

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Návrh metodiky chránění rozvodných zařízení vvn, vn drážní energetiky  
Lukáš Mihál

Diplomová práce  
2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Mihál**  
Osobní číslo: **D15454**  
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**  
Studijní obor: **Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě**  
Název tématu: **Návrh metodiky chránění rozvodných zařízení vvn, vn drážní energetiky**  
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

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

1. Zhodnocení užívaných metodik pro chránění
2. Definice jednotlivých částí systému .....
3. Návrh metodiky pro systém chránění
  - 3.1. Metodika pro chránění stejnosměrné napájecí soustavy
  - 3.2. Metodika pro chránění střídavé napájecí soustavy 50 Hz
  - 3.3. Metodika pro chránění ostatních rozvodů silnoproudu
4. Vyhodnocení výstupů
  - 4.1. Výpočet systému chránění na konkrétním příkladu (příkladech)
  - 4.2. Srovnání výsledků navržené metody s výpočetní metodou dle SR34
  - 4.3. Doporučení pro aplikaci metodiky

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Nastavovanie, prevádzka a údržba reléových ochrán trakčného napájacieho obvodu SR34; Odbor elektrotechniky FMD; Praha 1979

Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení; ČSN 33 3051; 1992

Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách Část 0: Výpočet proudů; ČSN EN 60 909-0; Praha 2002

Elektrotechnika a zabezpečovací technika v dopravní infrastruktuře; Gregora S., Ouředníček J.; Pardubice 2005

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) drážních zařízení; Hlava K.; Pardubice 2004

Energieversorgung elektrischer Bahnen; Biesenack H., George G., Hofmann G., Schmieder A.; 1. Auflage, Vieweg+ Teubner, Wiesbaden, 2006

Katalogy, návody a informace od výrobců zařízení

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Ladislav Mlynařík, Ph.D.**

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání diplomové práce: **27. října 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2017**

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

L.S.

  
Ing. Dušan Čermák, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 6. dubna 2017

## **Prohlášení autora**

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 8.01.2018.

Lukáš Mihál

## **Poděkování autora**

Rád bych poděkoval za ochotu a praktickou pomoc při vytváření této práce svému vedoucímu práce panu Ing. Ladislavovi Mlynaříku, Ph.D. a svému konzultantovi panu Ing. Jindřichu Kašparovi. Chci také poděkovat za praktické rady panu Ing. Vlastimilu Pitrmanovi, svému otci Ing. Bohušovi Mihálovi a Ing. Radovanu Burešovi. Děkuji také svým přátelům, rodině a přítelkyni za velkou podporu při psaní této práce.

## **Anotace**

Práce představuje metodiku návrhu ochran pro napájecí stanice drážní energetiky dle dvou základních předpisů, staršího předpisu SR 34 a modernějšího předpisu ČSN 33 3051. Práce také představuje další předpisy pro navrhování ochran, které doplňují výše zmíněné předpisy a normy. V teoretické části práce je zobrazen historický vývoj chránění, souhrn požadavků na metodiky chránění, konkrétní typy používaných ochran pro jednotlivá zařízení a chráněné úseky a nakonec popis jednotlivých elektrických zařízení a rozvodů drážní energetiky. V praktické části práce jsou zobrazena schémata s osazením ochran dle platných norem a předpisů doplněných praktickými zkušenostmi projektantů Elektrizace železnic Praha a.s. Dále jsou zde uvedeny diagramy chránění s dosahy a časovým nastavením jednotlivých ochran pro doplnění celkové představy chránění.

**Klíčová slova:** metodika návrhu ochran, předpisy a normy, napájecí stanice, ochrany, diagram chránění

## **Annotation**

The thesis introduces the methods of designing of the protections for supply substations of railway energy which are defined by the two important norms: the older norm SR 34, and the younger one ČSN 33 3051. Other norms for designing of the protections that amend the already mentioned norms are also introduced. The theoretical part of the thesis presents the historical development of protection, the summary of requirements for the methods of designing of the protections, and the specific types of protections of individual electric devices and of electric lines of railway energy. The practical part of the thesis shows the schemes of the used protections designed according to the valid standards supplemented with the practical experience of designers of Elektrizace železnic Praha a.s. Furthermore, the thesis shows diagrams of protection with their range and the time delays of each protection to create the overall idea of protection.

**Key words:** methods of designing of the protections, norms and standards, supply substation, protections, diagrams of protection

## Seznam zkratek

AC	alternating current (střídavý proud)
DC	direct current (stejnoseměrný proud)
RV	rychloupínač
TV	trakční vedení (zahrnující trolejové vedení a zpětné vedení)
TrV	trolejové vedení
EE	elektrická energie
TNS	trakční napájecí stanice
TT	trakční transformovna (druh TNS pro napájení soustavou AC 25 kV)
TM	trakční měnič (druh TNS pro napájení soustavou DC 3 kV)
NTS	napájecí trafostanice (napájení rozvodu 3f 6 kV)
STS	staniční trafostanice
PTS	přejezdová trafostanice
TTS	traťová trafostanice
TrT	trakční transformátor
ZZ	zabezpečovací zařízení
ES	elektrická soustava
PTP	přístrojový transformátor proudu
PTN	přístrojový transformátor napětí
PT	přístrojový transformátor
SpS	spínací stanice
ZZ	zabezpečovací zařízení
IED	inteligentní elektronické zařízení
TVS	transformátor vlastní spotřeby
žst.	železniční stanice
HW	hardware
SW	software
HDO	hromadné dálkové ovládání
NSCH	náhradní schéma
MHD	městská hromadná doprava
Zn.	značka



# Obsah

Úvod.....	13
1 Základní metodiky chránění a její principy.....	14
1.1 Použité normy a předpisy.....	14
1.1.1 Základní předpisy pro chránění.....	14
1.1.2 Doplnující normy pro chránění.....	14
1.1.3 Ostatní normy.....	15
1.2 Selektivita.....	15
1.3 Zálohování ochran.....	16
1.4 Poruchy.....	16
1.5 Časové nastavení ochran.....	17
1.6 Ochrany neživých částí.....	17
1.7 Omezovače přepětí a nadpětíové ochrany.....	17
1.8 Obecná charakteristika předpisu SR 34.....	18
1.8.1 Výhody reléových ochran.....	18
1.8.2 Nevýhody reléových ochran.....	18
1.9 Obecná charakteristika normy ČSN 33 3051.....	19
1.9.1 Výhody číslicových ochran (IED) oproti reléovým ochranám.....	19
1.9.2 Nevýhody číslicových ochran (IED) oproti reléovým ochranám.....	20
1.10 Příklad porovnání reléové a číslicové ochrany.....	20
1.11 Porovnání metodik chránění dle SR 34 a ČSN 33 3051.....	22
1.11.1 Porovnání chránění v soustavě DC 3 kV.....	23
1.11.2 Porovnání chránění v soustavě AC 25 kV.....	24
2 Definice jednotlivých částí systému.....	26
2.1 Mezinárodní kódy ochranných funkcí.....	26
2.2 Specifikace měřících přístrojů.....	29
2.2.1 Transduktor.....	29

2.2.2	Specifikace PTP .....	30
2.2.3	Specifikace PTN.....	31
2.2.4	Děliče napětí.....	33
2.2.5	Senzory .....	33
2.2.6	IED .....	35
2.3	Definice chráněných rozvodů a strojů.....	37
2.3.1	Soustava DC 3 kV .....	39
2.3.2	Soustava AC 25 kV .....	41
3	Obecné metodiky chránění dle platných norem .....	45
3.1	Obecná metodika chránění soustavy DC 3 kV v současnosti.....	45
3.1.1	Ochrany transformátoru 110/22 kV .....	45
3.1.2	Ochrany přívodů vn.....	46
3.1.3	Ochrany usměřovače a TrT .....	46
3.1.4	Zemní ochrana TM.....	46
3.1.5	Ochrany TV .....	46
3.1.6	Spínač hlavních přípojnic – spojka .....	47
3.1.7	Ochrany přívodů a vývodů 6 kV .....	47
3.1.8	Ochrana vlastní spotřeby .....	47
3.1.9	Ochrana před úrazem el. proudem .....	49
3.2	Obecná metodika chránění soustavy AC 25 kV 50 Hz v současnosti .....	49
3.2.1	Ochrany TrT 110/27 kV .....	49
3.2.2	Spínač hlavních přípojnic - spojka .....	49
3.2.3	Ochrany přívodů vn.....	50
3.2.4	Ochrany TV .....	50
3.2.5	Ochrany FKZ.....	50
3.2.6	Ochrany vlastní spotřeby.....	52
3.2.7	Ochrana před úrazem el. proudem .....	53

3.2.8	Ochrany přívodů a vývodů 6 kV .....	53
3.3	Obecná metodika chránění NTS v současnosti .....	54
3.3.1	Chránění transformátoru 22/6 kV .....	54
3.3.2	Ochrany přívodů vn, přípojnice 6 kV a vývodů .....	55
3.3.3	Ochrana dekompenzační větve .....	55
3.3.4	Ochrana filtračních větví .....	56
3.3.5	Ochrana vlastní spotřeby .....	56
3.3.6	Ochrana kabelového vedení 6 kV .....	56
3.3.7	Spínač hlavních přípojníc – spojka .....	57
3.3.8	Ochrana před úrazem el. proudem .....	57
3.4	Ochrany společných částí systémů .....	57
3.4.1	Ochrany skříňových rozvaděčů .....	57
3.4.2	Ochrany přípojníc (sběrnic) .....	57
3.4.3	Přívody a vývody .....	58
3.4.4	Spojky .....	58
4	Praktické příklady nasazení metodik chránění .....	59
4.1	Metodika nastavení ochran .....	59
4.2	Použité předpisy a normy pro chránění a nastavení ochran .....	60
4.3	Metodika chránění v soustavě DC 3 kV .....	61
4.3.1	Metodika nastavení ochran v soustavě DC 3 kV .....	66
4.4	Metodika chránění v soustavě AC 25 kV 50 Hz .....	69
4.4.1	Metodika nastavení ochran v soustavě AC 25 kV 50 Hz .....	73
4.5	Metodika chránění v NTS .....	75
4.5.1	Metodika nastavení ochran v soustavě AC 6 kV 50 Hz .....	78
5	Výpočet zkratových proudů .....	81
5.1	Použité předpisy a normy pro výpočty zkratových proudů .....	81
5.2	Zkratové výpočty pro TM .....	82

5.2.1	Rovnice pro výpočet zkratových proudů.....	84
5.3	Zkratové výpočty pro TT .....	86
5.3.1	Rovnice pro výpočet zkratových proudů.....	87
5.4	Zkratové výpočty pro NTS.....	88
5.4.1	Rovnice pro výpočet zkratových proudů.....	90
	Závěr .....	91
	Použitá literatura .....	93
	Seznam obrázků .....	99
	Seznam tabulek .....	101
	Přílohy.....	102
	Příloha A .....	102
	Příloha B .....	106
	Příloha C .....	108
	Příloha D .....	109
	Příloha E.....	110
	Příloha F.....	111
	Příloha G .....	114
	Příloha H .....	116
	Příloha I.....	117
	Příloha J.....	118
	Příloha K .....	120
	Příloha L.....	122
	Příloha M.....	123
	Příloha N .....	125
	Příloha O .....	127
	Příloha P .....	129
	Příloha Q .....	133

**Pozn.:** Součástí diplomové práce jsou dále samostatné přílohy T, U, V, W týkající se postupu výpočtů zkratových proudů a samostatné přílohy X, Y, Z týkající se metodiky nastavení jednotlivých ochran, které nejsou uvedeny v obsahu, ale je na ně odkazováno v příslušných kapitolách. Tyto samostatné přílohy jsou uloženy na CD.

