adresována totožně jak v plc, tak v panelu. Zde je nutno počítat s adresací tak, jak bylo

zmíněno v kapitole 4.1.1. Jedná se o případ, kdy například vstupní relé X0.0 odpovídá adrese 0x0000, relé X0.7 adrese 0x0007 a adresa X1.0 odpovídá adrese 0x0008. Při komunikaci s výrobcem však bylo vyrozuměno, že v příští verzi softwaru EasyBuilder 8000 bude nastavení adres, co se uživatelského hlediska týče, napraveno tak, aby to více odpovídalo typickému adresování v plc.

Nastavení komunikace panelu probíhá velmi jednoduše. V programovacím prostředí EasyBuilder 8000 se zadá port na který je linka připojena, jeho parametry (rychlost, parita atd.) a panel si pak už po úspěšném spojení s Foxtrotem řídí tok dat sám.

Ačkoliv software obsahuje svůj vlastní programovací jazyk pro vytvoření různých maker, v aplikaci se příliš takové řešení neosvědčilo a mnohdy bylo nutné i jednoduché sdružené hlášky, jako je například sumární porucha, kde pro zobrazenou výstrahu stačí, aby byla jeden z podružných hlášení aktivní, byly logicky řešeny v plc a ne v dotykovém panelu. Zjednodušeně řečeno, veškeré logické operace, sebevic jednoduché, musely být napsány ve Foxtrotu. Není to závada v pravém slova smyslu, obzvláště zde, kdy se přenáší minimum informací po lince, ale samotný program v plc by mohl být o některé řádky kratší.

4.5 Regulátor napětí

Jako regulátor napětí byl zvolen regulátor REG-DA od výrobce A.Eberle. Tento regulátor se stará o regulaci pomocí odboček na transformátorech 110kV. Jeho výhodou je, že mimo regulaci funguje jako převodník, zaznamenává časové průběhy veličin, lze vytvořit virtuální zapojení přípojnic včetně zapojených transformátorů, což je obzvláště vhodné pro paralelní chod [19]. Protože je regulátor relativně modulární, tak se při objednávce musí specifikovat verze, která je kompatibilní se zbytkem projektu, hlavně co se týče komunikace.

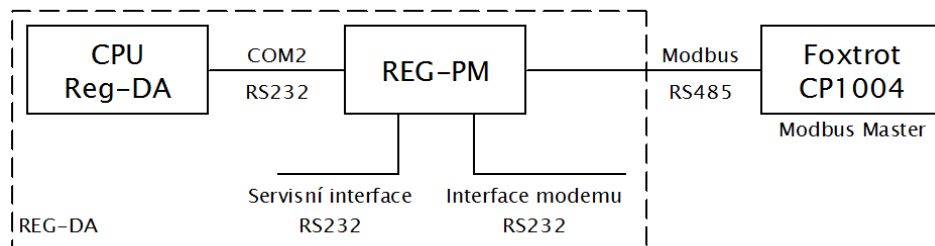


Obrázek 14 Regulátor napětí A-Eberle [20]

4.5.1 Nastavení komunikace regulátoru

Samotný regulátor je standardně vybaven sériovými porty COM1 a COM2. Z toho COM1 je použit nejčastěji pro spojení s PC pro nastavení přes klasický D-SUB konektor. COM2 je vnitřně

spojen s komunikační kartou REG-PM, která má svůj D-SUB konektor. Přes tento konektor se pomocí protokolu Telnet dají nastavit požadované hodnoty pro protokol Modbus. Topologie zapojení regulátoru je pro názornost tato:



Obrázek 15 Topologie REG-DA

Pro spojení s REG-PM je nutné použít následující parametry linky:

Rychlost	- 9600
Data bitů	- 8
Parita	- off
Stop bit	- 1
RTS/CTS	- auto

Pro nastavení desky je pak potřeba zadat příkaz `@mb_regd`, kde se nastaví tyto parametry:

Modbus transmission rate	- 19200
Modbus single adress	- 1
E-LAN-adress of device 1	- A (B pro T102 a T2)
Modbus address of device 1	- 1
Byte order	- 1234

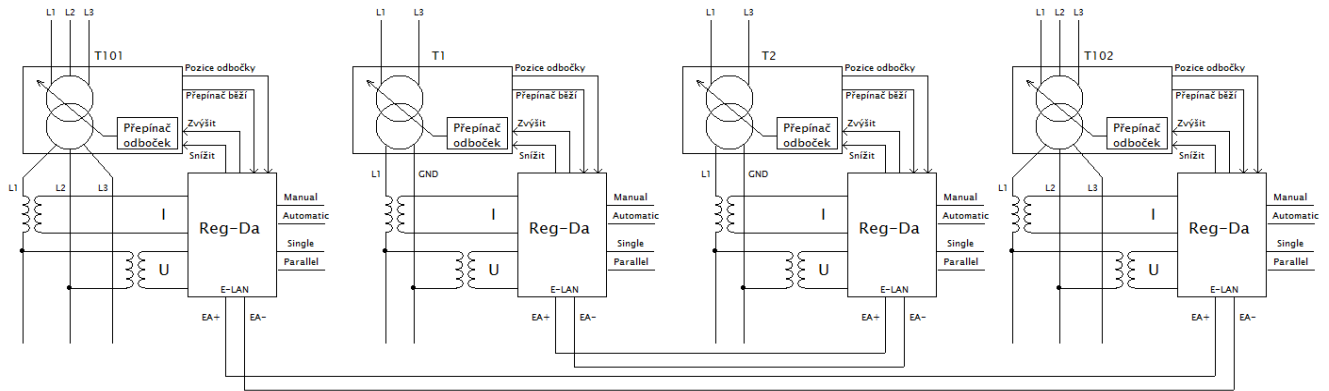
Ostatní parametry můžou zůstat defaultní. Dále pro nastavení linky RS485 slouží příkaz `@rs485`:

Termination	- 1
RTS/CTS-Control	- 1
Receive	- 0
Transmit	- 0

Po tomto nastavení a příkazu `save` je komunikační kanál nastaven a připraven pro použití.

Další komunikační kanál, který regulátor obsahuje je E-LAN, který je použit pro paralelní spolupráci regulátorů. Každý regulátor obsahuje dvě tyto rozhraní, které jsou regulátorem propojeny. Lze tak vytvářet zapojení více prvků a to i kruhové topologie. V případě TNS Nedakonice je použito pouze zapojení point to point, tedy je spojen pomocí E-LANu regulátor pro T101 s T102 a T1 s T2. Ačkoliv by bylo možné mít na jedné síti všechny čtyři regulátory, které by na sebe navzájem „viděli“, tak funkčně to nemá význam, protože T101 je úplně nezávislé na T1 nebo T2. Protokol používá vrstvu RS485 a tak bylo použito stejně jako u Modbusu dvoudrátového zapojení, zakončovací odpory u E-LANu má regulátor zabudované a

jsou dle nastavení připojeny. Nastavení je velmi jednoduché, vzhledem k spojení stejného výrobku není potřeba téměř žádné parametry měnit a lze je nechat ve výchozím stavu, kromě E-LAN adresy regulátorů, kde T101 a T1 mají adresu A a T102 a T2 mají adresu B. Baudrate E-LANu byla zvolena jako 62 500, stačila by i nižší rychlost, ale na tak krátkou vzdálenost a vzhledem ke spojení stejných výrobků se zde nepřepokládají nějaké komunikační chyby.



Obrázek 16 Principiální zapojení regulátorů

Registr	Bit	Význam	Registr	Bit	Význam
128	0	Status	129	0	Podpětí
	1	Overrun		1	Měnič odboček běží
	2	Paralel error		2	Zvyšování odbočky
	3	ELAN Error		3	Snižování odbočky
	4	Chyba regulátoru		4	Regulace dle primáru
	5	Manual / Auto	5	Regulace dle sekundéru	
	6	Single / Parallel	140	0 - 15	Stav binárních vstupů
	7	Local / Remote	141	0 - 15	Stav binárních vstupů
	8	Master	157	short	Napětí
	9	Slave	189	short	Pozice odbočky
	10	Přepětí	190	short	Nominální napětí
	11	Fast up	192	0 - 15	Stavové signály
	12	Fast down	233	short	Teplota oleje
	13	Podpětí	320	0	Povel ručně / auto
	14	Nadproud		1	Povel parallel / single
15	Podproud	12		Povel stop	
			13	Povel start	
		321	0	Povel odbočka nahoru	
			1	Povel odbočka dolů	

Tabulka 13 Přenášené informace Reg-DA

4.5.2 Nastavení regulace

Pro nastavení regulátoru lze použít jak zabudovaný display, tak programu připojeného na COM1. Zde je dobré podotknout, že překvapivě ne všechny parametry lze nastavit přes počítač a zároveň ne všechny parametry lze nastavit přímo na regulátoru. Nejzásadnějším parametrem, který nelze nastavit přímo na regulátoru, ale je potřeba počítačového softwaru, je inverzní logika

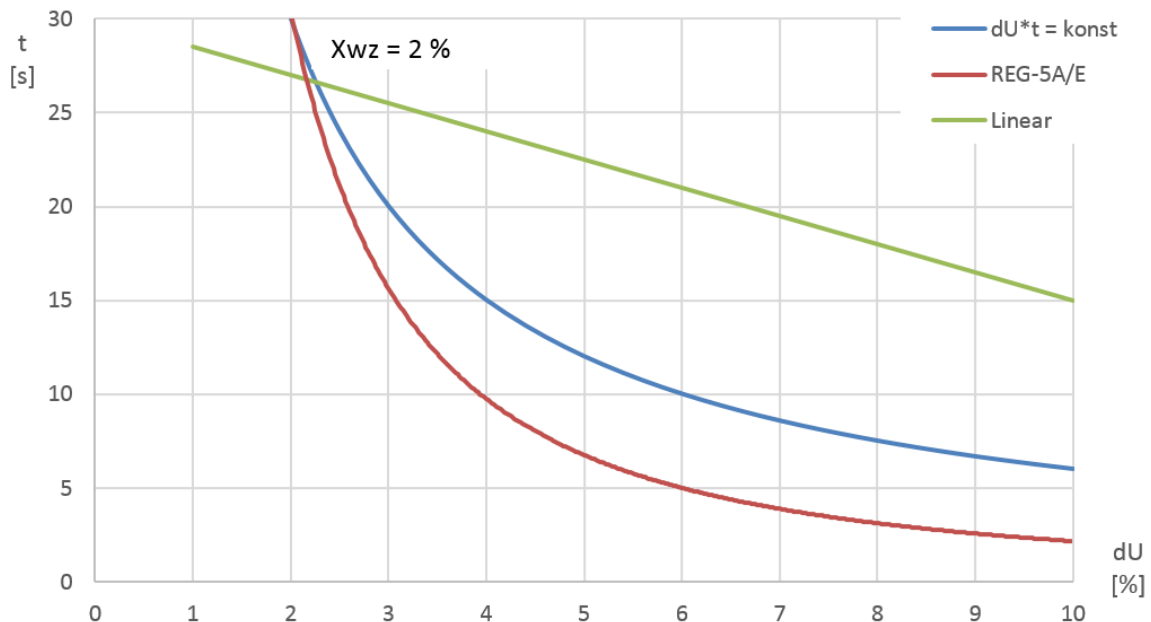
měnění odboček. Regulátor předpokládá, že vyšší odbočka je předpokladem pro vyšší napětí. U použitých transformátorů je chování inverzní, nižší odbočka znamená vyšší napětí. Pokud se tento parametr nenastaví přes software a pouze se přehodí signály vedoucí na povelové relé, regulátor přestane v automatickém režimu běžet, protože kontroluje reakci napětí na změnu odbočky. Základním nastavením je pochopitelně napětí, které má být považováno jako nominální. U T101 a T102 je tomu 23kV a u T1 a T2 je nastaveno 27kV a tomu korektně nastavené napěťové a proudové převody měřících transformátorů. Dalším nastavením je přípustná regulační odchylka, která je jednak daná požadavkem na napěťovou toleranci na sekundární straně a také procentuální změnou napětí při změně odbočky.

Za minimální možnou hodnotu lze považovat (vše v procentech):

$$X_{Wz} \geq 0,6 \cdot \text{změna napětí na odbočku} \quad (1.60)$$

Kde změna napětí na odbočku jsou 2% a konstanta 0,6 byla nahrazena přímo rovno jedné.

Toto nastavení je použito pro všechny regulátory. Dále jeden z podstatných parametrů je chování regulátoru v čase. Pochopitelně nejideálnější stav by byl ten, kdy by regulátor nemusel do sítě zasahovat vůbec, a to jak z důvodu opotřebení přepínače odboček tak i stability sítě. Ideální stav by byl takový, kdy při velkých poklesech regulátor zasáhne co nejrychleji a při malých setrvá v dané odbočce, nebo zareaguje až za delší dobu. Problém této logiky nastává u trakce 27kV, kde krátkodobě klesá napětí na přípojnicích o jednotky kilovolt a regulátor pak má tendenci regulovat ještě dříve, než tento krátkodobý pokles (způsobený nejčastěji rozjezdem lokomotivy, a to je přechodný děj na který není obvykle potřeba reagovat) odezní.



Graf 24 Chování regulátoru při různých režimech [20]

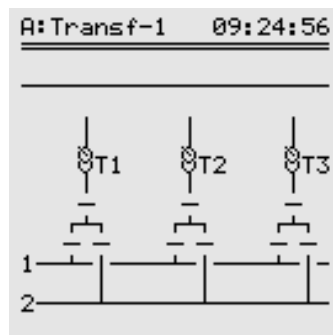
Pro přípustnou regulační odchylku 2% je doba regulace, při různých procentuálních odchylkách napětí od nastavené hodnoty, zobrazena v Graf 24. Pro transformátory napájející větve stejnosměrné trakce byl zvolen režim REG-5A/E a pro transformátory napájející střídavou trakci je zvolen lineární režim.