## Úvod

Ochrany jsou elektrická zařízení, jejichž úkolem je chránit elektrická vedení a elektrické stroje před vznikem a následkem poruch či nenormálních stavů v síti a chránit člověka, hospodářská zvířata a volně se pohybující zvěř před úrazem elektrickým proudem v blízkosti živých a neživých částí elektrického zařízení. Účelem ochrany je včas detekovat poruchu, zamezit jejímu rychlému šíření (s čímž souvisí rychlé a selektivní odpojení místa poruchy od zdroje elektrické energie, dále jako EE), definovat, o jakou poruchu a jakého zařízení se jedná, a vyslat informaci obsluze příslušného pracoviště.

Důležitým požadavkem na činnost ochran je jejich spolehlivost, která mimo jiné závisí také na jejich součinnosti s ostatními ochranami (selektivnost a zálohování ochran). Metodiky chránění určují vhodnou volbu ochran spolu se součinností s ostatními ochranami a jejich selektivním nastavením.

Cílem této práce je zabývat se metodikou chránění trakčních napájecích stanic (dále jako TNS), napájecích trafostanic (dále jako NTS) pro napájení zabezpečovacího zařízení (dále jako ZZ) a trakčního vedení (dále jako TV). Pro metodiku chránění jsou pro tuto práci vybrány dva základní předpisy – SR 34 a ČSN 33 3051. Dále budou uvedeny další předpisy, které s navrhováním ochran v rozvodnách souvisí. V práci budou navrženy systémy chránění pro soustavy DC 3 kV, AC 25 kV a AC 6 kV.

V práci jsou uvedeny historické změny v používaných ochranách z hlediska jejich konstrukce. Tyto ochrany se postupem času vyvíjely, zdokonalovaly a měnily i svou kupní cenu. Celý tento vývoj přispěl k dokonalejšímu chránění TV, TNS a NTS.

# 1 Základní metodiky chránění a její principy

Metodika chránění je princip postupu osazování jednotlivých částí TNS, NTS a TV ochranami s danými postupy pro jejich vlastní nastavení, umístění a součinnost s dalšími ochranami. Metodiky chránění jsou navrženy ve dvou základních předpisech SR 34 a ČSN 33 3051. Kromě těchto základních předpisů existují ještě další předpisy, které budou v této části práce také zmíněny (ČSN 33 3505 ed.2 a PNE 38 4065 4. vydání).

Princip postupu při výběru ochran dle ČSN 33 3051 kap. 3.1:

- Analýza a definice všech možných poruchových stavů
- Výpočet či změření mezních hodnot veličin pro nastavení ochran v závislosti na způsobu napájení TV
- Selektivnost ochran
- Výběr vhodných charakteristik ochran
- Zajištění zálohování ochran
- Vhodná konstrukce ochran
- Zajištění zkoušek a údržby ochran

## 1.1 Použité normy a předpisy

### 1.1.1 Základní předpisy pro chránění

- SR 34 (E) Služobná rukoväť – Nastavovanie, prevádzka a údržba reléových ochrán trakčného napájacieho obvodu
- ČSN 33 3051 – Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení

### 1.1.2 Doplňující normy pro chránění

- ČSN 33 3505 ed. 2 – Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Základní požadavky na elektrické napájecí a spínací stanice
- PNE 38 4065 4. vydání – Provoz, navrhování a zkoušení ochran a automatik
- ČSN EN 50 633 – Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Zásady ochran pro AC a DC elektrické trakční soustavy
- ČSN EN 50388 ed. 2 – Drážní zařízení – Napájení a drážní vozidla – Technická kritéria pro koordinaci mezi napájením (napájecí stanicí) a drážními vozidly pro dosažení interoperability

- ČSN EN 50122 ed.2 – Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Elektrická bezpečnost, uzemňování a zpětný obvod – Část 1: Ochranná opatření proti úrazu elektrickým proudem

**Pozn.:** Metodika chránění TV distanční ochranou a jejího časového nastavení navržené normou ČSN EN 50 633 se v praxi zatím nepoužívá.

### 1.1.3 Ostatní normy

- ČSN 33 3265 – Měření elektrických veličin v dozornách výroben a rozvodu elektřiny
- PNE 18 4311 – Zásady jednotného grafického, písmenného a barevného kódování elektrických prvků a zařízení elektrizační soustavy

## 1.2 Selektivita

Schopnost ochran oddělit a vypnout pouze úsek s poruchou. Druhy selektivit i s popisem stanovuje norma ČSN 33 3051 kap. 4. V této práci budou využity tyto druhy selektivit:

- Časová selektivita – nadřazené ochrany mají delší časové zpoždění než ochrany podřizené
- Selektivita nastavením dané veličiny – nadřazená ochrana má vyšší nastavení (proudu, napětí apod., nejedná se o čas) než ochrana podřizená
- Selektivita zpracováním více veličin současně – příkladem je distanční ochrana, která zpracovává jak impedanci poruchové smyčky, tak časové zpoždění
- Informační selektivita – příkladem je rozdílová nebo logická ochrana, při této selektivitě se zpracovávají informace zasílané ochranami (často již digitálně)

V rámci informační selektivity je v práci využita vazba ochran pomocí tzv. blokovací vazby, která se realizuje pomocí GOOSE zpráv viz kap. 2.2.6 IED této práce. Vazba blokováním zajišťuje, že záložní ochrana nezareaguje dříve (při poruše) než podřizená ochrana, pokud podřizená ochrana správně plní svou funkci. Obě ochrany jsou v podstatě stejně časově zpožděné, a tím pádem dochází k rychlejšímu odstranění poruchy, než by tomu bylo při časové selektivitě, kdy by záložní ochrana odstranila poruchu mnohem později.



### 1.3 Zálohování ochran

Zálohování ochran popisuje norma ČSN 33 3051 kap. 5. V této práci bude využita:

- Vzdálená záloha – při selhání hlavní ochrany daného úseku vypíná poruchu hlavní ochrana vedlejšího úseku, která svým působením překrývá celý tento úsek
- Místní záloha – hlavní ochrana je doplněna další ochranou, může jít o druhou hlavní ochranu, obě ochrany chrání týž úsek (např. u transformátorů vvn/vn)

### 1.4 Poruchy

Dle ČSN 33 3051 se při navrhování ochran musí veškeré úseky rozvodů EE ochránit a sousedící ochranné oblasti se musí překrývat.

Základní poruchové stavy v TNS, NTS a na TV:

- Zkrat – způsobeno vnitřním zkratem na hnacích vozidlech, pádem TV na kovové konstrukce podél tratí popř. pádem na zem za současně příznivých podmínek pro vznik zkratu (vlhko, mokro, teplo atd.), pádem stromu nebo větvi na TV (vznik zkratu také ovlivňuje počasí), zatečením vody do rozvaděčů v TNS a NTS, únavou materiálu vedoucí např. k prasknutí izolátorů apod.
- Nadproud (přetížení) – způsobeno vysokým odběrem hnacích vozidel (např. současný rozjezd více hnacích vozidel na tom samém úseku) nebo jako důsledek velmi omezeného vzdáleného zkratu
- Nadpětí – způsobeno špatným řízením napěťových odboček transformátoru nebo rekuperací vozidel (nebere se v potaz atmosférické přepětí)
- Podpětí – způsobeno zkratem nebo přílišným zatížením
- Zemní spojení (v IT soustavách) – způsobeno ztrátou izolačních vlastností okolí (např. únikem izolačního plynu SF<sub>6</sub> z rozvaděčů kombinované vysokým proudovým zatížením), ztrátou izolačních vlastností kabelového vedení (např. stárnutím izolace nebo vlhkostí) apod.
- Průraz na kostru neživé části – vnitřní porucha el. zařízení (např. transformátorů) způsobená např. stárnutím izolace, ztrátou izolačních vlastností nebo jako důsledek vlivu předchozí poruchy jiného typu (důsledek namáhání při zkratech a přetíženích) apod.

- Nesymetrické zatížení (vůči síti distributora EE) – způsobeno při napájení soustavy AC 25 kV 50 Hz vlivem dvoufázového připojení rozvodny 110 kV, kdy je ze dvou fází odebíraný veliký výkon (sníží se napětí v těchto fázích), přičemž z třetí fáze není odebíraný proud (napětí nabývá původní hodnoty)
- Zpětný tok výkonu do sítě distributora z TNS – způsobeno rekuperací vozidel

## **1.5 Časové nastavení ochran**

Pro správné časové nastavení je nutné dodržení bezpečných dotykových napětí, jejichž velikost je daná dobou trvání poruchy dle kap. 9 normy ČSN EN 50122-1 ed. 2. Nejvyšší (záložní/nadřazená) ochrana musí poruchu vypnout v takovém čase, aby nedošlo k nárůstu dovoleného dotykového napětí nad dovolenou mez.

## **1.6 Ochrany neživých částí**

Pro všechny předpisy pak platí, že všechny neživé kovové části TNS musí být elektricky pospojovány (tzv. zelenožlutá zem – ochrana před úrazem el. proudem) a uzemněny na společnou zemnicí síť. V případě TM musí být zajištěno, že zpětné kolejnicové vedení nebude nijak propojeno s touto společnou zemí (ČSN 33 3505 ed.2 kap. 6.2 - 6.3).

## **1.7 Omezovače přepětí a nadpět'ové ochrany**

V této práci se bude nadále uvažovat, že nadpětí je zvýšené napětí nad dovolené limity v rámci několika procent (řeší nadpět'ové ochrany) a že přepětí je zvýšené napětí až o desítky procent vlivem atmosférických vlivů popř. spínacích přepětí (tuto ochranu už řeší pouze omezovače přepětí a ne nadpět'ové ochrany).

Omezovače přepětí (ochrana před účinky atmosférických přepětí) pro chránění el. vedení a el. zařízení nezmiňuje žádná z uvedených metodik chránění. Metodika osazování jednotlivých částí TNS a NTS omezovači přepětí je komplikovaná a rozsáhlá, není tudíž předmětem této práce.

## 1.8 Obecná charakteristika předpisu SR 34

Předpis SR 34 navrhuje metodiky chránění TNS, NTS a SpS pro soustavy AC 25 kV, DC 3 kV, AC 6 kV (pouze v rámci jednoho napáječového vývodu, který je součástí TM) a TV. Předpis SR 34 nabyl účinnosti dne 14.07.1979. V této době bylo osazování ochran používaných v elektrické trakci podstatně dražší a těžší z důvodu realizace. V této době se využívaly reléové ochrany, které měly velké rozměry a byly zabudovány do rozměrných skříní. Pokud byl požadavek na chránění el. vedení nebo jednoho el. zařízení s více ochranami, často tyto ochrany využily celý prostor skříňového rozvaděče z důvodu výše zmíněných rozměrů tehdejších ochran. Zároveň pokud byla např. vyžadována nadproudová ochrana (vícefázová) s více stupni, bylo nutné pro každý stupeň mít zvlášť nadproudovou ochranu s daným nastavením proudu a času. To vedlo k výstavbám prostornějších budov pro umístění těchto rozvaděčů s ochranami jednotlivých el. zařízení.

### 1.8.1 Výhody reléových ochran

- Jednoduché ochrany – s tím souvisí jednoduché ochranné funkce (např. kontrola měřeného proudu a času)
- Jednoduchá údržba
- Jednoduché nastavení ochrany

### 1.8.2 Nevýhody reléových ochran

- Značné rozměry ochrany – prostorová náročnost při instalaci
- Použití více ochran pro jedno el. zařízení – prostorová náročnost při instalaci
- Obsah jednoduchých ochranných funkcí – jedná se zároveň o nevýhodu z hlediska prostorové náročnosti při instalaci v případě, kdy pro chránění vyžadujeme více ochranných funkcí, popř. využití vícestupňové ochrany (pro každý stupeň jedna ochrana)
- Cena – souvisí s druhým a třetím bodem (prodražování)
- Ochrany by mezi sebou sice dokázaly komunikovat např. telefonním kabelem, popř. pomocí reléových obvodů – realizace této komunikace byla však drahá
- Nutná častější kontrola – nestálost elektromechanických zařízení ochran (pružinky apod.)

Z důvodů vyplývajících z výhod a nevýhod reléových ochran volí předpis SR 34 relativně jednoduchou metodiku chránění poplatnou době (avšak obecně správnou) s použitím ochranných funkcí, které dostačují pro chránění jednotlivých úseků a elektrických zařízení.

Předpis SR 34 také ve své metodice chránění navrhuje ochranu nesouhlas pólů (tehdy nutnou) pro výkonový vypínač v místní rozvodně 110 kV. Důvodem bylo použití jednopólových výkonových vypínačů, kdy každý výkonový vypínač měl vlastní pohon (vícepólové výkonové vypínače se pro takový výkon nevyráběly). Účelem této ochrany tedy bylo zabránit sepnutí/vypnutí jednotlivých výkonových vypínačů v různých okamžicích.

Předpis SR 34 dále navrhuje metodiku výpočtů pro nastavení jednotlivých ochran, která se v drážní energetice využívá dodnes. V tabulkách tohoto předpisu jsou dány odpory (popř. impedance) jednotlivých sestav a konfigurací TV pro střední opotřeбенí drátu 20 % a pro teplotu vodičů 20 °C (viz Příloha E pro soustavu DC 3 kV a Příloha H pro soustavu AC 25 kV).

## **1.9 Obecná charakteristika normy ČSN 33 3051**

Norma ČSN 33 3051 byla schválena dne 1.11.1992 a řadí se mezi stále používané a relativně moderní normy. Předmětem normy jsou všeobecné požadavky na návrh systému chránění el. strojů a rozvodných zařízení, které se také uplatňují v drážní energetice. Oproti předpisu SR 34 nespécifikuje tato norma konkrétní ochrany pro chránění jednotlivých el. zařízení, ale pouze typy ochranných funkcí.

Ochrany během předešlých let prošly rozsáhlým vývojem, který umožnil automatizaci řízení rozvoden (TNS, NTS a SpS). IED (intelligent electronic device) je obecné označení dnešních moderních číslicových ochran (funkce ochrany je zajištěna řídicím mikroprocesorem), které umožnily výše zmíněnou automatizaci řízení rozvoden (spolu s centrálním řízením z dispečinku).

### **1.9.1 Výhody číslicových ochran (IED) oproti reléovým ochranám**

- Obsahuje více ochranných funkcí v jednom přístroji, prostorově úsporné
- IED obsahují zpravidla kontrolní funkce – sebekontrola
- Možnost komunikace ochran IED – IED ochrany dokážou komunikovat mezi sebou (součinnost ochran, blokování apod.) a nadřazeným zařízením (řízení IED, dálkové nastavení, sběr dat apod.)

- Možnost analýzy poruchových a stavových událostí – IED nahrávají do svých pamětí všechny události, které lze následně analyzovat
- Digitální zobrazování např. měřených veličin, jednopólového schématu, jednotlivých zpráv událostí (např. alarmy, poruchy) apod. – všechna data z IED jsou dostupná místně i dálkově
- Nastavování ochran a jejich řízení lze provádět místně nebo dálkově

### **1.9.2 Nevýhody číslicových ochran (IED) oproti reléovým ochranám**

- Ochrany jsou složitější – vyšší nároky na obsluhu (různá menu ochran) a techniky ochran (práce na PC, programování ochran apod.), složitostí se zvyšuje možnost omylu při programování a nastavování ochrany

Se snížením cen ochran v drážní energetice se transformátory vvn/vn vybavují dvěma hlavními ochranami, z nichž jedna plní funkci záložní ochrany, nebo se využije systém sebekontroly ochrany IRF (internal relay fault – kontrola HW a SW vybavení ochrany). Systém IRF je levnější (bývá součástí číslicové ochrany), avšak méně spolehlivou variantou.

Pro nastavování ochran a výpočet zkratových proudů platí metodika výpočtů stanovená předpisem SR 34.

## **1.10 Příklad porovnání reléové a číslicové ochrany**

Pro názornost je v této části porovnána trojfázová nadproudová časově nezávislá reléová ochrana AM32X1, která se využívala dříve, s číslicovou ochranou REF630 pro chránění, monitorování a ovládání vývodů rozveden, která se využívá dnes namísto reléových ochran. V praktickém porovnání jsou patrné rozdíly těchto ochran, ze kterých si lze odvodit výhody a nevýhody, které jsou popsány výše.

LHMI (Local Human Machine Interface) je rozhraní pro místní ovládání, WHMI (Web Human Machine Interface) je rozhraní k ovládání IED skrze internetový prohlížeč (rozhraní jsou popsána v kap. 2.2.6 IED). Výčet ochranných funkcí pro ochranu REF630 neobsahuje všechny funkce, pouze základní ochranné funkce (z důvodu počtu a prostorové úspory – ochranné funkce jsou označeny v manuálu výrobce stanovenými mezinárodními kódy viz kap. 2.1 Mezinárodní kódy ochranných funkcí).

V následující tabulce jsou patrné základní rozdíly mezi dříve využívanou ochranou a ochranou využívanou dnes. Skříně IED ochrany 4U a 6U se od sebe liší počtem přídatných

binárních modulů (I/O modulů a tím i svými rozměry), skříň 6U má celkově 4 přídavné moduly a skříň 4U dva (platí pro REF630) – zdroj [18].

**Tab. 1.1: Porovnání ochran AM32X1 a REF630**

<b>Vlastnosti</b>	<b>AM32X1</b>	<b>REF630</b>
Hmotnost	5,5 kg	Skříň 4U – 6,2 kg Skříň 6U bez jednotky LHMI – 5,5 kg LHMI – 1 kg (skříň 4U)
Šířka	212 mm	220 mm
Výška	468 mm	Skříň 4U – 177 mm Skříň 6U – 265,9 mm
Hloubka	172 mm	249,5 mm
Ochranné funkce	třífázová nadproudová čas. nezávislá	Zkratové a nadproudové chránění, vícestupňové nadproudové ochrany Ochrana proti tepelnému přetížení – pro venkovní vedení a kabely Směrová a nesměrová zemní ochrana Vícestupňová podpět'ová a přepět'ová ochrana Distanční ochrana Nadfrekvenční, podfrekvenční ochrana, změna frekvence atd.. (nabízí více jak 20 ochranných funkcí v závislosti na konfiguraci IED)
Nastavení ochran	Pouze místně - mechanické	Místní ovládání přes panel LHMI – číslicově Dálkové ovládání přes WHMI - číslicově
Samočinná kontrola (sebemonitorování)	Ne	Ano
Konstrukce	Jednoduché reléové zařízení	Složité číslicové obvody

### **Zhodnocení**

Z hlediska rozměrů můžeme říci, že ochrana AM32X1 je vyšší. Ostatní rozměry jsou spolu s váhou obou zařízení velmi podobné a nejsou mezi těmito ochranami podstatné rozdíly. Největší rozdíl, ze kterého vyplývá mnoho výhod při použití IED pro chránění je obsah ochranných funkcí vzhledem k rozměrům zařízení.

## 1.11 Porovnání metodik chránění dle SR 34 a ČSN 33 3051

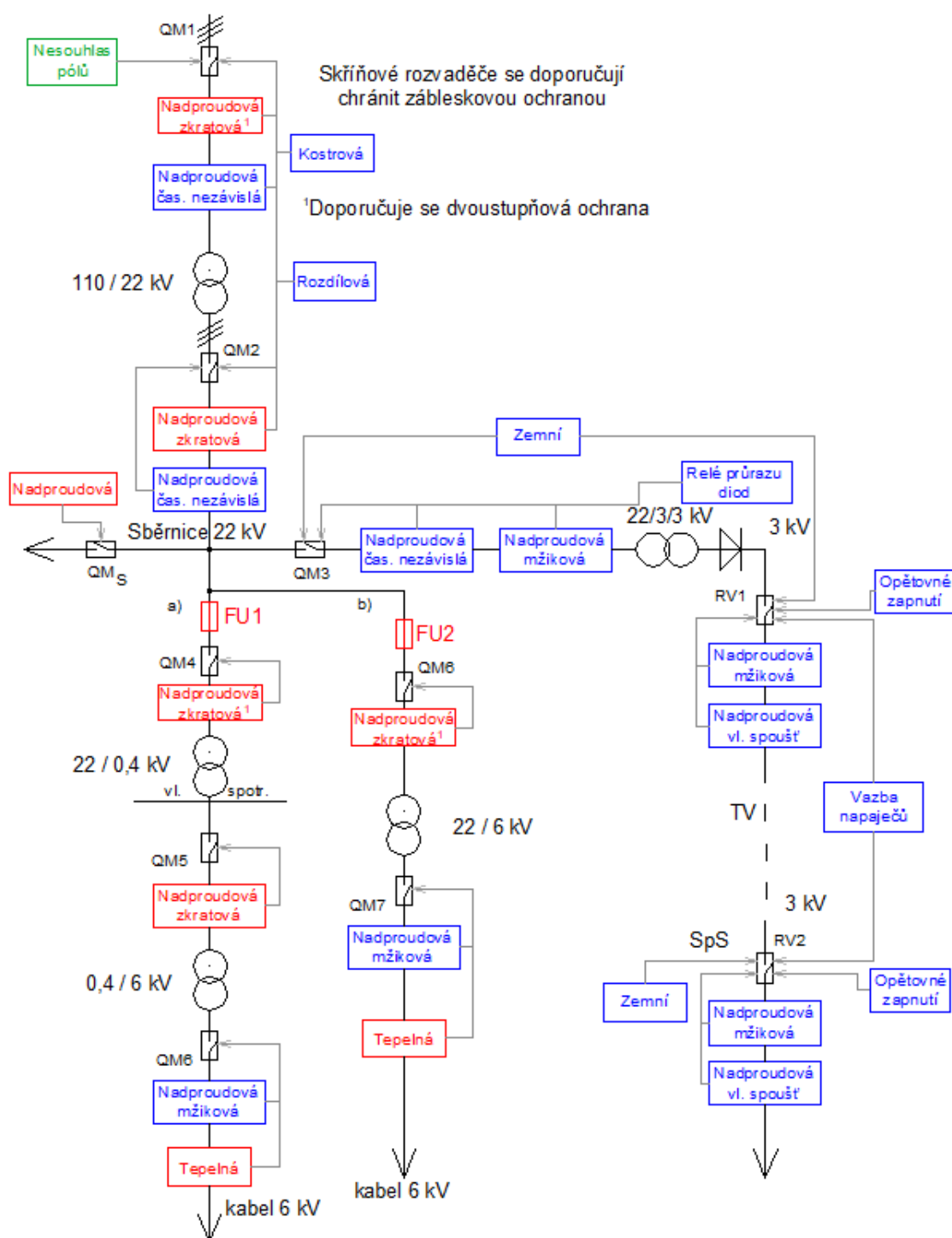
Porovnání metodik chránění jednotlivých předpisů je znázorněno na následujících schématech pro jednotlivé druhy napájecích systémů. SR 34 neobsahuje metodiku chránění pro FKZ, FKZ se chrání dle ČSN 33 3505 ed.2 viz kap. 3.2 Ochrany FKZ.

SR 34 dále neobsahuje metodiku chránění samostatných rozveden pro napájení zabezpečovacího zařízení (a dalších potřeb dráhy) pomocí tzv. napájecích trafostanic (dále jako NTS). SR 34 obsahuje pouze chránění jednoho vývodu na kabelové vedení 6 kV. Chránění rozvodu 6 kV dvěma způsoby je znázorněno na Obr. 1.1 – v tomto případě je NTS součástí TM.