Další podstatné nastavení je paralelní chod transformátorů. Režimy, které regulátor podporuje, jsou tyto:

- $\Delta I \sin\varphi$ – minimalizace cirkulačního proudu mezi transformátory. Všechny transformátory by v tomto režimu měly mít ideálně stejný výkon a také stejné napětí nakrátko.
- $\Delta I \sin\varphi (S)$ - minimalizace cirkulačního proudu mezi transformátory různého výkonu.
- Master-Slave – všechny slave stanice přesně kopírují změny odboček mastera
- $\Delta \cos\varphi$ - minimalizace cirkulačního proudu v případě, že není možná komunikace přes E-LAN
- MSI – Master-Slave-Independent. Podobné jak Master-Slave s rozdílem toho, že nejprve slave stanice se automaticky dorovnají na stejnou odbočku jako má master. Poté je funkce totožná jako Master-Slave

Protože je každá dvojice transformátorů téměř totožná, jeví se celkem vhodná volba režimu MSI. Univerzálnější je však režim minimalizace cirkulačního proudu, tzn. hned první zmíněný program.

Další funkcí pro korektní paralelní chod transformátorů je nastavení režimu Paragramer. Tento režim umožňuje vytvořit virtuální jednopólové schéma vn části včetně odpojovačů a vypínačů a to tak, aby se automaticky zapíнал paralelní chod v případě správné konfigurace odpojovačů a vypínačů. V případě napájení jak stejnosměrné tak střídavé trakce lze z jednopólových schémat vidět, že transformátory prakticky napájí vždy jen jednu přípojnicí, takže nastavení paragrameru je relativně jednoduché. Nastavit se v zásadě musí (pro režim $\Delta I \sin\varphi$) maximální cirkulační proud mezi transformátory, mít správně „zadrátované“ stavy z odpojovačů a vypínačů do regulátoru, počet spolupracujících transformátorů a maximální limit difference odboček transformátorů. Za zmínku stojí stav, kdy i při zdánlivě korektním nastavení jdou jednotlivé odbočky v automatickém režimu „od sebe“. Regulátor se snaží zmenšit cirkulační proud dorovnáním odboček obou strojů, ale proud se při každé změny odbočky naopak pořád zvětšuje. Důvodem je nejčastěji nerespektování polarity při zapojení vodičů z měřícího transformátoru do regulátoru a prakticky se dá zjistit až při paralelním chodu, kdy je nutné sledovat hodnoty proudu (v single režimu se obvykle proud na regulátoru nesleduje, nebo nebývá vůbec zapojený). Regulátor v tomto případě dává opačné povely než by bylo logické.



Obrázek 17 Příklad schéma v režimu Paragramer [20]

4.6 Funkce programu

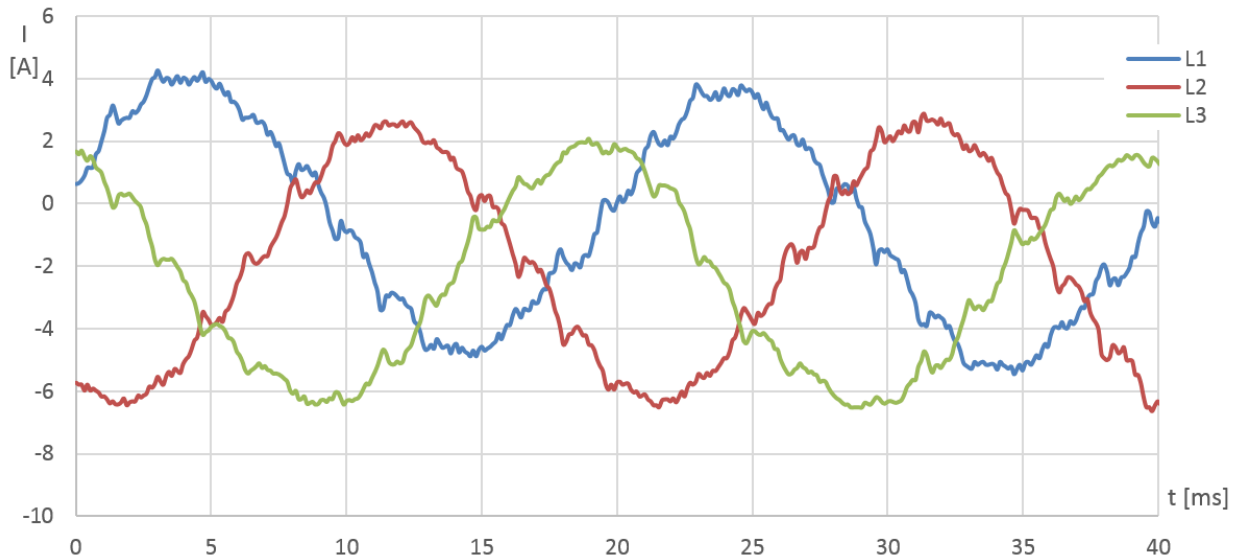
Navržený relativně jednoduchý program měl za úkol ukázat zbytečnost použití energetického protokolu pro dálkové řízení a měření IEC 60870-5-104 pro komunikaci ve vnitřní síti. Program obsahuje základní logiku řízení jednoho rozvaděče tak, že cyklicky sbírá požadovaná data z podřízených stanic a vydává nebo blokuje povely, pokud je to nutné. Všechny parametry pak seřadí do sledu registrů, aby nadřízené PLC mělo sběr dat co nejjednodušší. Za předpokladu topologie stanice čistě v provedení jednoho komunikačního protokolu, například Modbusu nebo i velmi rozšířeného Profibusu, by bylo možno komunikační topologii zcela změnit. Stávající stav, kdy každý typ zařízení (převodník, regulátor, HMI) má vyhrazený svůj komunikační kanál Foxtrotu, je sice velmi odolný vůči poruchám, ale podobné odolnosti by bylo možno dosáhnout i za použití jiné topologie, například, kdy by všechny prvky stejného typu byly na jedné sběrnici. Takto by sice každý rozvaděč ztratil svoji nezávislost nad nadřazeným prvkem, v plném provozu však stav kdy by byla přerušena linka s nadřazeným PLC prakticky nenastává. Nadřízené PLC by mohlo při svém vyšším výkonu rovnou sbírat data ze všech prvků a v zásadě by zanikla nutnost pro použití Foxtrotu tak, jak je tomu ve stávajícím provedení.

5 MĚŘENÍ CHODU TRAFOSTANICE

Měření bylo provedeno k verifikaci vytvořeného matematického modelu. Celkem proběhlo dvanáct měření respektive šest měření bez zátěže a šest se zátěží.

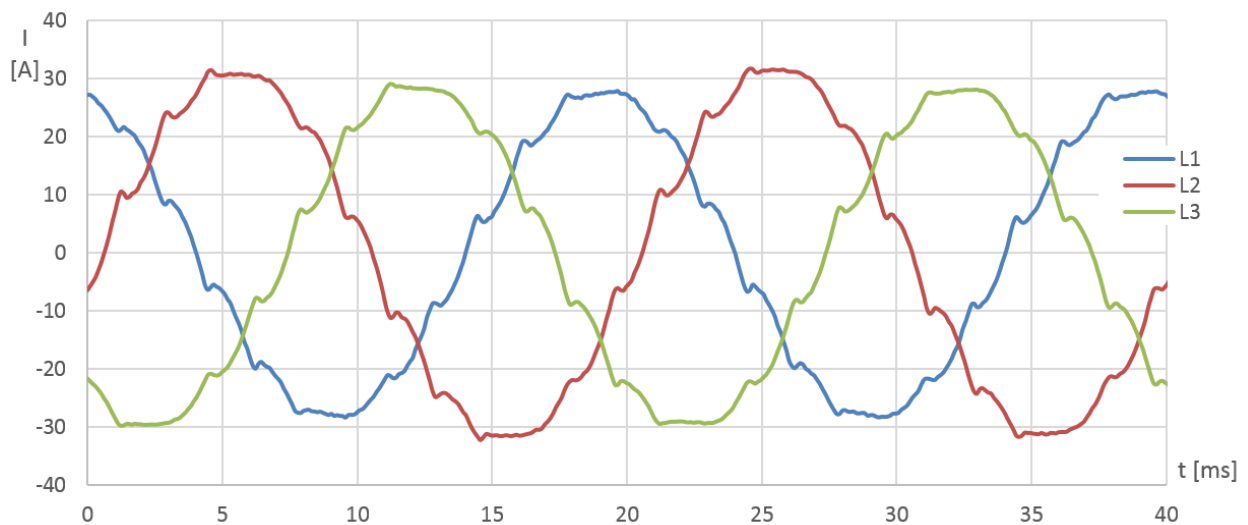
5.1 Větev pro napájení 3kV

Jako první byl změřen chod s odběrem o výkonu $P \cong 550kW$. Místa měření jsou stejné v jako v simulaci.



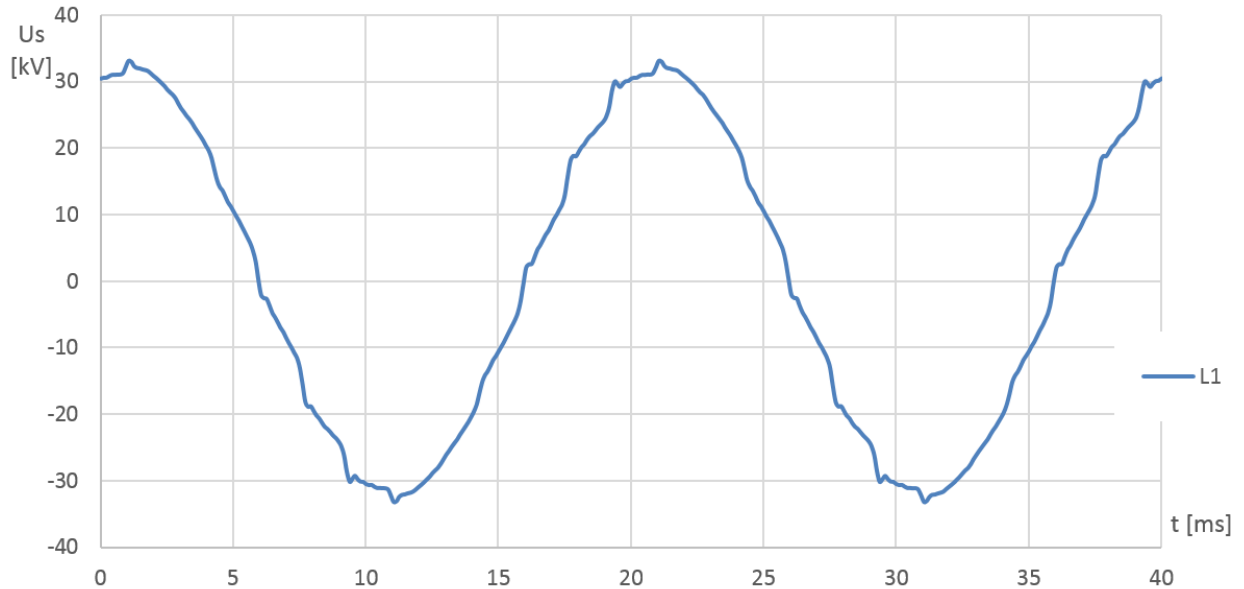
Graf 25 Měření s malým odběrem AEA4

Z grafu lze vidět, že průběhy jsou obdobné těm simulovaným s rozdílem většího zarušení vyššími harmonickými a také zápaly jednotlivých sekcí diod, které se projeví jako proudové špičky v průbězích. Jinak je výsledek v korelaci se simulací. Níže je uveden průběh s odběrem $P \cong 4MW$, kde je vliv zarušení znatelně menší z důvodu vyššího proudového odběru a tvar průběhů je téměř totožný jako udává simulace.



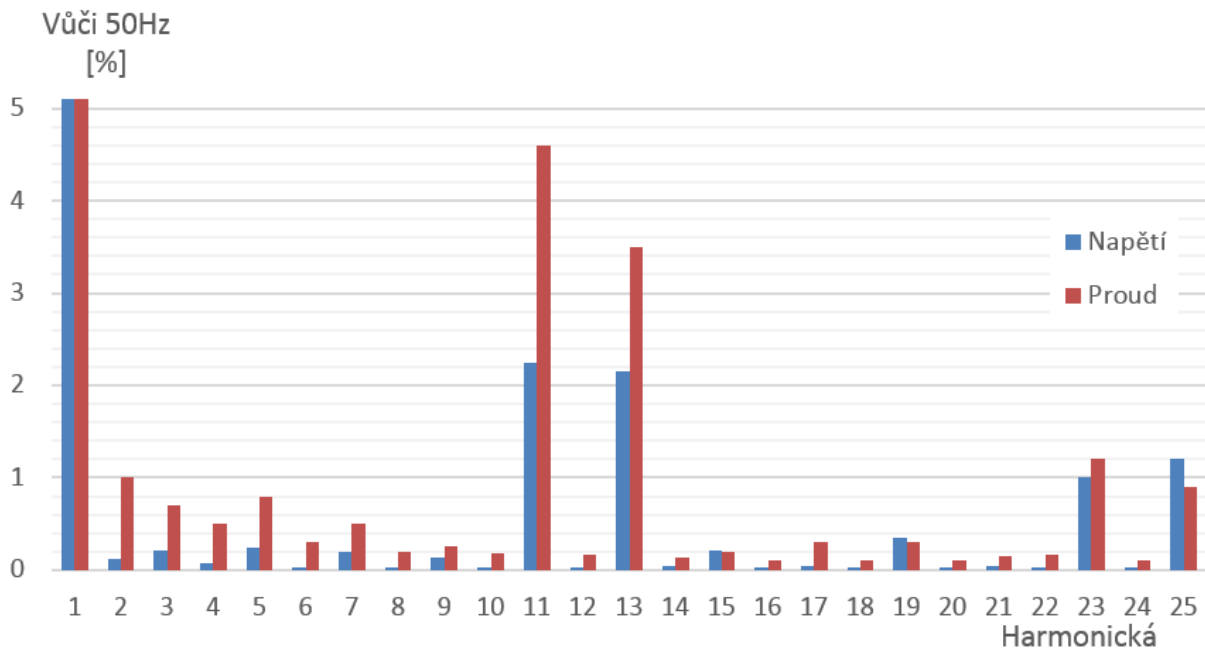
Graf 26 Měření se zátěží na AEA4

Na straně 22kV je tvar průběhů proudů bez zátěže a se zátěží téměř totožný jako má Graf 25 a Graf 26. Napětí je zde však zkresleno, takže je uvedeno. Je uvedena pouze jedna fáze kde lze pozorovat stejně jako v simulaci napěťové špičky při zápalu jednotlivých diodových sekcí. Průběh je pro výkon $P \cong 5MW$.