Pro lepší porovnání jsou schémata vytvořena z jednoduchých principiálních zapojení inspirované předpisem SR 34. Porovnání jednotlivých metodik je vytvořeno kombinací barev – **modrou barvou** jsou označeny ochrany, které jsou pro oba předpisy společné, **červenou barvou** jsou označeny ochrany, které jsou použité z metodiky chránění navržené normou ČSN 33 3051 doplněné normou ČSN 33 3505 ed.2 a jsou rozdílné oproti ochranám použitých předpisem SR 34, **zelenou barvou** jsou pak označeny ochrany, které navrhoval předpis SR 34, ale dnes se již tolik nepoužívají vzhledem k novým konstrukcím.

Výkonové vypínače s indexem S ( $QM_S$ ) značí výkonový vypínač ve spojení s příslušnou ochranou – místo těchto výkonových vypínačů lze použít odpínačů nebo odpojovačů bez ochrany. Ve schématech nejsou zobrazeny PTP, PTN a odpojovače.

### 1.11.1 Porovnání chránění v soustavě DC 3 kV

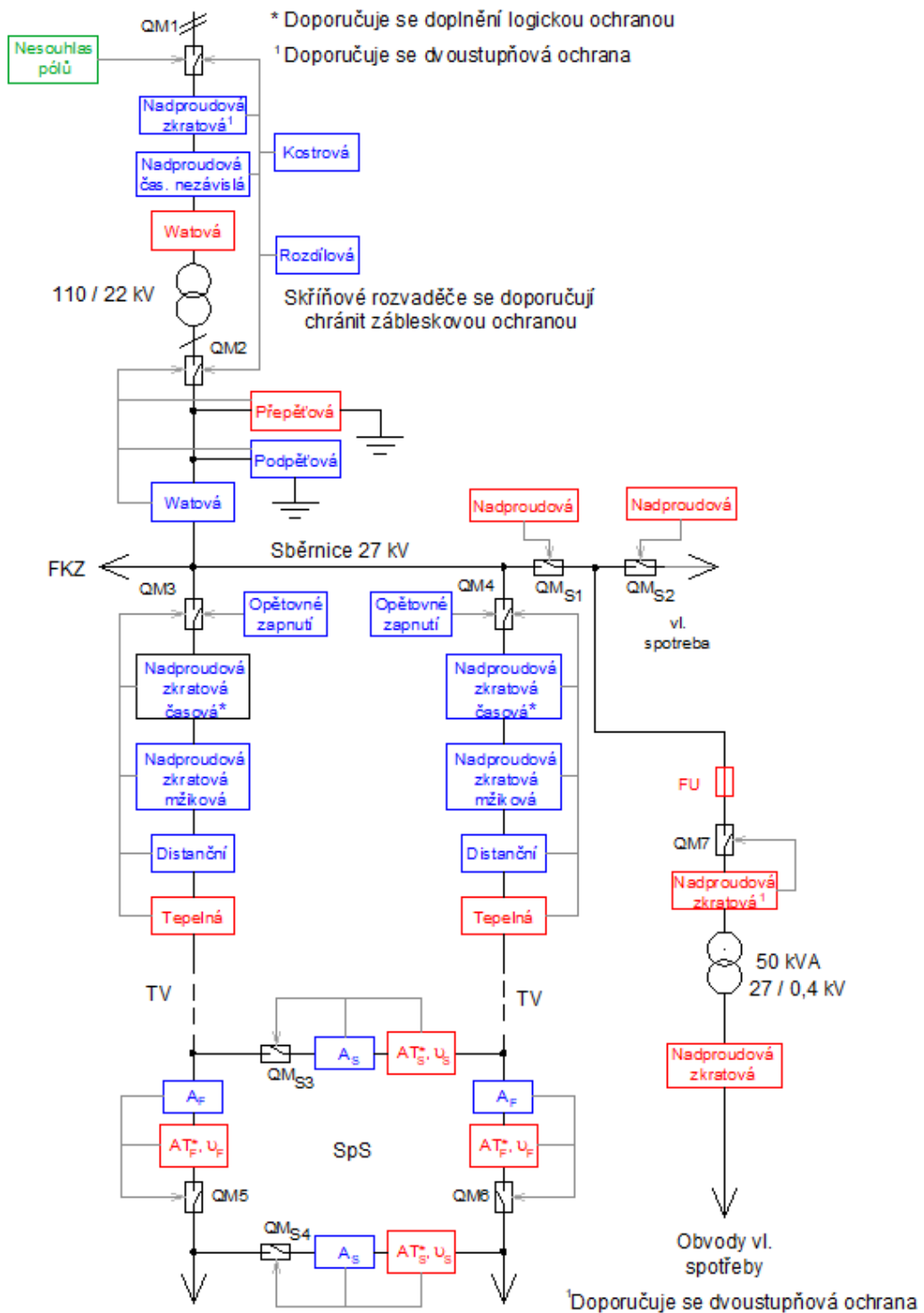


**Obr. 1.1: Schéma ochran pro chránění TM**

**Pozn.:** Tepelné ochrany za vypínači QM6 a QM7 jsou ochranami kabelového vedení pro lepší využití kabelů viz chránění NTS kap. 3.3.6 Ochrana kabelového vedení 6 kV. Chránění je principiálně v souladu s přílohou A (viz Příloha A).



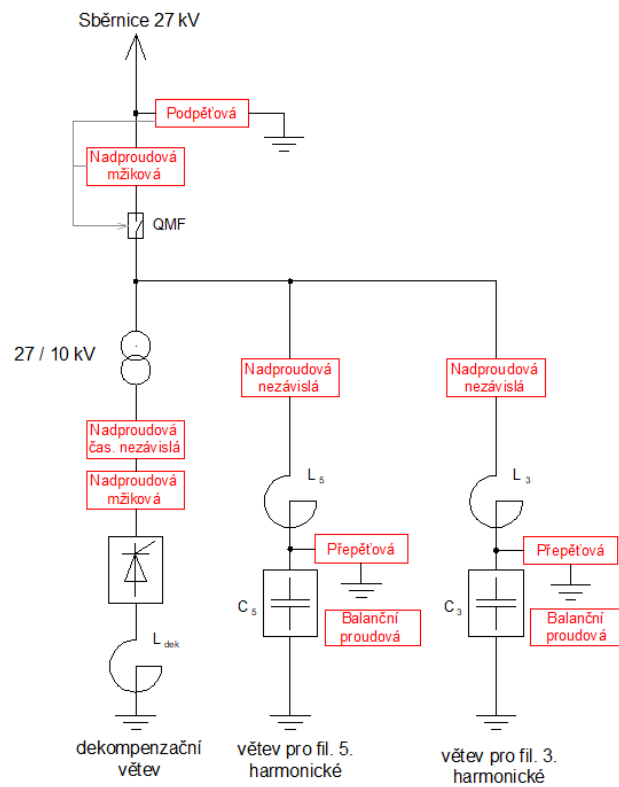
### 1.11.2 Porovnání chránění v soustavě AC 25 kV



**Obr. 1.2: Schéma ochrany pro chránění TT**

Z důvodu prostorové náročnosti byly pro ochrany v SpS použity jejich zkratky, kde  $A_X$  jsou mžikové ochrany TV,  $AT_X$  jsou časové nadproudové ochrany TV a  $U_X$  je tepelná ochrana TV. Index F značí ochranu ve fázi, index S značí ochranu ve spojnici. Chránění je principiálně v souladu s přílohou B (viz Příloha B).

## Ochrany FKZ



**Obr. 1.3: Schéma ochran pro chránění FKZ**

Ochrany jednotlivých větví FKZ působí na výkonový vypínač QMF. Jak již bylo uvedeno, předpis SR 34 nijak neupravuje chránění FKZ a jeho přívodu. Princip chránění je stanoven normou ČSN 33 3505 ed. 2.

## 2 Definice jednotlivých částí systému

### 2.1 Mezinárodní kódy ochranných funkcí

V současnosti jsou digitální ochrany multifunkční – integrují v sobě množství ochranných funkcí (již jednotlivých ochran jako např. nadproudová, rozdílová apod.). Každá ochranná funkce pak má své kódové označení, pod kterým je její ochranná funkce definována. ANSI kód patří mezi starší kódy z níže uvedených kódů, ale stále patří k nejpoužívanějším. Na následující tabulce jsou zobrazeny vybrané ochranné funkce s jejich kódovým označením (zdroj [8], [16], [20], [31], [32] a [40]).

**Tab. 2.1: Mezinárodní kódy vybraných ochranných funkcí**

Název ochranné funkce	ANSI	IEC	IEC 61850	SR 34	PNE 18 4311
Distanční ochrana	21	Z<	PDIS	D 25	F25
Lokace poruchy	FL, 21FL	-	SCEFRFLO	-	F97
Nahrávání poruch	FR	-	RDRE	-	F98
Kontrola synchronizace - napěťová	25	SYNC	RSYN	-	F21
3-f, 1-f podpěťová ochrana	27	3U<, U<	PTUV	- , V11	F37
Směrová ochrana proti zpětnému/dopřednému toku výkonu	32	P<>, Q<>	PDUP	-	F15
Proudová balanční ochrana	46	I <sub>2</sub> /I <sub>1</sub> >	PTOC	-	F55
Napěťová balanční ochrana	47	V <sub>2</sub> /V <sub>1</sub> >	PTOV	-	F55
Teplotní ochrana proti přetížení	49	v>	PTTR	-	-
3-f teplotní ochrana proti přetížení transformátoru	49T	3v>	PTTR	-	-

Název ochranné funkce	ANSI	IEC	IEC 61850	SR 34	PNE 18 4311
Teplotní ochrana pomocí RTD nebo termistory	49/38	-	PTTR	-	-
Ochrana při poruše vypínače – detekce proudu	50BF	CBFP ( $I_{\min}>$ )	CCBRBRF	-	F32
Ochrana při poruše vypínače – detekce fázového a nulové složky proudu	51BF/51NBF	$3I>/I_0>$ BF	CCBRBRF	-	F32
Nadproudová mžiková	50	$I>>, I>>>$	PTOC	A, A12, A11 atd.	-
Záblesková ochrana	50/50NL, 50L/50NL	ARC	SARC	-	F18
Nadproudová časově nezávislá fázová a zemní	50, 50N	$I>, I>>, I>>>, I_E>, I_E>>, I_E>>>$	PTOC	AT11, A3T, AM13, AM12 atd.	F11
AC nadproudová časová (fázová), nižší stupeň nastavení	51	$I>$	PTOC	AT11, A3T, AM13, AM12 atd.	-
3-f, 1-f nadpět'ová ochrana	59	$3U>, U>$	PTOV	- , V11	F36
Nadpět'ová zemní ochrana	59N	$U_0>$	PTOV	-	-
Detekce poruchy pojistek	60	FUSEF	RFUF	-	-
Ochrana při poruše vypínače – časové relé	62BF	CBFP	RBRF	-	F32
Směrová nadproudová ochrana pro AC veličiny	67	$I_{\text{dir}}>$	PDOC	-	-
Směrová zemní nadproudová ochrana pro AC veličiny	67N	$I_{\text{Edir}}>$	PDEF	-	-
DC nadproudová ochrana	76	$I>$	PTOC	-	-

Název ochranné funkce	ANSI	IEC	IEC 61850	SR 34	PNE 18 4311
Automatické opětovné zapnutí vypínače	79	0→I	RREC	OZ	F28
Frekvenční ochrana	81	f>/f<, df/dt	PFRQ	-	F39
Nadfrekvenční a podfrekvenční ochrana	81H (81O), 81L (81U)	f>, f<	PTOF, PTUF	-	F39
Frekvenční ochrana změny frekvence	81R	df/dt	PFRC	-	F39
Komunikační logika ochran	85	CL	CPSCH	-	F27
Ochrana při poruše vypínače – vypínací relé	86BF	CBFP	CCBRBRF	-	F32
Proudová rozdílová ochrana	87	$\Delta I$	PDIF	R21T	F30, F31
Logická ochrana přípojnic, společná hlášení z ROP a ASV	-	-	-	-	F33

Kde ROP je rozdílová ochrana přípojnic

ASV..... automatika při selhání vypínače (RBRF)

> .....značí první stupeň nastavení ochrany

>> .....druhý stupeň nastavení ochrany

>>>.....třetí stupeň nastavení ochrany

**Pozn.:** Ochrana pod označením 50 (I>>) je sice v tabulce výše nazvaná jako nadproudová mžiková, ale toto kódové označení se používá i pro nadproudové zkratové ochrany. Obě ochrany (ochranné funkce) chrání dané zařízení před blízkými zkraty (jsou v podstatě stejné). Jediným rozdílem je to, že nadproudová zkratová ochrana je časově zpožděná např. o 50 ms, 100 ms nebo 150 ms (i tak se jedná o rychlé časy vypnutí), zatímco mžiková je bez časového zpoždění.

## 2.2 Specifikace měřících přístrojů

### Konvenční měřící prvky

- Měření AC veličin - PT se používají pro měření AC veličin pro vn, do 1000 V a 60 A není použití PT nutné (dle ČSN 33 3265 kap. 1.3.2)
- Měření DC veličin – bočník nebo transduktor (dle ČSN 33 3265 kap. 1.3.3)

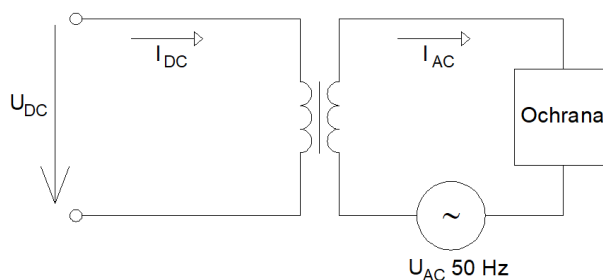
### Moderní měřící prvky

- Pro měření AC veličin se začíná využívat senzorů (Hallovyh sond a Rogovského cívek), a také napět'ových děličů
- Pro měření DC veličin se začínají uplatňovat Hallovy sondy

#### 2.2.1 Transduktor

Transduktor je elektrotechnické zařízení pracující na principu přesytky, tedy na principu sycení magnetického jádra transformátoru. Jedná se o dvě vinutí cívek navinuté na společném jádře, kde je jedno vinutí připojeno na obvod s DC veličinami a druhé vinutí připojeno na zdroj AC napětí.

DC proud procházející jedním vinutím dle své velikosti sytí více či méně jádro transduktoru, čímž mění indukčnost na druhém vinutí, kterým prochází AC proud. Čím vyšší je hodnota DC proudu, tím je vyšší indukčnost druhého vinutí (zvyšuje se impedance) a tím je AC proud menší. Nové měřící přístroje tohoto typu se zpravidla již moc neosazují (zdroj [13]).



**Obr. 2.1: Principiální zapojení transduktoru**

- Kde  $U_{DC}$  je DC napětí v rozvodně [V]  
 $I_{DC}$ .....DC měřený proud rozvodny [A]  
 $I_{AC}$ .....AC snímaný proud ochranou [A]  
 $U_{AC}$ .....AC pomocný zdroj pro generování proudu  $I_{AC}$  [V]

## 2.2.2 Specifikace PTP

Požadavky na PT (přístrojové transformátory) udávají normy ČSN 33 3051 kap. 3.4, PNE 38 4065 kap. 37 – 55, ČSN 33 3505 ed.2 kap. 5.13 a norma ČSN 33 3265. PTP se využívají pro informativní měření, pro jistící přístroje a regulační přístroje. Každý režim měření má pak jiné požadavky na třídu přesnosti a pracovní oblasti PTP. V této práci se budeme zabývat pouze jistícími PT (PT pro ochrany).

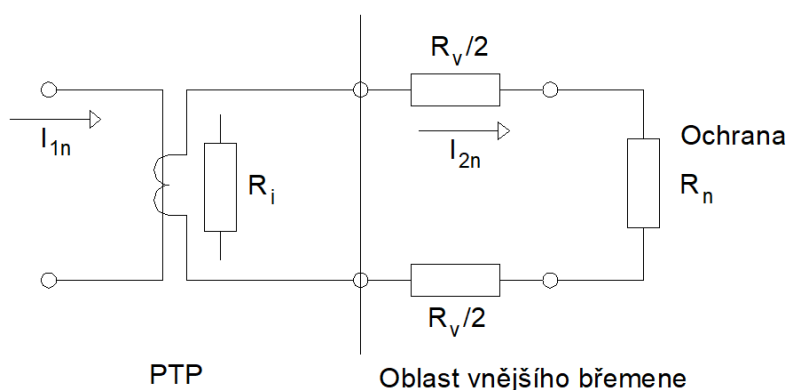
Principem volby PT je zajištění spolehlivé činnosti připojených ochran. Jistící PT nemusejí být tak přesné jako jsou měřicí PT, ale mají mít velký rozsah měření a velkou rychlost přenosu (rychlost odezvy) – aby zaznamenaly i rychlé přechodové děje objevující se při poruchách. Následující informace jsou ze zdroje [12] a [50].

**Tab. 2.2: Konstrukce PTP**

Konstrukce		Výhoda
Průvlekové PTP	S děleným magnetickým obvodem	Dovoluje přidat PTP už na instalované vedení
	S neděleným magnetickým obvodem	Vykazuje stabilnější parametry oproti předchozí konstrukci
Standardní konstrukce	Jednojádrové	Jednodušší a levnější, horší přesnost jistících PTP (1 % až 3 %) postačuje jak pro jištění, tak pro provozní měření
	Dvoujádrové	<b>Dnes se výhoda již neprojeví,</b> dříve chránilo jedno jádro svým nasycením při poruchových stavech citlivé ručkové přístroje

Některé standardní konstrukce PTP dovolují přepínáním svorek na své primární a sekundární straně měnit svůj převod během životnosti zařízení (zdroj [29]).

### Zapojení standardního PTP



**Obr. 2.2: Zapojení standardního PTP k chráněnému objektu, zdroj [50]**

Kde  $I_{1n}$  je měřený proud chráněného objektu [A]

$R_n$ .....činný odpor chráněného objektu [ $\Omega$ ]

$I_{2n}$ .....snímaný proud ochranou [A]

$R_v$ .....činný odpor připojených kabelů/vedení [ $\Omega$ ]

$R_i$ .....vnitřní břemeno PTP (vnitřní odpor sekundárního vinutí PTP) [ $\Omega$ ]

Nejdůležitější parametry, které je nutné brát v potaz pro návrh jisticího PTP, jsou vypsány v příloze O (viz Příloha O). Dále zde budou uvedeny pouze požadované třídy přesnosti.

### Požadované třídy přesnosti

Požadované třídy přesnosti jisticích jader PTP dle norem jsou 5P a 10P, kde P značí „jisticí“ a číslo před P značí celkovou chybu v procentech. Za P se pak přepisuje číslo značící velikost jmenovitého nadproudového čísla, např. 5P20 (jmenovité nadproudové číslo je 20).

*Tab. 2.3: Třídy přesnosti jisticích PTP, zdroj [12]*

Třída přesnosti	Provozní oblast (při jmenovitém primárním proudu)		Celková chyba při jmenovitém nadproudu
	Chyba proudu $\pm\sigma_I$ [%]	Chyba úhlu $\pm\varphi_I$ [min]	$\pm\sigma_C$ [%]
5P	1	60	5
10P	3	-	10

Pro potřebu jištění (chránění) je důležitý správný výpočet výše uvedených parametrů PTP, které ovlivní následný výběr PTP.

### Příklad výpočtu skutečného nadproudového čísla dle metody AREVA

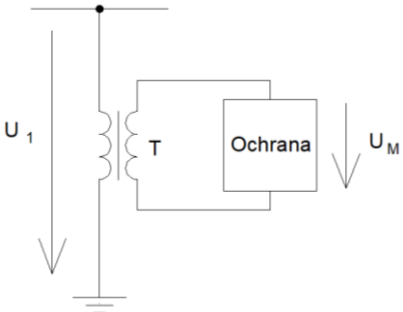
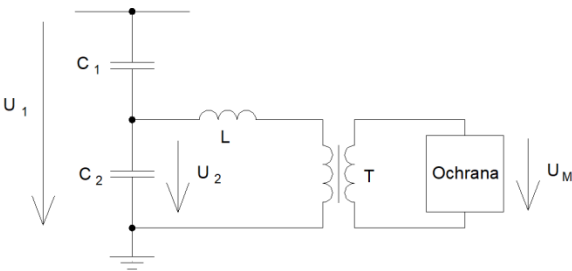
V příloze P (viz Příloha P) je uveden příklad výpočtu parametrů PTP dle metody AREVA, které je nutné znát pro výběr vhodného jisticího PTP. Skutečné nadproudové číslo bude většinou větší (menší být nesmí) než jmenovité nadproudové číslo.

### 2.2.3 Specifikace PTN

PTN se využívají pro informativní měření, pro jisticí přístroje a regulační přístroje. Každý režim měření má pak jiné požadavky na třídu přesnosti. V této práci se budeme zabývat pouze jisticími PTN. Oproti jisticím PTP převádějící vysoké zkratové proudy, PTN nepřevádí přepětí (vyšší napětí o desítky procent nad dovolené hodnoty). Není to potřeba z důvodu, že ochranu před těmito přepětími zajišťují omezovače přepětí. Výběr PTN a jejich výpočty jsou proto mnohem jednodušší – mají prakticky pouze pracovní oblast, nemají žádnou přepěťovou oblast obdobné nadproudové oblasti u PTP (následující informace jsou ze zdroje [12] a [50]).



**Tab. 2.4: Konstrukce PTN**

	Konstrukce	Výhoda
Standardní konstrukce		<p>Je přesnější a spolehlivější než kapacitní transformátor napětí.</p> <p>Kde <math>U_1</math> je měřené napětí [V]  <math>T</math>.....PTN [-]  <math>U_M</math>...změřené napětí ochranou [V]</p>
Kapacitní transformátor napětí		<p>Velikou výhodou je cena oproti standardní konstrukci – kapacitní dělič je relativně levný.</p> <p>Kde <math>U_1</math> je měřené napětí [V]  <math>C_1, C_2</math>...kapacitní dělič napětí [F]  <math>L</math>...tlumivka zmenšující kapacitní reaktanci děliče [H]  <math>U_2</math>...výstupní napětí děliče [V]  <math>T</math>.....transformátor [-]  <math>U_M</math>...změřené napětí ochranou [V]</p>

V příloze Q (viz Příloha Q) jsou uvedeny pouze důležité vlastnosti PTN, které je potřeba pro návrh chránění brát v úvahu. Zde budou uvedeny pouze požadované třídy přesnosti pro jistící PTN.

### Požadované třídy přesnosti

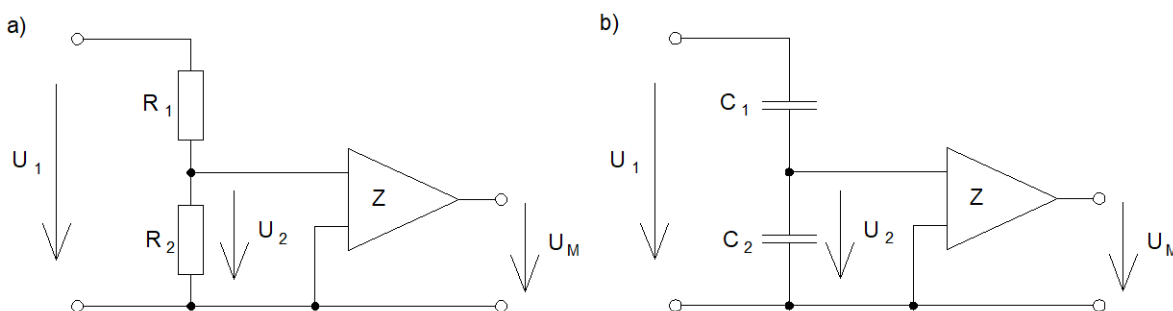
Požadované třídy přesnosti pro jistící PTN jsou 3P a 6P dle normy PNE 38 4065 kap. 48.