Graf 27 Zkreslení napětí 23kV

Rozklad na harmonické pro průběh v Graf 27 a také pro jemu odpovídající proud (nevykreslen):



Graf 28 Rozklad na harmonické pro 23kV

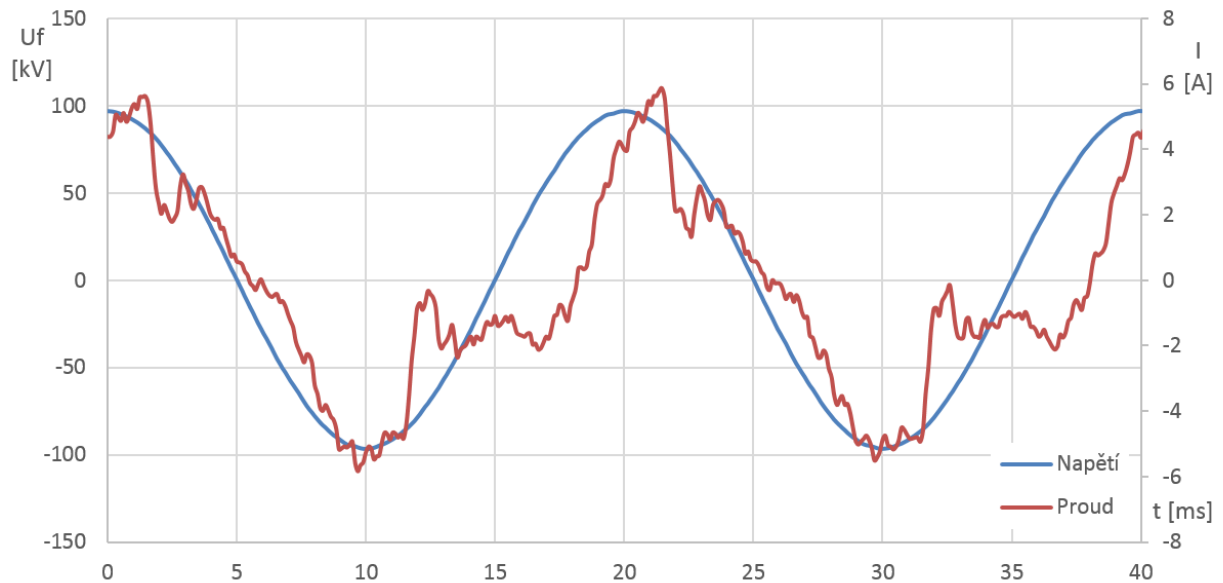
Zkreslení je minimální, stejně jako v simulaci. Více se vyskytují harmonické typické pro dvanáctipulzní usměrňování, tedy hlavně jedenáctá a třináctá.

5.2 Větev pro napájení 27kV

Měřeno bylo jak se zapnutým FKZ tak vypnutém a to ve stavech při malém odběru přibližně do jedné megawatty a také při větší zátěži.

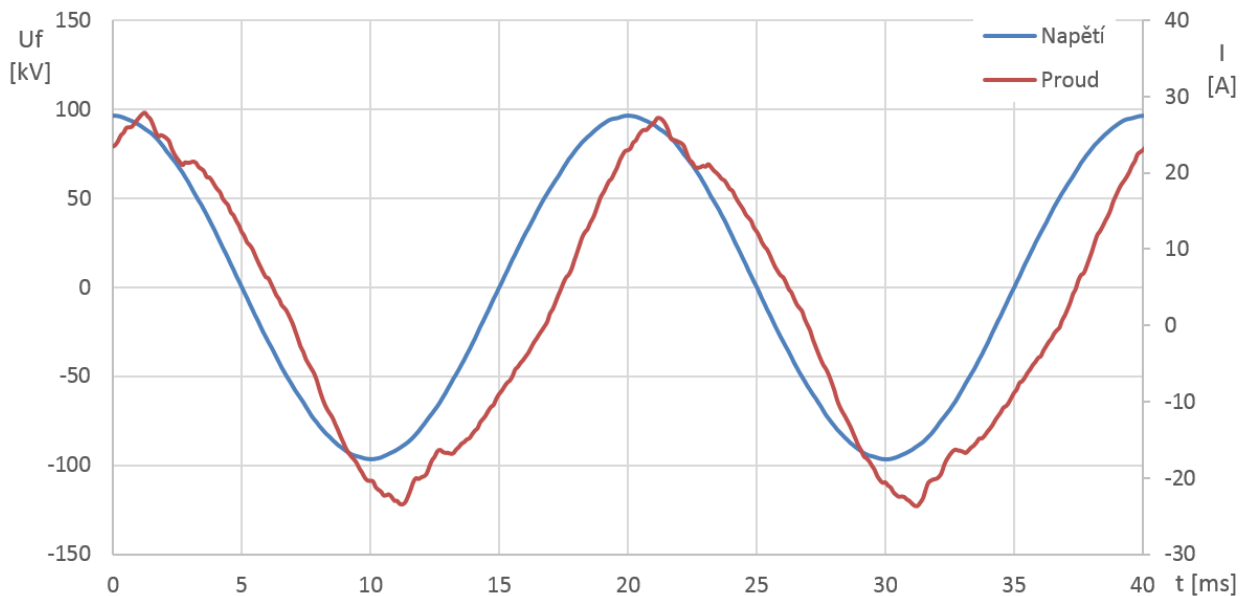
5.2.1 Zapnuté FKZ

Odběr o hodnotě $P \cong 250kW$ měřen v místě AEA6 vypadá následovně:

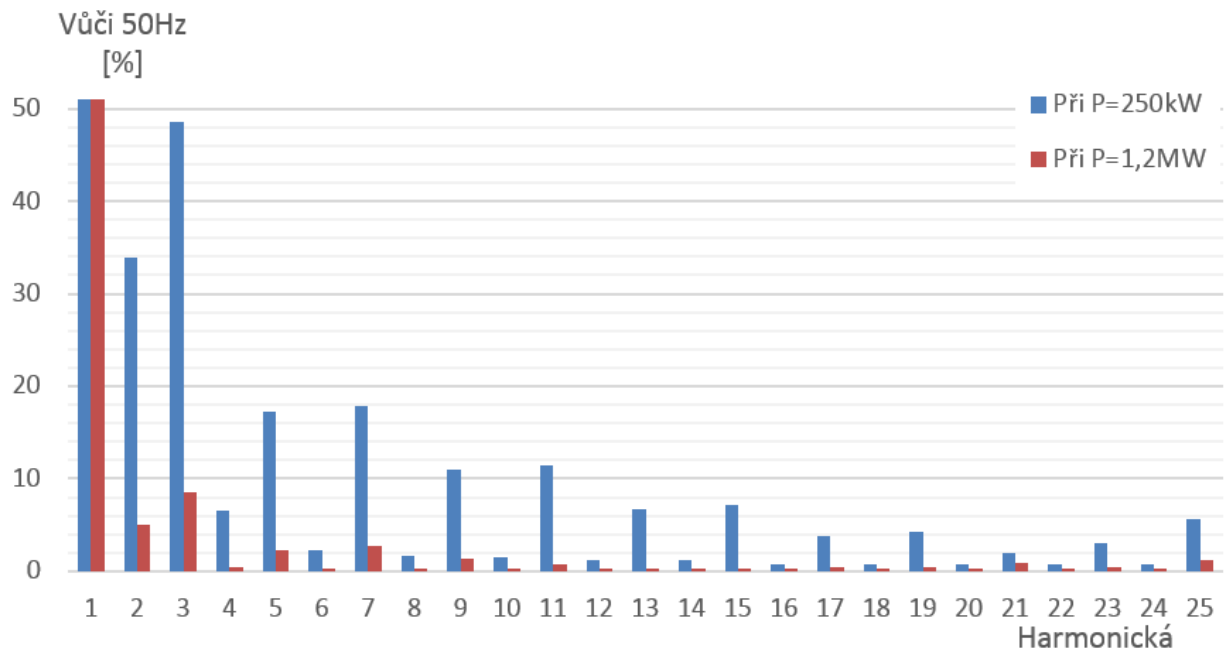


Graf 29 Měření s malým odběrem AEA6

Při malém odběru jako je tento, lze pozorovat relativně značné zkreslení proudu, který je však stále ve fázi s napětím, účinník má hodnotu $\cos\varphi = 0,97$ a opravdový účinník $\cos\varphi_{ekv} = 0,7$. Pro větší zátěž už je odběr více sinusový a obsahuje méně harmonických, účinník se tak přibližně rovná opravdovému účinníku, ale nedosahuje požadovaných limitů. Jeho hodnota je $\cos\varphi = 0,88$.

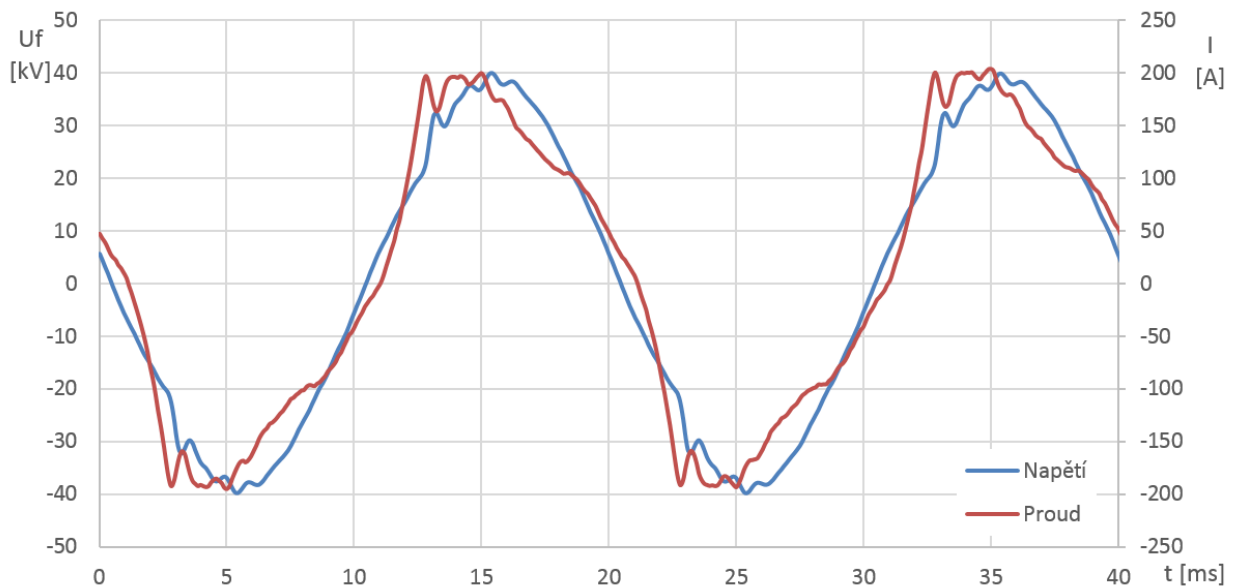


Graf 30 AEA6 s odběrem přibližně 1,2MW



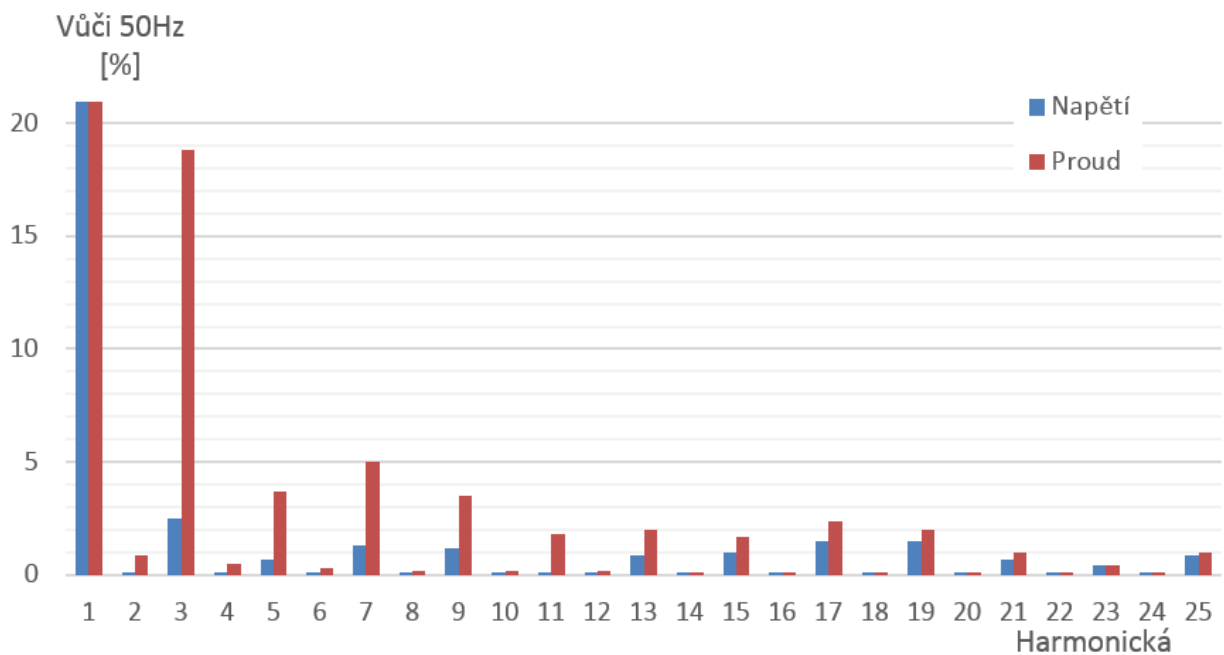
Graf 31 Rozklad na harmonické pro Graf 29 a Graf 30

Na straně 27kV se začne více projevovat zvlnění napětí. Protože zde není jiný odběr než trakce, tvar proudu zůstává prakticky nezměněn. Pro toto napětí byl změřen odběr $P \cong 3,5MW$:



Graf 32 Průběh veličin na 27kV při $P \cong 3,5MW$

Lze vidět, že při větším zatížení má proud tendenci vytvořit klasické obdélníkové průběhy typické pro dvoupulzní usměrňování s velkou indukčností, zapnuté FKZ však průběh vylepšuje a také zpoždění proudu za napětím je minimální, účinník dosahuje hodnoty $\cos\varphi = 0,98$.

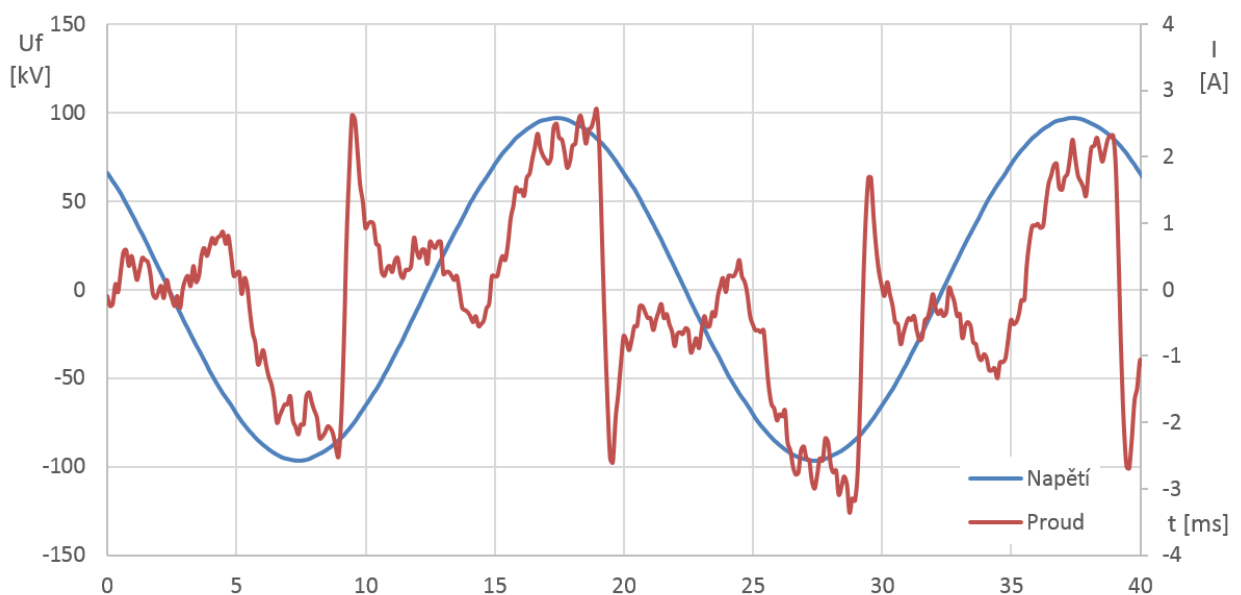


Graf 33 Rozklad na harmonické pro Graf 32

Lze vidět, že v síti se stále velmi silně vyskytuje třetí harmonická a to i přes to, že stálý výkon této větve je $Q_{3hm} = 1,8MVar$. Pro lepší filtraci by bylo potřeba zavést ještě větší jalový výkon.

5.2.2 Vypnuté FKZ

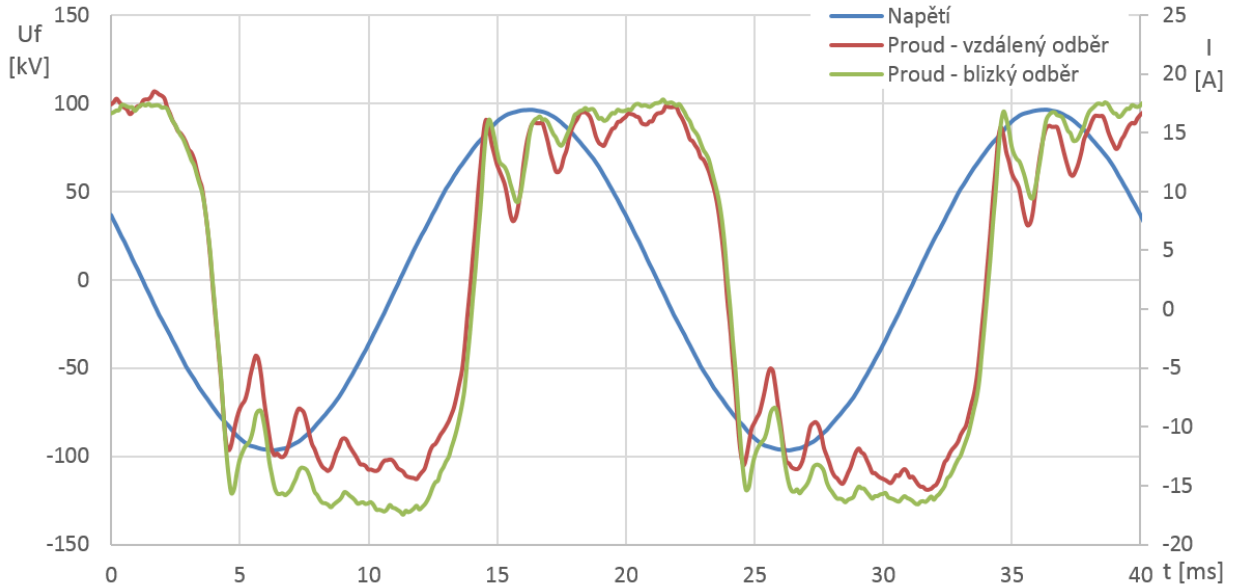
Stejně jako v simulaci byly změřeny dva stavy, a to při malém odběru a také při vysokém. V simulaci bylo vidět, že pro malý odběr nastává velmi intenzivní vznik vyšších harmonických proudů, ale účinník zůstává pořád v požadovaném rozmezí. Oba průběhy byly změřeny v poli AEA6.



Graf 34 Vypnuté FKZ - malý odběr

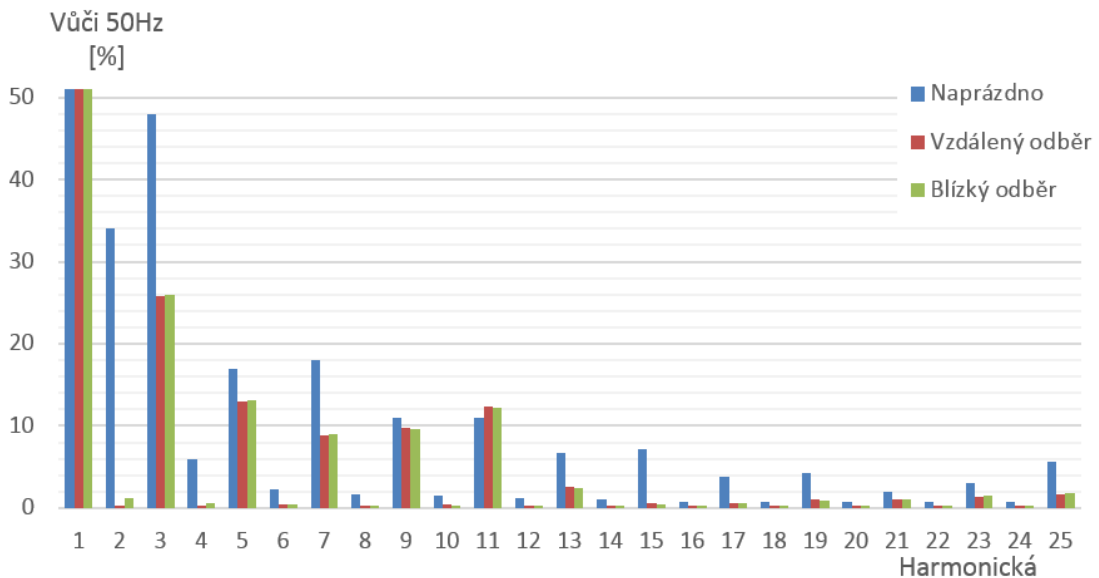
Deformace proudu je značná, účinník dosahuje hodnoty $\cos\varphi = 0,995$ a opravdový účinník přibližně $\cos\varphi_{ekv} \cong 0,52$.

Pro odběr přibližně $S = 1,6 \text{ MVA}$ je pak tvar opět podobný jako v simulaci:



Graf 35 Vypnuté FKZ – větší odběr

Posunutí proudu za napětím je zde markantní a účinník dosahuje hodnoty $\cos\varphi = 0,61$ a $\cos\varphi_{ekv} = 0,575$ pro vzdálený odběr, pro blízký odběr je $\cos\varphi = 0,62$ a $\cos\varphi_{ekv} = 0,59$. Větší zvlnění je při vzdáleném odběru způsobeno vlastní rezonanční frekvencí trakčního vedení.

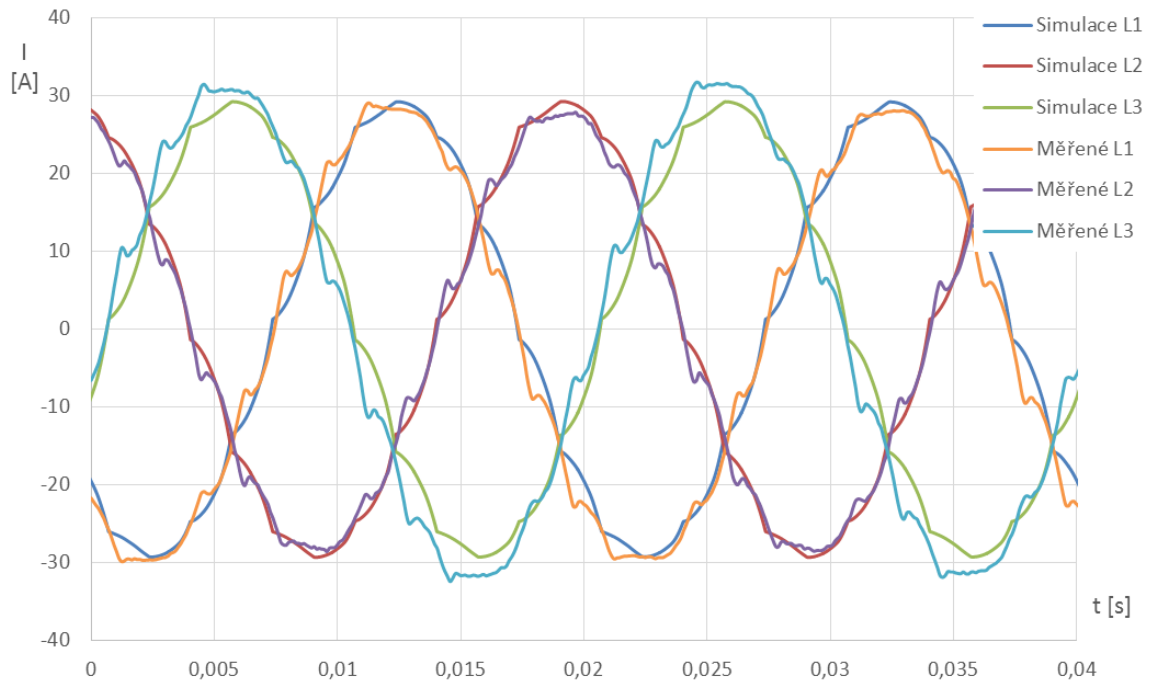


Graf 36 Harmonické proudu pro vypnuté FKZ

Z rozkladu na harmonické pro výše uvedené průběhy je zřetelné, že nejvíce je zarušená síť při malém odběru, typicky do 300kW. Za zmínku stojí to, že v takovém stavu je zarušení sítě téměř identické (co se týče rozkladu na harmonické, ne tvaru průběhů) se stavem, kdy je filtračně kompenzační zařízení zapnuto.