**Tab. 2.5: Třídy přesnosti jistících PTN, zdroj [6] a zdroj [12]**

Třída přesnosti	Chyba napětí $\pm \sigma_U$ [%]	Chyba úhlu $\pm \varphi_U$ [min]
3P	3	120
6P	6	240

## 2.2.4 Děliče napětí

Patrnou výhodou použití děliče napětí je, že ke snížení napětí není nutné použít snížovacího transformátoru napětí – vše závisí na vhodné volbě prvků děliče, který může být buď odporový, nebo kondenzátorový.



**Obr. 2.3: Elektronické děliče napětí – a) s odporovým děličem, b) s kapacitním děličem, zdroj [50]**

Kde  $U_1$  je měřené napětí [V]

$C_1, C_2$ .....kapacitní dělič napětí [F]

$R_1, R_2$ .....odporový dělič napětí [ $\Omega$ ]

$U_2$ .....výstupní napětí děliče [V]

Z .....zesilovač

$U_M$  .....měřené napětí ochranou [V]

Kapacitní dělič je výhodnější než odporový, má menší ztrátový výkon, menší závislost na teplotě a je jednodušší vzhledem k realizaci (zdroj [50]).

## 2.2.5 Senzory

Uvedené principy měření el. veličin pomocí senzorů (Hallových sond a Rogovského cívky) jsou už dlouhou dobu známé, jejich výhodné vlastnosti se však mohly využít až s příchodem univerzálních elektronických relé (zdroj [44]).

Senzory se využívají z důvodů dosažení lepších parametrů (např. citlivosti, zvýšení přesnosti měření nebo zvětšení měřicího rozsahu) měření a snížení vlastních rozměrů oproti PT. V TNS, NTS a SpS se dnes začínají používat Rogovského cívky (výrobcem je např. ABB) a Hallové sondy (výrobcem je např. LEM a ABB).

## Výhody a nevýhody senzorů oproti PT

Tab. 2.6: Výhody a nevýhody senzorů oproti PT, zdroj [21,27 a 24]

Výhody oproti PT	Nevýhody oproti PT
Malé rozměry	<p>Jeden senzor zabere jeden vstup do IED – dáno odporem připojeného kabelu mezi senzorem a IED, kde odpor tohoto vodiče má vliv na přesnost měření (Při koupi senzoru je výrobcem dodáván právě tento připojovací kabel, který má výrobcem specifikovanou délku a odpor, jedná se o proměřený připojovací kabel s garantovaným odporem)</p> <p><b>~ tuto nevýhodu odstraňuje tzv. „proces bus“ ~</b></p>
Malá hmotnost	
Nízká spotřeba	
Linearita – větší měřicí rozsah (také větší frekvenční rozsah), jedná se o největší výhodu	
Chyba měření je konstantní – dá se v IED pomocí korekčního činitele zmenšit nebo úplně odstranit	
Nízké ztráty	
Vysoká spolehlivost	
Jednoduchá obsluha a údržba	
Nenáročná na výpočty oproti PTP	

### Vysvětlení k nevýhodě senzorů

Při připojení více IED se přirozeně zvyšuje odpor připojených kabelů a zvětšuje se tím chyba měření. U PTP a PTN se mohlo připojit více měřících a jisticích zařízení na jejich sekundární vinutí s platnou podmínkou, že jejich výkon se zahrnutím ztrát na odporech vodičů nesmí překročit výrobcem daný jmenovitý výkon. Zpravidla se však využívá jednoho sekundárního vinutí PTP pro jednu ochranu.

### Process bus

Využívá se „smart“ senzorů, které se připojí např. pomocí optického kabelu na datovou sběrnici – tok dat je už od senzoru digitální. Jedná se o sběrnici, která zajišťuje datové propojení (datovou komunikaci) mezi čidlem a IED a mezi IED navzájem. Tím dochází k současnému přenosu měřené informace od senzoru do více IED zařízení ve stejný okamžik (s přijatelným zpožděním).

**Poznámka:** Sensory dále využívají stejné značení přesností a jednotlivých el. parametrů jako PTP a PTN (viz kap. 2.2.2 Specifikace PTP a kap. 2.2.3 Specifikace PTN).

Konkrétní příklady používaných senzorů v drážní energetice jsou uvedeny v příloze S (viz Příloha S) spolu s popsáním jejich principů měření daných veličin.

### 2.2.6 IED

IED je zkratkou anglického názvu pro mikroprocesorové ochrany a znamená inteligentní elektronické zařízení (Intelligent Electronic Device). IED je místně nastavitelná a ovládatelná přes LHMI (Local Human Machine Interface) rozhraní, které zahrnuje displej, tlačítka, LED indikátory a komunikační port. Výrobci IED jsou například Siemens, ABB, Areva nebo Alstom. Funkce IED je:

- Monitorování – sledování provozního stavu IED, a také provozních podmínek el. rozvodů nebo el. zařízení
- Měření – velikosti efektivních hodnot napětí, proudů, výkonů apod.
- Chránění – rozvodů EE a el. zařízení
- Ovládání – vypínačů, stykačů, relé

IED také obsahuje WHMI (Web Human Machine Interface) rozhraní pro přístup k nastavení a ovládání IED skrze internetový prohlížeč místně (přes komunikační port) nebo dálkově (např. přes síť LAN/WAN). Toto rozhraní plní stejné funkce jako rozhraní LHMI.

Principem IED je automatizace chránění el. rozvodů a el. zařízení, ve kterém spolu jednotlivá IED zařízení komunikují (např. formou Ethernetové sítě – komunikace se především řídí komunikačním protokolem IEC 61850).

#### **Sebekontrola (monitorování vlastních funkcí)**

IED mají zpravidla integrované funkce pro monitorování jejich HW a SW vybavení v provozních podmínkách. Při detekci vlastní poruchy IED vysílá informaci o této poruše na řídicí pracoviště jako výstrahu. V případě, že se jedná o poruchu přetrvávající, jsou ochranné funkce IED blokovány z důvodu jejich nesprávné funkce (chybnému vypnutí) – zdroj [20]. Tato funkce se v IED nazývá IRF (funkce samočinné kontroly) nebo WD (watchdog).

#### **Komunikace**

Pro automatizaci chránění rozvodů je komunikace nutným prvkem pro spolehlivou činnost ochrany s ohledem na jejich součinnost (selektivita, blokování apod.) a řízení (především dálkové z dispečerského centra). IED zařízení většinou podporuje více komunikačních protokolů – tyto protokoly umožňují komunikaci mezi IED zařízeními, jejich řízení a přenos informací na řídicí pracoviště. Díky těmto protokolům je možná komunikace mezi IED zařízení od různých výrobců. Příkladem používaných komunikačních protokolů jsou v současnosti např. protokoly IEC 60870-5-103, IEC 61850, Modbus nebo DNP3

(sériová nebo TCP/IP) používaný k připojení IED k systému automatizace rozvodů a ke SCADA systémům, popř. systému PACis (zdroj [18] a [19]).

Komunikaci můžeme rozdělit na:

- Komunikace IED zařízení mezi sebou (horizontální komunikace)
- Komunikace IED s nadřazeným systémem

Vybrané zprávy horizontální komunikace:

- GOOSE zprávy
- GSSE zprávy
- SMV zprávy

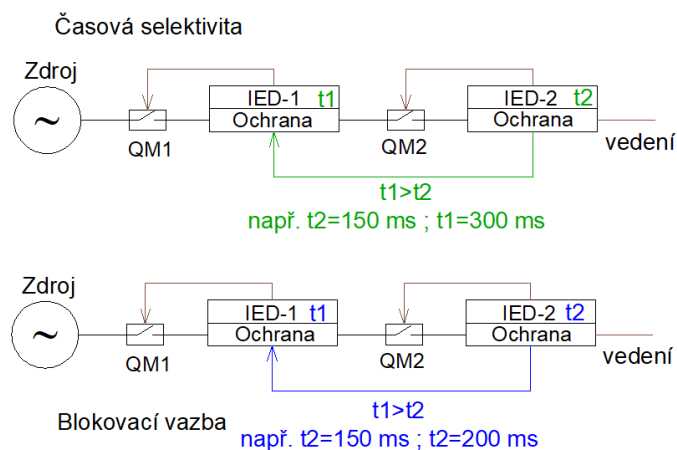
### **Horizontální**

Horizontální komunikace je vytvořena pomocí místní sítě v rozvodně (např. pomocí Ethernetové sítě). V této komunikaci IED komunikují mezi sebou přes datový kabel (popř. optická vlákna), který je nejčastěji zapojen do konektoru na zadním panelu, přičemž jsou všechna tato zařízení ve stejné vrstvě (na stejné úrovni). Horizontální komunikace se obvykle řídí protokoly ISO IEC 61850 (např. řízení toku zpráv GOOSE, GSSE a SMV) nebo IEC 61850-9-2LE, který má oproti IEC 61850 výhodu v použití funkce pro sdílení analogových hodnot (z měřících čidel) pomocí výše zmíněné „process bus“ (viz kap. 2.2.5 Senzory). Protokol IEC 61850 je vytvořen na principu Ethernetové sítě (zdroj [15]).

### **GOOSE zprávy**

Zkratka GOOSE znamená generickou objektově orientovanou událost rozvodny (Generic Object-oriented Substation Events) a jedná se o zprávu pro přenos časově kritických informací. Při detekci události použijí IED zařízení přenos typu multicast a vyšle zprávu o události všem IED zařízením, které jsou pro tento odběr zpráv registrovány. Doba trvání odeslání zprávy od vzniku události má být maximálně do 4 ms (v praxi jsou však časy i delší). Podmínky pro funkci těchto zpráv definuje standard ISO IEC 61850-8-1 (zdroj [15]).

Těmito zprávami je řešeno tzv. blokování většinou nadřazených ochran, je docíleno tak kratších vypínacích časů, než při použití časové selektivity, viz obr. níže.



**Obr. 2.4: Porovnání blokovací vazby s časovou selektivitou**

Výhoda nasazení blokování (logické ochrany) je zřejmá z Obr. 2.4 v rámci nastaveného zpoždění ochran. V blokovací vazbě je nutné v praxi dát určité zpoždění pro vyslání, příjem a reakci ochrany v rámci zpráv GOOSE. 50 ms je dostatečné zpoždění nadřazené ochrany (i s rezervou).

## 2.3 Definice chráněných rozvodů a strojů

Mezi chráněné rozvody a stroje se v drážní energetice například řadí TrT, usměrňovač, reaktor, FKZ, TV a distribuční linky dodavatele EE (ovlivnění jakosti EE ze strany elektrické trakce).

Mezi chráněné rozvody se řadí také jednotlivé přívody, vývody a přípojnice v TNS, NTS a SpS, avšak v porovnání s délkou TV nemají na ovlivnění el. signálu takový vliv, proto se jimi už nebudeme zabývat.

### Vedení dodavatele EE

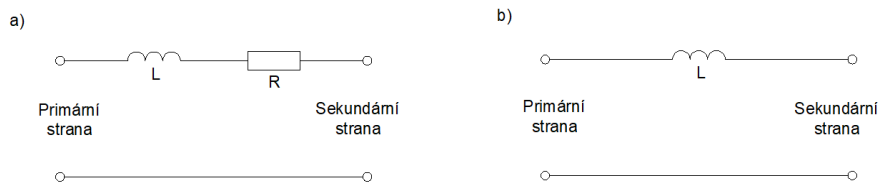
Nejčastěji je tvořeno nadzemním trojfázovým vedením vvn 110 kV (pro soustavu AC 25 kV, DC 3 kV a AC 6 kV v případě napájení z TM) nebo trojfázovým nadzemním nebo kabelovým vedením vn 22 kV a 35 kV (pro soustavu DC 3 kV, AC 6 kV a AC 6 kV 75 Hz). Vedení dodavatele EE se považuje za vedení elektricky dlouhé s rozprostřenými parametry (toto vedení je zobrazeno na Obr. 2.6):

### Transformátor vvn/vn

Soustava AC 25 kV je napájena z transformátoru vvn/vn, který je zároveň trakčním transformátorem. Soustava DC 3 kV může být napájena tímto transformátorem z místní rozvodny, pokud je tato soustava připojená na síť vvn 110 kV (vyjímečně).