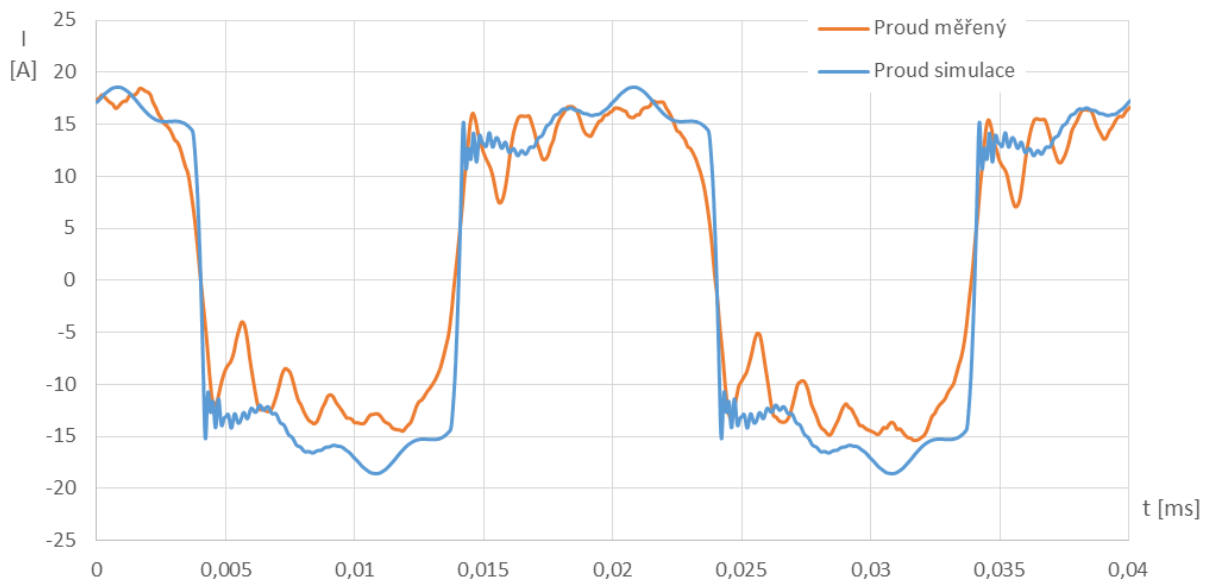
5.3 Srovnání se simulací

Pro názornost byla simulace nastavena na totožné hodnoty výkonu a to jak u napájení stejnosměrné trakce, tak střídavé. Pro místo AEA4, tzn. napájení transformátoru T101, při odebraném výkonu $S = 4MVA$ jsou zobrazeny proudy:



Graf 37 Srovnání simulace s měřením - AEA4

Reálný průběh je více zkreslený a také lze pozorovat mírné posunutí zápalu sekcí diod. Také je znatelný proudový překmit při přechodu diody z propustného do závěrného směru. Model diody v Simulinku s tímto jevem nepočítá, takže je průběh znatelně více hladký.

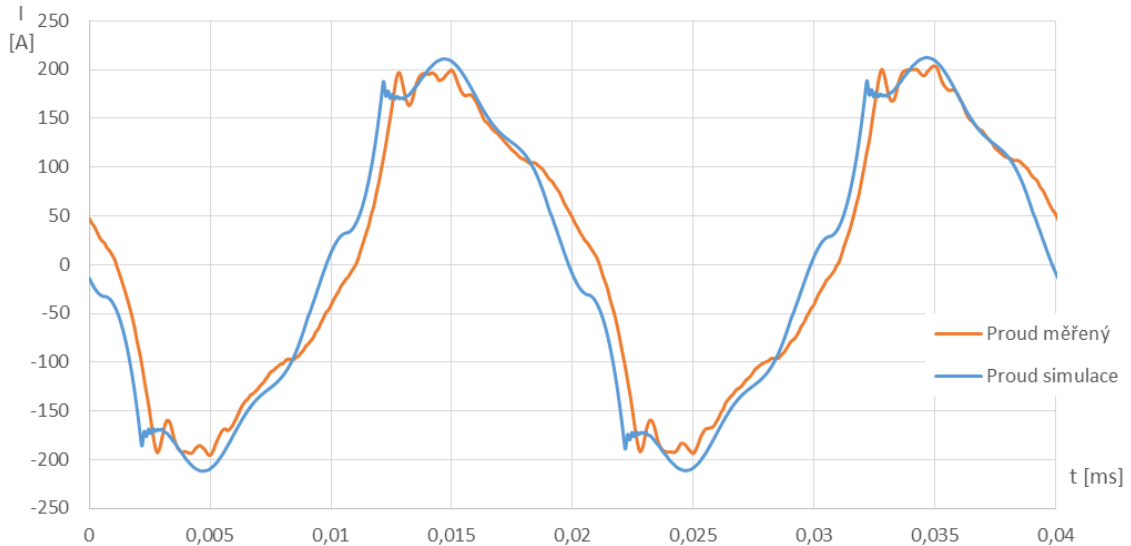


Obrázek 18 Srovnání simulace s měřením bez FKZ – AEA6

Porovnání na střídavé straně je více problematické, protože více zaleží na použitém modelu představující lokomotivu. Stejně jako v minulých kapitolách, je nejdřív vykreslen pro porovnání

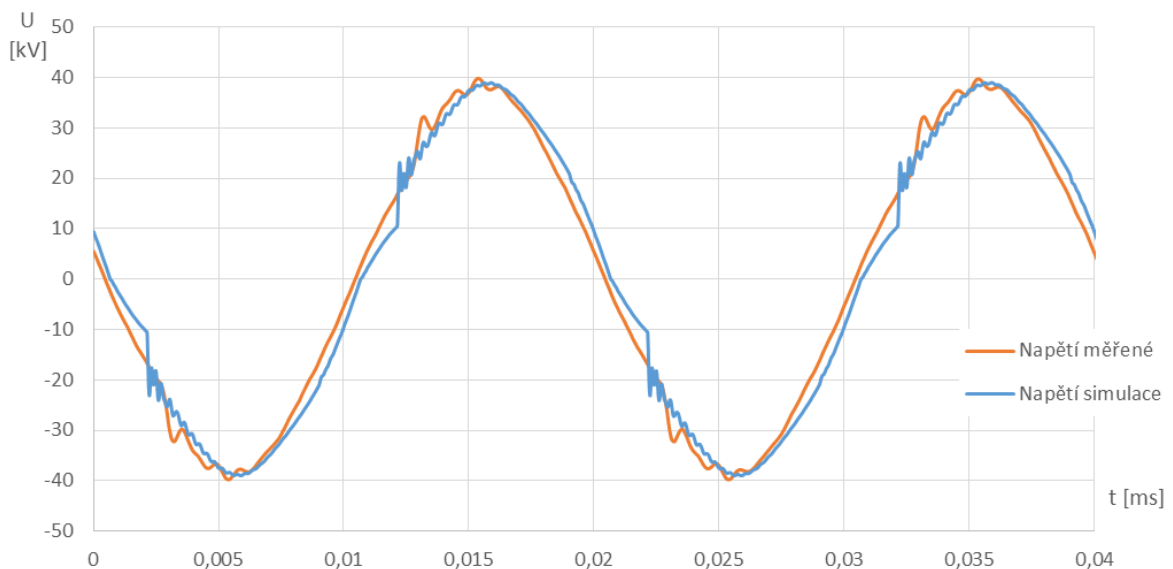
průběh proudů při vypnutém FKZ. Aby bylo porovnání co nejpřesnější, není použit model lokomotivy 242, kde je simulovaný průběh téměř obdélníkového charakteru bez kmitání, ale model lokomotivy 363 [11], která obsahuje více prvků. Výkonově jsou si oba průběhy podobné, přibližně

$S = 1,6 \text{ MVA}$. Reálný průběh má větší tendenci ke kmitům, simulovaný méně z důvodu znatelného zjednodušení schématu lokomotivy 363. I tak se dá tvrdit, že je simulace věrná realitě.



Graf 38 Srovnání simulace s měřením – 27kV, proud, zapnuté FKZ

Při měření na napěťové hladině 27kV se zapnutým FKZ vycházejí pro výkon $S \cong 3,6 \text{ MVA}$ velmi podobné průběhy. Reálný odběr je opět více zarušený oproti modelovému, ale tvarově odpovídá tomu simulovanému. Pro zapnuté FKZ je vhodné navíc porovnat i tvar napětí. Důvodem je deformace napětí vlivem spínání tyristorů dekompenzační sekce.



Graf 39 Srovnání simulace s měřením – 27kV, napětí, zapnuté FKZ

Tvar je velmi podobný měření. Jedním z rozdílů je menší účinník v simulaci, v měření dosahovalo účinníku prakticky rovnému jedné, v simulaci je regulace nastavena na hodnotu $\cos\varphi = 0,95$.

K porovnání úbytku napětí při různých trakčních odběrech byla vytvořena níže uvedená Tabulka 14. Chyba napětí simulace proti naměřeným hodnotám dosahuje maximálně jednoho procenta. Pro představu je také uveden nezměřený odběr o výkonu $S = 12,5$ MVA jemu odpovídající napětí v simulaci.

	S_{req} [MVA]	U_{sim} [kV]	U_{real} [kV]	Δ_u [kV]	δ_u [%]
Síť 23kV	0,1	23	23,06	-0,06	-0,26
	4	22,6	22,79	-0,19	-0,83
	12,5	22,21	-	-	-
Síť 27kV	0,1	27	26,92	0,08	0,30
	3,6	26,6	26,85	-0,25	-0,93
	12,5	25,3	-	-	-

Tabulka 14 Porovnání napětí simulace s měřením

- Kde S_{req} – požadovaná (změřená) velikost trakčního odběru
 U_{sim} – napětí v simulaci
 U_{real} – změřené napětí
 Δ_u – absolutní chyba
 δ_u – relativní chyba

5.3.1 Dodatek k výpočtu a porovnání

Problémem pro simulaci jak ustálených tak přechodných dějů je časová náročnost výpočtu. Pro tak komplexní systém bylo nutné ve výpočetním systému použít výpočtový krok času $5\mu s$. Při větším časovém kroku docházelo k divergenci výpočtu. Výrobce softwaru Matlab pro tak komplexní systémy, jako je tento přímo doporučuje použití diskretizace [7]. Použití diskrétního času řeší Matlab pomocí dvou solverů a to Tustin nebo Backward Euler. Tustin obvykle dává lepší výsledky a při použití v simulacích tomu ze začátku bylo i v diplomové práci. Po porovnání s naměřenými údaji se však ukázalo, že tento solver má velkou tendenci k výrobě oscilací, zatímco Backward Euler osciloval ztelně méně. Ale použití Eulera také není ideální, protože v některých případech (zejména v síti 27kV) byly oscilace až moc utlumené. Dá se říct, že pro systémy, které obsahují polovodiče ať už spínané, nebo ne, je vhodnější Backward Euler, pro systémy bez polovodičů, zejména transformátorů, linek a motorů je vhodnější Tustin. Nakonec jsou všechny průběhy vypočítané při použití solveru Backward Euler, kvůli rychlosti při výpočtu dvanáctipulzního usměrňovače při standardním kroku, solver Tustin vyžadoval mnohem jemnější krok výpočtu a neúměrně prodlužoval délku výpočtu. Samotné porovnání obou solverů nebylo součástí diplomové práce, tato informace je však užitečná pro další práci.

ZÁVĚR

Diplomová práce vznikla z poptávky výzkumu, zdali je možné simulovat tak komplexní soustavu prvků, jako je trakční napájecí stanice a mít takový model co nejvíce univerzální, aby se dal použít na libovolnou napájecí stanici s libovolnými vstupními parametry. Ačkoliv jsou výpočty pro zjištění veličin, jako je napětí a proud při různém zatížení trakce známy, má simulace včetně jejího grafického výstupu vyšší vypovídací hodnotu. Dále byla řešena otázka nastavení paralelního chodu regulátorů a možného nahrazení standardu IEC 60870-5-104, který se běžně používá pro vzdálenou správu a bývá v měřicích někdy bohužel použit i na místní komunikace, řízení a přenos dat, protokolem Modbus.

Při porovnání výsledků simulací s naměřenými průběhy napájecí stanice je patrné, že simulace je velmi blízká realitě a to jak při simulaci ustálených dějů, na které je práce zaměřena, tak při testování dějů přechodných. Protože od začátku tvorby simulace byl předpoklad pro budoucí použití pro další napájecí stanice s jinými parametry, například se znatelně menším zkratovým výkonem nadřazené sítě, nebo při použití transformátorů vyšších výkonu, je model tvořen jako co nejvíce parametrický. Pro výpočet hodnot parametrů dílčích částí měřicího nebo napájecí stanice slouží jednoduchý program v excelu, který při zadání štítkových parametrů transformátorů vypočítá hodnoty podélných a příčných parametrů náhradního schématu do vhodného formátu a vložení do modelu v Matlabu.

Kapitola o nastavení o komunikaci a nastavením všech přístrojů na komunikaci se podílejících je znatelným přínosem pro vzhled do problematiky. Uvedený program dokazuje, že stejné rychlosti a vyšší spolehlivosti je při komunikaci s nadřazeným systémem dosaženo použitím protokolu Modbus. Nejzásadnějším argumentem proti IEC protokolu je typická cena při požadovaném naprogramování a také jeho zbytečná složitost při použití na pouhý přenos relativně mála dat, když žádné data nejsou prioritizovány a nejsou požadované časové záznamy povelů nebo chyb v řádech milisekund.

Použitím nového regulátoru lze bezproblémově řídit připojování a provoz dvou transformátorů paralelně tak, aby bylo dosaženo úsporného, a bezproblémového chodu napájecí stanice. Bylo nastaveno a ověřeno, že tento chod je funkční, nemohl však být změřen z důvodu pozdního spuštění celé napájecí stanice vzhledem k době psaní této práce. I když simulace pochopitelně také paralelní chod podporuje, tak z důvodu nemožnosti porovnání není uvedena. Nastavení paralelního chodu je v současné době provedeno v režimu MSI. Tento stav, ačkoliv plně funkční, bude v nejbližší době nahrazen režimem pro minimalizaci cirkulačního proudu, jak je uvedeno v práci dle připravených parametrů, které jsou uvedeny v příloze (je uvedeno pouze T101 a T1, pro T102 a T2 je nastavení téměř identické). Důvod, proč nebyl plně nastaven tento režim hned, je nutnost provozní výluky napájecí stanice pro korektní nastavení a odzkoušení tohoto chodu.

Všechny body zadání tak byly plně splněny, některé i nad rámec samotného zadání. Výsledky práce mají předpoklad pro budoucí použití, ať už simulace ověřená měřením, nebo návrh inovovaného řešení komunikace a nastavení napěťových regulátorů. Znalosti získané při nastavování jednotlivých prvků v praxi a jejich „debugging“ je velkým přínosem do budoucna.

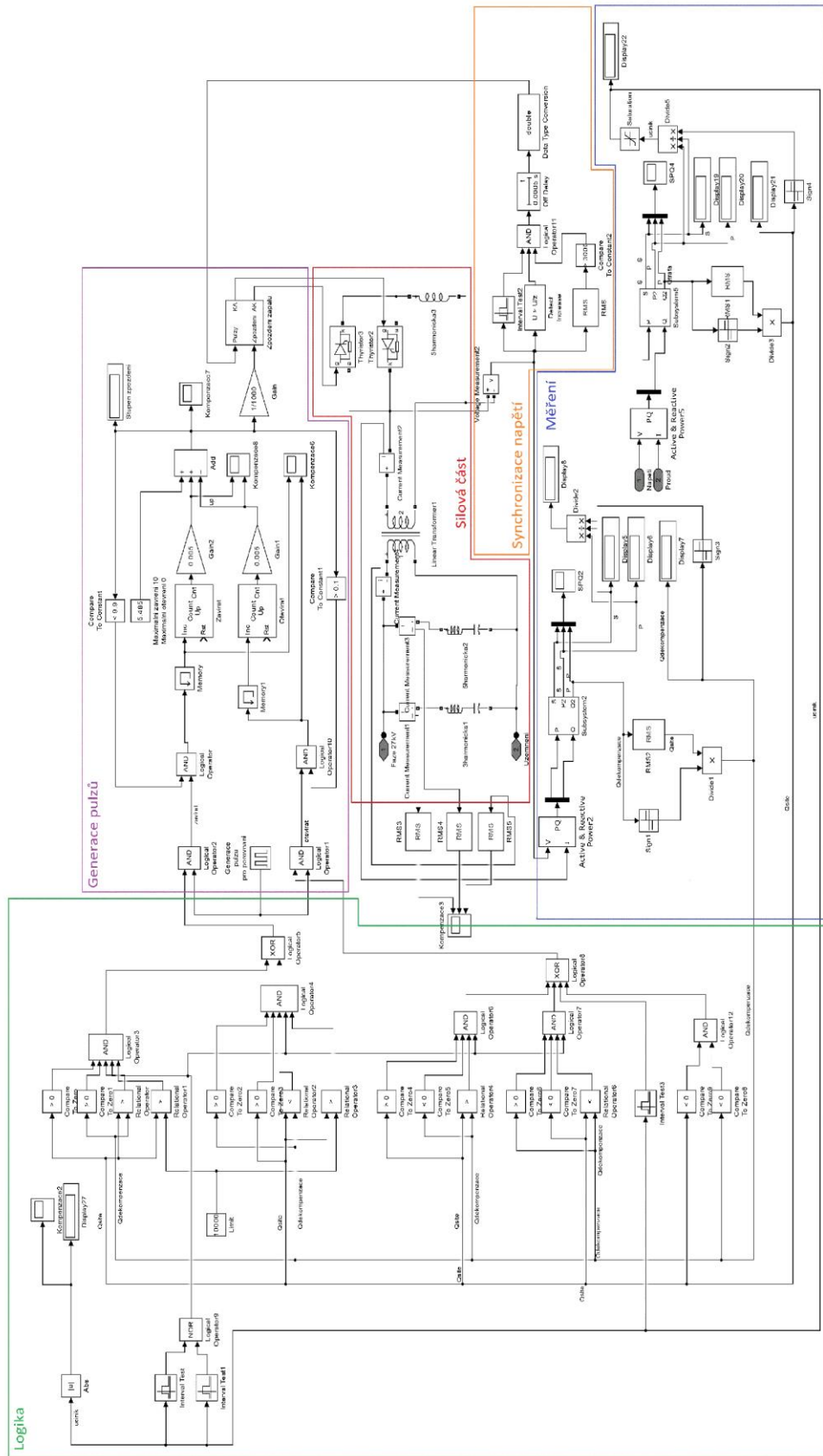
LITERATURA

- [1] ČSN EN 50163 ed. 2. *Drážní zařízení: Napájecí napětí trakčních soustav*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [2] ČSN 33 3505 ed. 2. *Drážní zařízení: Pevná trakční zařízení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [3] SŽDC A.S. *Jednopolové schéma KNS Nedakonice*. Olomouc, 2013.
- [4] FEJT, Jiří. *Pevná trakční zařízení: (elektrické proudové soustavy, napájecí stanice, trakční vedení) : učební text pro 4. ročník studijního oboru 101-03/2 elektrická trakce a elektroenergetika v dopravě*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1966, 269 s.
- [5] FEJT, Jiří a Jiří RÝDLO. *Střídavá trakce*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1969, 285 s.
- [6] ČSN EN 60909-0 (33 3022):2002, Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – Část 0: Výpočet proudů
- [7] Simulating Discretized Electrical Systems. *Mathworks* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/phymod/sps/powersys/ug/simulating-discretized-electrical-systems.html;jsessionid=a1db6a72bfc98d3e39c5f9017683>
- [8] ČSD. *Zkratové poměry halové měnárny: TNS Nedakonice*. Praha, 1983.
- [9] ZOUBEK, Zdeněk a Jiří MĚŘIČKA. *Elektrické stroje*. 3. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1982, 295 s.
- [10] ŠKODA. *Hlavní obvody: Lo 9080 P*. Přerov, 1973.
- [11] ČSD. *Funkční popis elektrotechnických obvodů dvou Proudové lokomotivy: ES 499.1, Lo 11051P/a*. Přerov, 1985.
- [12] ŠKODA. *Zapojení hlavních obvodů: 73E2, Lo 9648P*. Praha, 1977.
- [13] Modbus. *Wikipedia* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Modbus>
- [14] RS-485. *Wikipedia* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/EIA-485>
- [15] CP-1004. *Tecomat* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.tecomat.com/clanek-292-cp-1004.html>
- [16] Mosaic (SW). *Tecomat* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.tecomat.com/kategorie-311-mosaic-sw.html>
- [17] Sineax DME 401. *Gossenmetrawatt* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.gossenmetrawatt.com/english/produkte/sineaxdme401.htm>
- [18] MT8070iH. *Weintekhmi* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://weintekhmi.com/product/mt8070ih>
- [19] REG-DA. *A-Eberle* [online]. 2014 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.a-eberle.de/en/spannungsregelung/komponenten/reg-da.html>
- [20] A-EBERLE. *REG-DA: Relay for Voltage Control & Transformer Monitoring, Operating Manual*. 2007, 316 s.

SEZNAM PŘÍLOH

<i>A1 - Schéma simulace v prostředí Simulink.....</i>	<i>74</i>
<i>A2 - Schéma filtračně kompenzačního zařízení v prostředí Simulink.....</i>	<i>75</i>
<i>A3 – Nastavení regulátorů T101 a T1.....</i>	<i>75</i>
<i>A4 – Program pro Foftrot CP-1004 pro rozvaděč ASE04.....</i>	<i>81</i>

A2 - Schéma filtračně kompenzačního zařízení v prostředí Simulink



A3 – Nastavení regulátorů T101 a T1

Funkce	T1	T101
Setup 1		
Bandwidth [%]	2	2
Time Factor	30	8
Regulator Time Behaviour	02:LINEAR	00:INTEGRAL
Time Behaviour, Time T1 [s]	1	1
Time Behaviour, Time T2 [s]	1	1
Trend Memory [s]	0	0
Setpoint Value 1 [V]	100	104,6
equals per cent [%]	100	100
Setpoint Value 2 [V]	100	100
equals per cent [%]	100	100
Setpoint Value 3 [V]	100	100
equals per cent [%]	100	100
Setpoint Value 4 [V]	100	100
equals per cent [%]	100	100
Perm. I circ. [A]	20	10
Gradient [%]	2	3
Limitation [%]	0	0
cos phi (Net)	---	---
Transf.: Nominal Power [VA]	---	---
ParallelPgm, Group Member 1	A:	A:
ParallelPgm, Group Member 2	B:	B:
ParallelPgm, Group Member 3	---	---
ParallelPgm, Group Member 4	---	---
ParallelPgm, Group Member 5	---	---
ParallelPgm, Group Member 6	---	---
ParallelPgm, Group Member 7	---	---
ParallelPgm, Group Member 8	---	---
ParallelPgm, Group Member 9	---	---
ParallelPgm, Group Member 10	---	---
Parallel Program	01:dI*sin(phi)	01:dI*sin(phi)
Way of Current Influence	none	none
LDC-Parameter X [Ohms]	0	0
LDC-Parameter R [Ohms]	0	0
Setup 2		
Gradient I Increase (pos.) [V/ln]	0	0
Gradient I Decrease (neg.) [V/ln]	0	0
Limitation I (Min) [V]	0	0
Limitation I (Max) [V]	0	0
Limit Undervoltage [%]	-7	-7
Limit Overvoltage [%]	8	8
Limit Overcurrent [%]	120	100
Limit Undercurrent [%]	10	10
Setup 3		
Inhibit High as an abs. value [V]	107,5	114

Inhibit High, Scaled [V]	29025	25080
Limit High Speed Switching Forward [%]	-8	-8
Limit High Speed Switching Backward [%]	8	8
Limit Inhibit Low [%]	-50	-20
Setup 4		
Time until Undervoltage [s]	1	1
Time until Overvoltage [s]	1	0
Time until Undercurrent [s]	0	0
Time until Overcurrent [s]	0	0
Time until Inhibit High [s]	6	10
Time until High Speed Switching Forward [s]	10	10
Time until High Speed Switching Backward [s]	10	10
Time until Inhibit Low [s]	60	20
Setup 5		
Maximum Time TC in Operation [s]	40	20
Manual(H) / Automatic	00:E5-A/E6-H	00:E5-A/E6-H
Tap position indication	03:ZAP	03:ZAP
Hand/Auto remains unchanged after reset (Self-Conduct)	On	On
Current Display in Regul. Mode	On	On
LCD-Saver	On	On
Regulator Mode Large Display	On	On
Language	Czech	Czech
Up/Down Relay Pulse Time [s]	2	2
Manual Locked at ELAN Error	Off	Off
Block High Speed Switching	0	0
Creeping Net Breakdown	00:VYP	00:VYP
Creeping Net Breakdown Lock Time [min]	15	15
Creeping Net Breakdown Time Slice [s]	30	30
Voltage Breakdown Number of Tap Changes	2	2
Limit Base	Setpoint	Setpoint
Block with <l or >l	00:VYP	00:VYP
Setpoint Adjustment with < > Keys [%]	00:VYP	00:VYP
Set Point Adjustment by binary Inputs	04:1.0%	04:1.0%
Paragramer-Activation	2	2
Parallel Program Activation	01:ON	00:VYP
MSI: 1st ParErr after n*AL-Time	4	2
Manu/Auto Balance at M/F Start	00:MasterPri	00:MasterPri
Permissible Difference of Taps	3	3
Tap Limiter	01:ZAP	01:ZAP
Maximum Tap Position	17	17
Minimum Tap Position	1	1
6-sec-Debouncing at Tap Position Zero	01:ZAP	01:ZAP
Invers Tap Changer	1	1
Transformer Mounting Voltage	03:L1N	00:L1L2
Ratio Voltage Transformer (KNU)	270	220
Ratio Voltage Transformer 2 (KNU2)	270	220

Transformer Mounting Current	00:L1	06:ARON
Ratio Current Transformer (KNI)	120	60
Ratio Current Transformer 2 (KNI2)	120	60
Inverse Polarity U1, I1, U2, I2	No, No, No, No	No, No, No, No
Nominal Value Current [A]	5	5
Input E 1	07:ChodMot.	07:ChodMot.
Input E 2	00:VYP	00:VYP
Input E 3	03:SW-1	03:SW-1
Input E 4	04:SW-2	04:SW-2
Input E 5	[Auto]	[AUTO]
Input E 6	[Hand]	[HAND]
Input E 7	05:SW-3	05:SW-3
Input E 8	00:VYP	00:VYP
Input E 9	44:BCD1	44:BCD1
Input E 10	45:BCD2	45:BCD2
Input E 11	46:BCD4	46:BCD4
Input E 12	47:BCD8	47:BCD8
Input E 13	48:BCD10	48:BCD10
Input E 14	49:BCD20	49:BCD20
Input E 15	50:BCDminus	50:BCDminus
Input E 16	00:VYP	00:VYP
Input E 17	00:VYP	00:VYP
Input E 18	00:VYP	00:VYP
Input E 19	00:VYP	00:VYP
Input E 20	00:VYP	00:VYP
Input E 21	00:VYP	00:VYP
Input E 22	00:VYP	00:VYP
Relay 1	31:nahoru	31:nahoru
Relay 2	32:dolu	32:dolu
Relay 3	10:SW-4	10:SW-4
Relay 4	03:<U	03:<U
Relay 5	04:>U	04:>U
Relay 6	14:ChodM-ch	14:ChodM-ch
Relay 7	48:Remote	48:Remote
Relay 8	47:Local	47:Local
Relay 9	03:<U	03:<U
Relay 10	04:>U	04:>U
Relay 11	06:>I	06:>I
Relay 12	14:ChodM-ch	14:ChodM-ch
Relay 13	15:Post.ZS	15:Post.ZS
Relay 14	83:PG_INERR	83:PG_INERR
Relay 15	82:dCosEmgy	82:dCosEmgy
Relay 16	00:VYP	00:VYP
Relay 17	00:VYP	00:VYP
LED 1	04:nah/dol	04:nah/dol
LED 2	00:VYP	00:VYP