Vychází se z náhradního obecně platného schématu (dále jako NSCH) transformátoru s přepočtenými sekundárními parametry. Na následujících schématech je již zobrazen pouze

výsledek zjednodušení NSCH transformátoru, se zjednodušením a) je počítáno ve výpočtech pro určení zkratových proudů v přílohách T, U, V a W (uložené na CD). V praxi se většinou činný odpor ve výpočtech zanedbává, takže je využíváno schéma b).



**Obr. 2.5: NSCH transformátoru, zdroj [7]**

V praxi se pro výpočet impedance transformátoru používá následující rovnice (převedené na sekundární stranu transformátoru) dle normy ČSN EN 60909-0 ed.2:

$$Z = \frac{u_{kr}}{100} \cdot \frac{U_{2n}^2}{S} [\Omega, \%, V, VA] \quad (2.1)$$

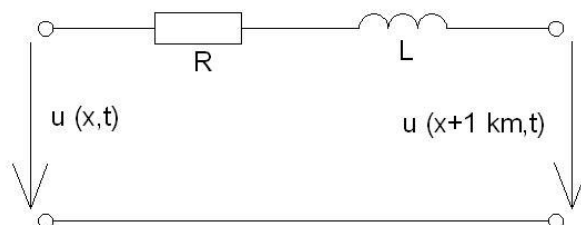
Tento vzorec je použitý ve výpočtech zkratových proudů v přílohách T, U, V a W (uložené na CD).

## TV

Konstrukce TV může být realizovaná jako vedení prosté (pro nízké rychlosti cca do 40 km/h) používané nejčastěji u MHD nebo vedení řetězovkové (pro vyšší rychlosti) převažující na železničních tratích (zdroj [46]).

TV se považuje za elektricky dlouhé vedení s rozprostřenými parametry stejně jako vedení od dodavatele EE. TV lze modelovat pomocí modelu homogenního vedení) nebo modelu článkového vodiče pomocí „T“ a „π“ článků (zdroj [45] a [47]).

Z hlediska zkratových výpočtů se TV skládá pouze z činného odporu a podélné indukčnosti a zkratový proud je omezený pouze těmito veličinami. NSCH TV bude tedy následující:



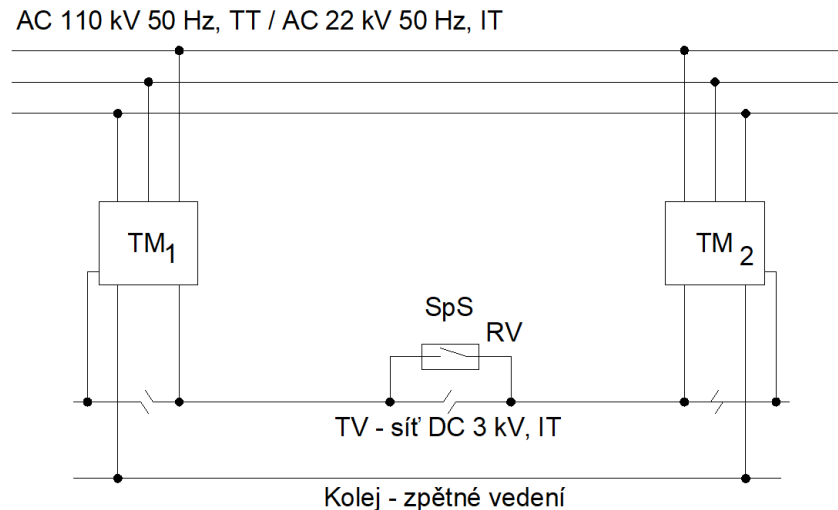
**Obr. 2.6: Zjednodušené NSCH TV, zdroj [7]**

U soustavy DC 3 kV je snaha kvůli vysokým úbytkům napětí při trakčních odběrech snížit odpory TrV, a proto se na této trakti využívá větších průřezů vodičů (obvykle 150 mm<sup>2</sup>) než v soustavě AC 25 kV (obvykle 80 nebo 100 mm<sup>2</sup>). TV u soustavy DC 3 kV také využívá zesilovacích vedení k dalšímu snížení odporů TV, což se u soustavy AC 25 kV

používá zřídka. U soustavy DC 3 kV se při ustáleném stavu uplatní pouze podélný odpor  $R$ . Při poruchových stavech a přechodových dějích se již uplatňuje měrná indukčnost vedení  $L$ .

### 2.3.1 Soustava DC 3 kV

#### Základní zapojení a princip



**Obr. 2.7: Principiální zapojení napájecí soustavy DC 3 kV**

TM jsou vždy napájené třífázově, což je žádoucí z hlediska souměrného zatížení jednotlivých fází distribuční sítě. TM lze napájet buď ze sítě 110 kV (pak je nutný převod na síť 22 kV) nebo častěji jsou TM přímo napájené z distribuční sítě 22 kV, což zjednodušuje a zlevňuje celou stavbu TM.

Soustava DC 3 kV za trakčním usměrňovačem (TU) je soustava izolovaná od země, je snaha izolovat od země i kolejnice a všechny prvky ukolejňené podél trati se výhradně ukolejňují přes průrazku (ochrana proti bludným proudům) a neuzemňují se. Důvodem je zabránění korozi kovových prvků a zařízení podél trati způsobené bludnými proudy, což je velká nevýhoda této soustavy.

Velkou výhodou soustavy DC 3 kV je, že ji lze napájet oboustranně propojením RV v SpS – oboustranné napájení je možné pouze s vazbou napáječů. Oboustranné napájení dovoluje zvýšit spolehlivost a výkonnost celé soustavy. Další výhodou této soustavy je, že rekuperovaný výkon na TV se nikdy nedostane do sítě distributora díky neřízenému TU.

#### TrT 22/2,5/2,5 kV

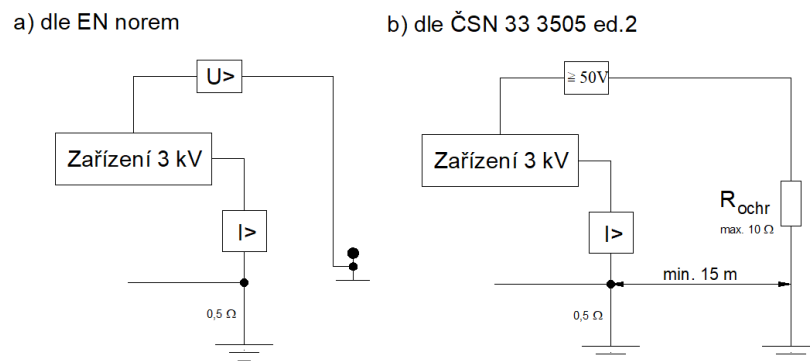
TrT je napájený třífázově z vn přípojnice 22 kV. Má dvě sekundární vinutí, z nichž jedno je zapojeno do trojúhelníku, který zpožďuje převáděný el. signál o 30 elektrických stupňů, a druhé do hvězdy (primární vinutí je zapojeno do hvězdy – Yyd1). Tento posun dovoluje vzájemné vyrušení harmonických složek proudu (5., 7. atd.), které mají stejné



amplitudy, ale opačnou fází. Každé sekundární vinutí TrT je připojeno na vlastní šestipulsní usměrňovač, které pak jsou vůči sobě paralelně spojeny a tvoří tak dvanáctipulsní zapojení usměrňovače.

Obě strany TrT nejsou s potenciálem země spojeny, strana AC 22 kV se hlídá proti zemnímu spojení ochranou měřící napětí otevřeného trojúhelníku – tzv. zemní nadpět'ovou ochranou (popř. zemní proudovou ochranou). Strana DC 3 kV se hlídá proti zemnímu spojení:

- Dobrým galvanickým spojením pólu – 3 kV se zpětným kolejnicovým vedením
- Nově i kostrovou nadproudovou ochranou skříní v části DC 3 kV
- Ochranným pospojováním všech neživých částí TM a napět'ovou zemní ochranou hlídající velikost napětí na těchto neživých částech, které nesmí překročit 50 V – napětí zemnicí sítě poblíž TM je porovnáváno s napětím tzv. „vzdálené země“, u které je jistota, že její potenciál bude nulový (neovlivněný TM) – viz schéma b) na následujícím schématu



**Obr. 2.8: Napět'ová zemní ochrana**

Kde  $U>$  je napět'ová ochrana hlídající vzniku nebezpečného napětí na neživých částech TM ( $\geq 50 V$ ) [-]

$I>$  .....kostrová ochrana neživých částí rozvodny 3 kV [-]

$R_{ochr}$  .....ochranný odpor s max. velikost 10  $\Omega$  [ $\Omega$ ]

Na Obr. 2.8 jsou znázorněny dva vybrané způsoby realizace napět'ové zemní ochrany. V části a) je realizace napět'ové zemní ochrany dle evropských norem (EN – existují ještě dva další možné způsoby zapojení navržené těmito normami, pro porovnání s českou normou byl vybrán tento způsob).

Větev s ochranným odporem  $R_{ochr}$  v části b) je větev vzdálené země, která je minimálně 15 m vzdálená od uzemnění TM. Zařízení 3 kV je souhrn všech neživých částí TM (rozvodny 3 kV i 22 kV), které jsou pospojovány a uzemněny. Kostrová ochrana pak

chrání pouze část 3 kV nikoliv rozvodnu 22 kV (ta se hlídá napět'ovou ochranou v zapojení do otevřeného trojúhelníku). V části a) je situace prakticky stejná, napět'ová ochrana však neporovnává napětí vůči vzdálené zemi, ale vůči potenciálu zpětného vedení (kolejím). V praxi se používají oba způsoby.

### Dvanáctipulsní trakční usměrňovač

Je tvořen ze dvou šestipulsních usměrňovačů, které jsou zapojeny na sekundární vinutí TrT. Tento usměrňovač je generátorem proudových harmonických vzhledem k dodavateli EE. Vzhledem k TV se dvanáctipulsní usměrňovač chová jako zdroj napětí.

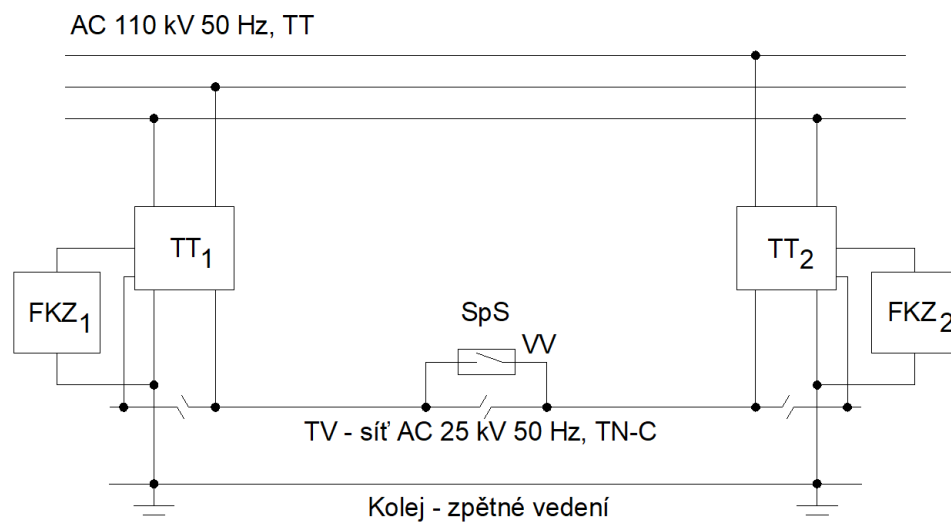
Výhodami dvanáctipulsního usměrňovače je menší zvlnění výstupního napětí než u šestipulsního usměrňovače a výstupní napětí s obsahem pouze sudé harmonické složky 600 Hz, 1200 Hz a 1800 Hz, zatímco šestipulsní usměrňovač obsahuje krom těchto složek také 300 Hz, 900 Hz a 1500 Hz.