LED 3	46:>U	46:>U
LED 4	45:<U	45:<U
LED 5	10:RychPrep	10:RychPrep
LED 6	00:VYP	00:VYP
LED 7	00:VYP	00:VYP
LED 8	00:VYP	00:VYP
LED 9	29:ParChyba	29:ParChyba
LED 10	72:Inh.Low	72:Inh.Low
LED 11	102:Input-02	102:Input-02
LED 12	08:SW-4	08:SW-4

Setup 6

Station ID	A:
Device Name	REG-DA
Serial Number	M13052144
Group	REG
Correction Factor U [%]	0
Correction Factor I [%]	0
SCADA: IP-Address	0.0.0.0
SCADA: Subnetmask	0.0.0.0
SCADA: Gateway	0.0.0.0
COM 1 Mode	ECL
COM 1 Baudrate	115200
COM 1 Parity	none
COM 1 Handshake	RTS
COM 2 Mode	ECL
COM 2 Baudrate	57600
COM 2 Parity	even
COM 2 Handshake	XON
ELAN left Mode (Wire)	2W
ELAN left Baudrate	62K5
ELAN left Terminated	Yes
ELAN right Mode (Wire)	2W
ELAN right Baudrate	62K5
ELAN right Terminated	Yes
Analogue Module	
Scalingmethod, Channel 1	02:P0P2
Type, Channel 1	01:Input
True Forms, Channel 1	01:-20..+20mA
Analogue I/O-Function, Channel 1	01:ANA
Limiting when leaving Interval, Channel 1	00:none
Resolution, Channel 1	2000
Factor, Channel 1	1
Offset, Channel 1	0
Sign, Channel 1	00:+/-
X-Value of Point 0, Channel 1	0
X-Value of Point 1, Channel 1	20

X-Value of Point 2, Channel 1	20
Y-Value of Point 0, Channel 1	0
Y-Value of Point 1, Channel 1	1
Y-Value of Point 2, Channel 1	1
Scalingmethod, Channel 2	02:P0P2
Type, Channel 2	02:Output
True Forms, Channel 2	01:-20..+20mA
Analogue I/O-Function, Channel 2	01:ANA
Limiting when leaving Interval, Channel 2	00:none
Resolution, Channel 2	2000
Factor, Channel 2	1
Offset, Channel 2	0
Sign, Channel 2	00:+/-
X-Value of Point 0, Channel 2	0
X-Value of Point 1, Channel 2	20
X-Value of Point 2, Channel 2	20
Y-Value of Point 0, Channel 2	0
Y-Value of Point 1, Channel 2	1
Y-Value of Point 2, Channel 2	1
Scalingmethod, Channel 3	03:P0P1P2
Type, Channel 3	17:Temperature
True Forms, Channel 3	06:°C (PT100)
Analogue I/O-Function, Channel 3	64:iOITp-TR
Limiting when leaving Interval, Channel 3	00:none
Resolution, Channel 3	2000
Factor, Channel 3	1
Offset, Channel 3	0
Sign, Channel 3	00:+/-
X-Value of Point 0, Channel 3	0
X-Value of Point 1, Channel 3	70
X-Value of Point 2, Channel 3	140
Y-Value of Point 0, Channel 3	-0,667
Y-Value of Point 1, Channel 3	-0,122
Y-Value of Point 2, Channel 3	0,413

A4 – Program pro Foxtrot CP-1004 pro rozvaděč ASE04

VAR_GLOBAL

```
// zaklad
cmd_QA_vyp          AT %R3000.0 : BOOL;
cmd_QA_zap          AT %R3000.1 : BOOL;
cmd_QM_vyp          AT %R3000.2 : BOOL;
cmd_QM_zap          AT %R3000.3 : BOOL;
cmd_reset_ochr      AT %R3000.4 : BOOL;
cmd_reg_jistic      AT %R3000.5 : BOOL;
cmd_reg_jistic_wait AT %R3000.6 : BOOL;
cmd_reg_nahoru      AT %R3000.7 : BOOL;
cmd_reg_dolu        AT %R3001.0 : BOOL;
cmd_reg_autm_vyp    AT %R3001.1 : BOOL;
cmd_reg_autm_zap    AT %R3001.2 : BOOL;
cmd_reg_paralel_vyp AT %R3001.3 : BOOL;
cmd_reg_paralel_zap AT %R3001.4 : BOOL;
cmd_ofuky_vyp       AT %R3001.5 : BOOL;
cmd_ofuky_zap       AT %R3001.6 : BOOL;

// ochrany
rozdilova          AT %R3001.7 : BOOL;
nadproud1          AT %R3002.0 : BOOL;
nadproud2          AT %R3002.1 : BOOL;
nadproud3          AT %R3002.2 : BOOL;
nadproud4          AT %R3002.3 : BOOL;
kostrova           AT %R3002.4 : BOOL;
prepetova          AT %R3002.5 : BOOL;

// blokovaci podminky
blok_QM            AT %R3002.6 : BOOL;
vyp_QM            AT %R3002.7 : BOOL;
blok_QA            AT %R3003.0 : BOOL;
kostrovaOch       AT %R3003.1 : BOOL;
QMvypObvod        AT %R3003.2 : BOOL;
SF6ztrata         AT %R3003.3 : BOOL;
QMnenastradan     AT %R3003.4 : BOOL;
plynNadoby        AT %R3003.5 : BOOL;
plynRegulace      AT %R3003.6 : BOOL;
teplota           AT %R3003.7 : BOOL;
pretlak           AT %R3004.0 : BOOL;
Blokovani_QM      : bool;
Vypnuti_QM        : bool;
Blokovani_QA      : bool;

// povely z TS
tsp_rizeni        AT %R3004.1 : BOOL;
```

```
tsp_deblok          AT %Y499.5 : BOOL;
tsp_dalkove         AT %Y499.6 : BOOL;
tsp_mistne          AT %Y499.7 : BOOL;
tsp_QM_vyp          AT %Y500.0 : BOOL;
tsp_QM_zap          AT %Y500.1 : BOOL;
tsp_QA_vyp          AT %Y500.2 : BOOL;
tsp_QA_zap          AT %Y500.3 : BOOL;
tsp_Reset           AT %Y500.4 : BOOL;
tsp_Reg_jistic      AT %Y500.5 : BOOL;
tsp_Reg_zvysit      AT %Y500.6 : BOOL;
tsp_Reg_snizit      AT %Y500.7 : BOOL;
tsp_Reg_auto_zap    AT %Y501.0 : BOOL;
tsp_Reg_auto_vyp    AT %Y501.1 : BOOL;
tsp_Reg_paralel_vyp AT %Y501.2 : BOOL;
tsp_Reg_paralel_zap AT %Y501.3 : BOOL;
tsp_Ofuky_vyp       AT %Y501.4 : BOOL;
tsp_Ofuky_zap       AT %Y501.5 : BOOL;

// preklad povelu z TS
povel_QA_vyp        : bool;
povel_QA_zap        : bool;
povel_QM_vyp        : bool;
povel_QM_zap        : bool;
povel_reset_ochr    : bool;
povel_reg_jistic    : bool;
povel_reg_jistic_wait : bool;
povel_reg_zvysit    : bool;
povel_reg_snizit    : bool;
povel_reg_automatically_vyp : bool;
povel_reg_automatically_zap : bool;
povel_reg_paralel_vyp : bool;
povel_reg_paralel_zap : bool;
povel_ofuky_vyp     : bool;
povel_ofuky_zap     : bool;

// signalizace
// QM_vyp            AT %R3004.2 : BOOL;
/// QM_zap           AT %R3004.3 : BOOL;
// QA_vyp           AT %R3004.4 : BOOL;
// QA_zap           AT %R3004.5 : BOOL;

// obsluha povelu
tp_reset           : TP;
time_ofuk_vyp     : TP;
time_ofuk_zap     : TP;
ton_reg_vyp       : TON;
```

```
//komunikace
Data_DME401          : ARRAY [ 0 .. 28 ] of int;
Data_DME401_s        : ARRAY [ 0 .. 60 ] of uint;
Data_Reg_DA          : ARRAY [ 0 .. 9 ] of int;
Data_Reg_DA_real     : ARRAY [ 0 .. 1 ] of real;
Data_DME401_scale    : ARRAY [ 0 .. 28 ] of real;
DataTS_bin           AT %X500 : ARRAY [ 0 .. 11 ] of usint;

// registry signalizace

ztrDC101             AT %R3004.6 : BOOL;
ZtrDC111             AT %R3004.7 : BOOL;
ZtrDC121             AT %R3005.0 : BOOL;
ZtrDC113            AT %R3005.1 : BOOL;

JistDC118            AT %R3005.2 : BOOL;
JistDC131            AT %R3005.3 : BOOL;
JistDC132            AT %R3005.4 : BOOL;
JistDC108            AT %R3005.5 : BOOL;

RozdilVntr           AT %R3005.6 : BOOL;
NadproudVntr         AT %R3005.7 : BOOL;
Poruch110kV          AT %R3006.0 : BOOL;
Poruch22kV           AT %R3006.1 : BOOL;
SF6PoklsWARN        AT %R3006.2 : BOOL;
SF6ZtrataBLOK       AT %R3006.3 : BOOL;
NenastradanQ        AT %R3006.4 : BOOL;
Ovlmistni           AT %R3006.5 : BOOL;
Top110kVVYP         AT %R3006.6 : BOOL;
PTN1VYP             AT %R3006.7 : BOOL;
PTN2VYP             AT %R3007.0 : BOOL;
PlynNadobVYP        AT %R3007.1 : BOOL;
PlynReleVYP         AT %R3007.2 : BOOL;
TeplotaOlej         AT %R3007.3 : BOOL;
NebTepVinVYP        AT %R3007.4 : BOOL;
NebTepMagVYP        AT %R3007.5 : BOOL;
PretlakVYP          AT %R3007.6 : BOOL;
Rezerva1            AT %R3007.7 : BOOL;
PlynNadobWARN       AT %R3008.0 : BOOL;
PlynRegWARN         AT %R3008.1 : BOOL;
NetestWARN          AT %R3008.2 : BOOL;
TepOlejWARN         AT %R3008.3 : BOOL;
NebTepVinuti        AT %R3008.4 : BOOL;
NebTepMag           AT %R3008.5 : BOOL;
LOlejTrafWARN       AT %R3008.6 : BOOL;
LOlejRegWARN        AT %R3008.7 : BOOL;
```

```

HolejTrafWARN      AT %R3009.0 : BOOL;
HolejRegWARN       AT %R3009.1 : BOOL;
Jimka              AT %R3009.2 : BOOL;
Rezerva2           AT %R3009.3 : BOOL;
RegUpVoltage       AT %R3009.4 : BOOL;
RegDownVoltage     AT %R3009.5 : BOOL;
VentZap            AT %R3009.6 : BOOL;
RegPorucha         AT %R3009.7 : BOOL;
ACOvlRegVYP        AT %R3010.0 : BOOL;
ACChlazenıVYP      AT %R3010.1 : BOOL;
ACOvlChladVYP      AT %R3010.2 : BOOL;
ACRozvVoltage      AT %R3010.3 : BOOL;
ACTopenıVYP        AT %R3010.4 : BOOL;
Rezerva3           AT %R3010.5 : BOOL;
Rezerva4           AT %R3010.6 : BOOL;
Rezerva5           AT %R3010.7 : BOOL;
DlouhyChod         AT %R3011.0 : BOOL;
VypJıstPohonu     AT %R3011.1 : BOOL;
RegAUT             AT %R3011.2 : BOOL;
RegMAN             AT %R3011.3 : BOOL;
ParalelZAP         AT %R3011.4 : BOOL;
ParalelVYP         AT %R3011.5 : BOOL;
RegMıstne          AT %R3011.6 : BOOL;
Prepetova1         AT %R3011.7 : BOOL;
Prepetova2         AT %R3012.0 : BOOL;
Podpetova          AT %R3012.1 : BOOL;

Rizenı_TS          : BOOL;
RizenıTS           AT %R3012.2 : BOOL;

//DME

MerenıP            AT %R4000 : REAL;
MerenıQ            AT %R4004 : REAL;
MerenıS            AT %R4008 : REAL;
Napeti1            AT %R4012 : REAL;
Napeti2            AT %R4016 : REAL;
Napeti3            AT %R4020 : REAL;
Proud1             AT %R4024 : REAL;
Proud2             AT %R4028 : REAL;
Proud3             AT %R4032 : REAL;

DataModbusReg : TCmdStruct;
pDataModbusReg : ptr_to TCmdStruct := Adr( DataModbusReg );
ModBusMasReg : ModbusRTUmas;

DataModbusDME : TCmdStruct;

```



```

nadproud1      := r1_p2_DI.DI1;           // 1.stupeň- Nadproud.I>
sign.přetížení

nadproud2      := r1_p2_DI.DI2;           // 2.stupeň- Nadproud.I> vypnutí
22kV

// - %R3002.2           // 3.stupeň- Nadproud.I>> vypnutí 110
a 22kV

// - %R3002.3           // 4.stupeň- Nadproud.I>> vypnutí 110
a 22kV

// - %R3002.4           // Kostrová ochrana transformátoru-
vypnutí

RozdilVntr     := r1_p2_DI.DI6;           // Rozdílová ochrana-vnitřní porucha
NadproudVntr   := r1_p2_DI.DI7;           // Nadproudová ochrana-vnitřní
porucha

Poruch110kV    := r1_p2_DI.DI8;           // Porucha vypínacího obvodu vypínače
110kV

Poruch22kV     := r1_p2_DI.DI9;           // Porucha vypínacího obvodu vypínače
22kV

SF6PoklsWARN   := r1_p2_DI.DI10;         // Pokles hustoty SF6 ve vypínači-
výstraha

SF6ZtrataBLOK := r1_p2_DI.DI11;         // Ztráta tlaku SF6 ve vypínači-
blokování ovládání

Nenastradan( IN := r1_p3_DI.DI0, PT := t#20s, Q => nenastradanQ );           // Mechanický
pohon vypínače nenastřádán-blok. zapnutí

Ovlmistni      := r1_p3_DI.DI1;           // Ovl.vypínače přepnuto na místní
Top110kVVYP    := r1_p3_DI.DI2;           // AC napájení topení v poli R110kV-
vypnutí jističe

PTN1VYP        := r1_p3_DI.DI3;           // PTN-1.obvod pro měření-vypnutí
jističe (elektroměry)

PTN2VYP        := r1_p3_DI.DI4;           // PTN-2.obvod pro měření-vypnutí
jističe (převodníky)

PlynNadobVYP   := r1_p3_DI.DI5;           // Plynové relé nádoby
transformátoru-vypnutí

PlynReleVYP    := r1_p3_DI.DI6;           // Plynové relé regulace
transformátoru-vypnutí

TeplotaOlej    := r1_p3_DI.DI7;           // Nebezpečná teplota oleje nádoby
transformátoru-vypnutí

NebTepVinVYP   := r1_p3_DI.DI8;           // Nebezpečná teplota vinutí
transformátoru-vypnutí

NebTepMagVYP   := r1_p3_DI.DI9;           // Nebezpečná teplota magn.obvodů
transf.-vypnutí

PretlakVYP     := r1_p3_DI.DI10;          // Přetlak oleje nádoby
transformátoru-vypnutí

Rezerva1       := r1_p3_DI.DI11;          // Rezerva

PlynNadobWARN  := r1_p4_DI.DI0;           // Plynové relé nádoby
transformátoru-výstraha

PlynRegWARN    := r1_p4_DI.DI1;           // Plynové relé regulace
transformátoru-výstraha

NetestWARN     := r1_p4_DI.DI2;           // Netěsnost vaku - výstraha

TepOlejWARN    := r1_p4_DI.DI3;           // Nebezpečná teplota oleje nádoby
transformátoru-výstraha

NebTep1Vinuti := r1_p4_DI.DI4;           // Nebezpečná teplota vinutí
transformátoru-výstraha

NebTep1Mag     := r1_p4_DI.DI5;           // Nebezpečná teplota magn.obvodů
transf.-výstraha

```

```

LOlejTrafWARN := r1_p4_DI.DI6; // Nizká hladina oleje konzervátoru
transformátoru-výstraha

LOlejRegWARN := r1_p4_DI.DI7; // Nizká hladina oleje konzervátoru
regulace transf.-výstraha

HOlejTrafWARN := r1_p4_DI.DI8; // Vysoká hladina oleje konzervátoru
transformátoru-výstraha

HOlejRegWARN := r1_p4_DI.DI9; // Vysoká hladina oleje konzervátoru
regulace transf.-výstraha

Jimka := not r1_p4_DI.DI10; // Olej v jímce transformátoru-
výstraha

Rezerva2 := r1_p4_DI.DI11; // Rezerva

RegUpVoltage := r1_p5_DI.DI0; // Regulace odboček transformátoru-
chod-směr více napětí

RegDownVoltage:= r1_p5_DI.DI1; // Regulace odboček transformátoru-
chod-směr méně napětí

VentZap := r1_p5_DI.DI2; // Ventilátory transformátoru-stav
ZAP

RegPorucha := r1_p5_DI.DI3; // Automatický regulátor napětí -
vnitřní porucha

ACOvlRegVYP := r1_p5_DI.DI4; // AC napájení ovl. regulace
transformátoru-vypnutí jističe

ACChlazeníVYP := r1_p5_DI.DI5; // AC napájení chlazení
transformátoru-vypnutí jističe

ACOvlChladVYP := r1_p5_DI.DI6; // AC napájení ovládání chlazení
transf.-vypnutí jističe

ACRozvVoltage := r1_p5_DI.DI7; // AC napájení rozv. transf.-ztráta
napětí

ACTopeníVYP := r1_p5_DI.DI8; // AC napájení topení v rozv.transf.-
vypnutí jističe

Rezerva3 := r1_p5_DI.DI9; // Rezerva

Rezerva4 := r1_p5_DI.DI10; // Rezerva

Rezerva5 := r1_p5_DI.DI11; // Rezerva

DlouhyChod := Data_Reg_DA[0].4; // Dlouhý chod pohonu regulace -
všeobecná chyba

VypJistPohonu := Data_Reg_DA[3].1; // Regulace odboček transf. - vypnutí
jističe pohonu

RegAUT := Data_Reg_DA[0].5; // Automatický regulátor napětí -
provoz AUT

RegMAN := not Data_Reg_DA[0].5; // Automatický regulátor napětí -
provoz MAN

ParalelZAP := not Data_Reg_DA[0].6; // Paralelní provoz ZAP

ParalelVYP := Data_Reg_DA[0].6; // Paralelní provoz VYP

RegMistne := not Data_Reg_DA[0].7; // Regulátor přepnut místně

Prepetoval := Data_Reg_DA[0].15; // Přepětová ochrana-1.stupeň-
výstraha

Prepetova2 := Data_Reg_DA[0].10; // Přepětová ochrana-2.stupeň-blokace
regulace

Podpetova := Data_Reg_DA[1].0; // Podpětová ochrana-výstraha

// Panelerror := KomErr_TS; // Porucha komunikace s operátorským
panelem pole

// Prevodnikerror := KomErr_DME401; // Porucha komunikace s měřícím
převodníkem

```

```

// Regdaerror := KomErr_RegDa; // Porucha komunikace s regulátorem
REG-DA

RizeniTS := Rizeno_TS; // Řízení z operátorského panelu
BlokaceQM := Blokovani_QM; // Blokování QM - nesplněny podmínky
spínání

// rizeni panel mistne/dalkove
Rizeno_TS := Rizeno_TS or tsp_mistne;
Rizeno_TS := Rizeno_TS and not tsp_dalkove;

// odblokovani ochran
if tsp_deblok then
  nadproud1 := False;
  nadproud2 := False;
  prepetova := False;
end_if;

// Preklad povelu (pokud je rizeni z Weinteku)
if Rizeno_TS then
  // povel z TS
  povel_QA_vyp := tsp_QA_vyp;
  povel_QA_zap := tsp_QA_zap;
  povel_QM_vyp := tsp_QM_vyp;
  povel_QM_zap := tsp_QM_zap;
  povel_reset_ochr := tsp_Reset;
  povel_reg_jistic := tsp_Reg_jistic;
  povel_reg_zvysit := tsp_Reg_zvysit;
  povel_reg_snizit := tsp_Reg_snizit;
  povel_reg_automatically_vyp := tsp_Reg_auto_vyp;
  povel_reg_automatically_zap := tsp_Reg_auto_zap;
  povel_reg_paralel_vyp := tsp_Reg_paralel_vyp;
  povel_reg_paralel_zap := tsp_Reg_paralel_zap;
  povel_ofuky_vyp := tsp_Ofuky_vyp;
  povel_ofuky_zap := tsp_Ofuky_zap;
end_if;

// Blokovací podmínky rozvadece
Blokovani_QA := not ( QM_vyp and not QM_zap );
if Blokovani_QA then
  povel_QA_vyp := False;
  povel_QA_zap := False;
end_if;

Blokovani_QM := not ( ( QA_vyp xor QA_zap ) ) or
SF6ztrata or
kostrovaOch or
QMvypObvod or
QMnenastradan or

```

```
        plynNadoby or
        plynRegulace or
        teplota or
        pretlak or
        nadproud3 or
        nadproud4 or
        kostrova or
        rozdilova;

if Blokovani_QM then
    povel_QM_zap := False;
end_if;

Vypnuti_QM := SF6ztrata;
if Vypnuti_QM then
    povel_QM_vyp := False;
end_if;

// povely
QA( stav_vyp := QA_vyp,
    stav_zap := QA_zap,
    povel_vyp := povel_QA_vyp,
    povel_zap := povel_QA_zap,
    out_vyp => DO_QA_vyp,
    out_zap => DO_QA_zap ); // povel na QA

QM( stav_vyp := QM_vyp,
    stav_zap := QM_zap,
    povel_vyp := povel_QM_vyp,
    povel_zap := povel_QM_zap,
    out_vyp => DO_QM_vyp,
    out_zap => DO_QM_zap ); // povel na QM

tp_reset(
IN := povel_reset_ochr,
PT := t#500ms,
Q => DO_Reset );
if povel_reset_ochr then
    nadproud3 := False;
    nadproud4 := False;
    kostrova := False;
    rozdilova := False;
end_if;

// ofuky
time_ofuk_vyp(
IN := povel_ofuky_vyp,
```

```

PT := t#500ms,
Q => DO_Ofuky_vyp );

time_ofuk_zap(
IN := povel_ofuky_zap,
PT := t#500ms,
Q => DO_Ofuky_zap );

//prenos povelu Foxtrot - Regulator

if povel_reg_jistic then // regulator - jistic motoru (start impuls)
    ModbusCmd(Gr:=1, FNC:=05, SNo:=1, StAdr:=3341,
NoPoint:=1, PtrData:=adr(Data_Reg_DA), Cmd:=DataModbusReg);
end_if;

ton_reg_vyp( IN := povel_reg_jistic_wait, PT := t#2s );
if ton_reg_vyp.Q then // regulator - jistic motoru (stop impuls)
    ModbusCmd(Gr:=1, FNC:=05, SNo:=1, StAdr:=3340,
NoPoint:=1, PtrData:=adr(Data_Reg_DA), Cmd:=DataModbusReg);
end_if;
povel_reg_jistic_wait := povel_reg_jistic_wait and not ton_reg_vyp.Q;

if povel_reg_zvysit then // zvyseni odbocky
    ModbusCmd(Gr:=1, FNC:=05, SNo:=1, StAdr:=3344,
NoPoint:=1, PtrData:=adr(Data_Reg_DA), Cmd:=DataModbusReg);
end_if;

if povel_reg_snizit then // snizeni odbocky
    ModbusCmd(Gr:=1, FNC:=05, SNo:=1, StAdr:=3345,
NoPoint:=1, PtrData:=adr(Data_Reg_DA), Cmd:=DataModbusReg);
end_if;

// zapnuti automatiky
if povel_reg_automaticky_zap then
    ModbusCmd(Gr:=1, FNC:=05, SNo:=1, StAdr:=3328,
NoPoint:=1, PtrData:=adr(Data_Reg_DA), Cmd:=DataModbusReg);
end_if;

//zapnuti paralelu
if povel_reg_paralel_zap then
    ModbusCmd(Gr:=1, FNC:=05, SNo:=1, StAdr:=3329,
NoPoint:=1, PtrData:=adr(Data_Reg_DA), Cmd:=DataModbusReg);
end_if;

//cteni stavu z dme401
ModbusCmd(Gr:=1, FNC:=03, SNo:=1, StAdr:=300,
NoPoint:=58, PtrData:=adr(Data_DME401_s), Cmd:=DataModbusDME);
ModbusCmd(Gr:=1, FNC:=03, SNo:=1, StAdr:=100,
NoPoint:=29, PtrData:=adr(Data_DME401), Cmd:=DataModbusDME);

//cteni stavu z regda
ModbusCmd(Gr:=1, FNC:=03, SNo:=1, StAdr:=128,
NoPoint:=2, PtrData:=adr(Data_Reg_DA), Cmd:=DataModbusReg);

```

```
ModbusCmd(Gr:=1, FNC:=03, SNo:=1, StAdr:=140,
NoPoint:=2, PtrData:=adr(Data_Reg_DA), Cmd:=DataModbusReg);

ModbusCmd(Gr:=1, FNC:=03, SNo:=1, StAdr:=189,
NoPoint:=4, PtrData:=adr(Data_Reg_DA), Cmd:=DataModbusReg);

ModbusCmd(Gr:=1, FNC:=03, SNo:=1, StAdr:=233,
NoPoint:=2, PtrData:=adr(Data_Reg_DA_real), Cmd:=DataModbusReg);

ModbusCmd(Gr:=1, FNC:=03, SNo:=1, StAdr:=157,
NoPoint:=2, PtrData:=adr(Data_Reg_DA_real), Cmd:=DataModbusReg);

//inicializace komunikace
ModbusMasReg(EN:=1, GrSel:=1, MaxCmd:=6, chanCode:=CH4_uni, Commands:=DataModbusReg);
ModbusMasDME(EN:=1, GrSel:=1, MaxCmd:=2, chanCode:=CH3_uni, Commands:=DataModbusDME);

bl_BlockMove( Adr( Data_DME401_s[0] ), Adr( Data_DME401_scale[0] ), 116 ); // prevod hodnot
meritka DME401 na real

MereniP := int_to_real( Data_DME401[11] ) * Data_DME401_scale[11] / 1000000.0; // mereni
MereniQ := int_to_real( Data_DME401[15] ) * Data_DME401_scale[15] / 1000000.0;
MereniS := int_to_real( Data_DME401[28] ) * Data_DME401_scale[28] / 1000000.0; //mereni S
Napeti1 := int_to_real( Data_DME401[4] ) * Data_DME401_scale[4] / 1000.0;
Napeti2 := int_to_real( Data_DME401[5] ) * Data_DME401_scale[5] / 1000.0;
Napeti3 := int_to_real( Data_DME401[6] ) * Data_DME401_scale[6] / 1000.0;
Proud1 := int_to_real( Data_DME401[8] ) * Data_DME401_scale[8];
Proud2 := int_to_real( Data_DME401[9] ) * Data_DME401_scale[9];
Proud3 := int_to_real( Data_DME401[10] ) * Data_DME401_scale[10];

END_PROGRAM
```