Jako ochrana usměrňovače a technologie celé TM při blízkých zkratech (velká strmost nárůstu zkratového proudu) se vkládá do jednoho z pólů (+ nebo -) tlumivka (reaktor) s hodnotou indukčnosti 4 mH nebo 6 mH. Tato tlumivka zajistí takovou strmost zkratového proudu, aby nebyla překročena vypínací schopnost RV (zdroj [7]). Dnes se tento reaktor obvykle chrání proti zemnímu spojení kostrovou ochranou.

Trakční usměrňovač je obvykle chráněn ochranami transformátoru (nadproudovými), teplotními čidly, relé průrazu diod a přepět'ovou ochranou na svém výstupu.

### 2.3.2 Soustava AC 25 kV

#### Základní zapojení



Obr. 2.9: Principiální zapojení napájecí soustavy AC 25 kV 50 Hz

Na rozdíl od soustavy DC 3 kV je soustava AC 25 kV 50 Hz připojená k napájecí síti 110 kV pouze dvoufázově, což je velká nevýhoda této soustavy, protože dochází k nerovnoměrnému zatěžování jednotlivých fází. Tato nevýhoda se projevuje také při rekuperaci. Protože není součástí TT žádný elektrický prvek (např. neřízený usměrňovač), který by zabraňoval toku energie směrem do sítě distributora při rekuperaci, došlo by při rekuperaci k nárůstu velikosti napětí pouze ve dvou fázích, zatímco třetí fáze by měla podstatně nižší napětí. Distribuční vedení proti rekuperaci chrání wattová ochrana, která odepíná toto vedení od TT v případě rekuperace do sítě 110 kV.

Tuto soustavu nelze provozovat s oboustranným napájením a u nás je to zakázáno. Důvodem je, že jednotlivé stopy TV jsou napájené napětím s rozdílnými fázovými posuvy a při propojení těchto napájených stop by došlo k toku vyrovnávacího proudu (zkratu) vzniklým rozdílem okamžitých napětí (vlivem rozdílných fázových posuvů). Výkonový vypínač (VV) v SpS tedy propojuje jednotlivé stopy TV navzájem v případě, kdy na jedné straně vypadne napájení a je nutné tuto stranu dále napájet.

Velkou výhodou této soustavy je, že poskytuje vyšší výkony a má menší ztráty na TV než je to u soustavy DC 3 kV. Zároveň je jednodušší vypínání zkratových proudů (časový průběh proudu prochází přirozeně nulou) na této soustavě než na soustavě DC 3 kV.

Na rozdíl od soustavy DC 3 kV je u TT použito FKZ, jehož cílem je udržovat účinník v induktivním charakteru a v mezích 0,95 – 1.

### **Hnací vozidlo**

Vůči TV se projevuje jako generátor proudových harmonických, což se může negativně projevit ve vlastních frekvencích (rezonančních frekvencích) této napájecí soustavy, což platí pro starší vozidla s použitými diodovými či tyristorovými měniči. Vozidla s čtyřkvadrurními měniči tyto problémy nemají. Je to rozdíl od soustavy DC 3 kV, kdy roli proudového generátoru zastával dvanáctipulsní usměrňovač.

Je-li to možné, měl by výkonový vypínač hnacího vozidla při poruše na hnacím vozidle vypnout poruchu dříve, pokud je takový zkratový proud schopen vypnout (do 15 kA dle tab. 6 normy ČSN EN 50388 ed. 2), než dojde k vypnutí výkonového vypínače v TNS. Je dáno, že po výpadku napětí v síti (např. vlivem poruchy) má dojít do 3 s k vypnutí všech výkonových vypínačů hnacích vozidel v daném úseku. Dále musí být dodržena minimální 5 s beznapěťová pauza pro využívanou automatiku opětovného zapnutí v režimu napřímo. Celou tuto koordinaci ochran i s vypínacími časy a postupy stanovuje kap. 11 normy ČSN EN 50388 ed. 2.

## FKZ

FKZ je zařízení tvořené větvemi LC filtrů pro filtraci 3. a 5. harmonické a dekompenzační větví s polovodičovým spínačem, který připojuje dekompenzační tlumivku k TV v závislosti na velikosti účinníku okamžitého odběru. FKZ je připojeno mezi TrV a zemí. Úkolem větví je:

- Kompenzace účinníku – filtrací harmonických (3. a 5. harmonické) a dekompenzací kapacitního odběru, díky čemuž je účinník udržen mezi 0,95 až 1
- Všechny větve – upravují celkovou impedanci TT tak, aby její impedance v bodě připojení k síti distributora EE byla aspoň minimální přípustná, aby nedocházelo k ovlivnění signálu HDO

Větev filtru 3. harmonické je naladěná cca na 147,5 Hz kvůli obsahu 3. harmonické v síti distributora. Větev 5. harmonické se ladí již ostře, protože její složka v síti 110 kV není v takové nebezpečné míře.

**Tab. 2.7: Frekvenční ladění jednotlivých filtračních větví, zdroj [7]**

Filtrační větev pro	Filtrační větev naladěná	f [Hz]
3. harmonickou	neostře	147,5
5. harmonickou	ostře	250

Každé jedno FKZ je určené pro jeden trakční transformátor. Pokud jeden trakční transformátor napájí vývody i těch směrů, které za normálních provozních podmínek napájí jiný trakční transformátor, je stále ve funkci pouze FKZ určené právě napájecímu trakčnímu transformátoru.

Pro napájení TV je podmínkou, aby byl ve funkci alespoň filtr pro 3. harmonickou. V případě, že toto není splněno, bude teoreticky FKZ mimo provoz a daný směr nebude napájen. Je otázkou jestli provozovatel napájení dráhy bude napájet TV i přes dočasně nefunkční FKZ (krátký čas, např. 5 min po reakci podpět'ové ochrany na přívodu na FKZ), čímž zajistí napájení daného TV (zajistí spolehlivé napájení pro vlakovou dopravu) za cenu možných pokut od distributora EE. Druhou variantou je napájet tento druhý směr z jiného trakčního transformátoru se svým FKZ, které je ovšem vypočtené pro jiné směry a je tedy otázkou, jak dobře by toto FKZ zvládalo filtrovat další harmonické (do svého přetížení – především kondenzátorových baterií).

Kondenzátorové baterie jsou nejcitlivějším prvkem FKZ na napět'ové namáhání (přetěžování), jsou tedy hlídány nadpět'ovou ochranou.

Dále je v přívodu k FKZ osazena podpěťová ochrana, která slouží pro detekci ztráty napájení na přípojnici 25 kV. Protože jsou kondenzátorové baterie po ztrátě napájení nějak nabitě, je důležité je před obnovením napětí nejdříve vybit. Kondenzátorové baterie mají většinou svůj vnitřní vybíjecí odpor, ale i tak vybití trvá v řádech minut (obvykle cca za 3 min). Kdyby se na kondenzátorové baterie připojilo napětí ve chvíli, kdyby ještě nebyly vybité, došlo by na nich ke zkratu vlivem rozdílu napětí. Proto je po reakci této podpěťové ochrany nastavená beznapěťová pauza 5 min, která zajistí, že kondenzátorové baterie budou vybité před obnovením napájení.

## 3 Obecné metodiky chránění dle platných norem

### 3.1 Obecná metodika chránění soustavy DC 3 kV v současnosti

#### 3.1.1 Ochrany transformátoru 110/22 kV

Ochrany jsou dané tab.9 normy ČSN 33 3051 kap. 8.4 – transformátor je považován za síťový s výkonem 12,5 MW (od 5 MVA do 25 MVA).

- Nadproudová zkratová (primární strana transformátoru) – doporučuje se použití dvoustupňové ochrany, druhý stupeň ochrany má nastavený vyšší proud a kratší časový okamžik (nebo bez časového zpoždění), přičemž první stupeň je blokován sekundární podpětovou ochranou (pokud je první stupeň této ochrany nastavený na zkratový proud, který se svou hodnotou blíží provoznímu proudu)
- Nadproudová časová (primární strana transformátoru) – proti přetížení transformátoru, časově nezávislá nebo závislá ochrana, ochrana se použije v případě, že není použita kvalitnější tepelná ochrana
- Nadproudová zkratová (sekundární strana transformátoru) – ochrana s nastavením vysokého proudu a velmi krátkého času působení, může být záložní ochranou pro chránění TV před zkraty do několika km od TNS (blízké zkraty)
- Kostrová – ochrana transformátoru při průrazu živé části na kostru transformátoru, formou mžikové nadproudové ochrany - ochrana při průrazu na kostru transformátoru
- Rozdílová – použije se pouze tehdy, pokud nevyhoví časové nastavení nadproudové čas. nezávislé nebo závislé ochrany a z důvodů selektivity nemůže být použita mžiková ochrana (ČSN 33 3051 kap. 8.5 1)), ochrana při průrazu na kostru transformátoru
- Plynové relé – ochrana při vnitřních poruchách transformátoru, např. při mezizávitovém zkratu

Tento transformátor je důležitým zařízením TNS, a proto se vybavuje dvěma hlavními ochranami. Obvykle se využívá společného chránění kostrovou i rozdílovou ochranou, nebo se využije systém sebekontroly ochrany IRF. S použitím rozdílové ochrany musí být použita i ochrana nadproudová časově nezávislá ochrana (ČSN 33 3505 ed.2 kap. 8.10.1).

### **3.1.2 Ochrany přívodů vn**

Za tyto přívody se považuje přívod na přípojnici (sběrnici) 22 kV za transformátorem vvn/vn, přívod na TrT, přívody na napájení kabelů 6 kV, přívody na napájení vlastní spotřeby TNS a přívody na jednotlivé napáječe. Dle normy ČSN 33 3505 ed.2 musí být přívody vn chráněny nadproudovou časově nezávislou ochranou se selektivním nastavením.

### **3.1.3 Ochrany usměrňovače a TrT**

Zdroj ČSN 33 3505 ed.2 kap. 8.10.3.

- Nadproudová časově nezávislá – ochrana usměrňovače i TrT před přetížením
- Nadproudová mžiková ochrana – ochrana usměrňovače i TrT, zároveň ochrana přívodů 3 kV a TV do cca délky 20 % před zkraty
- Ochrana průrazu diod (balanční ochrana) – ochrana usměrňovače při průrazu některé z diod
- Zemní ochrana (proudová nebo napěťová) – ochrana usměrňovače (v podstatě chrání celou část DC 3 kV), každá TM musí být vybavena touto ochranou
- Tepelná ochrana TrT – strojová ochrana, proti přehřátí transformátoru

### **3.1.4 Zemní ochrana TM**

Dle ČSN 33 3505 ed.2 kap. 8.10.5 musí být každá TM vybavena zemní ochranou (technologie TM musí být od země i od všech neživých částí TM vždy izolovaná – účinky bludných proudů) a to buď proudovou, nebo napěťovou. Při působení těchto ochran se musí vypínat všechny TrT a RV – jedná se o závažnou poruchu. Dnes se obvykle používá kombinace obou dvou ochran.

### **3.1.5 Ochrany TV**

Zdroj ČSN 33 3505 ed.2 kap. 8.10.4.

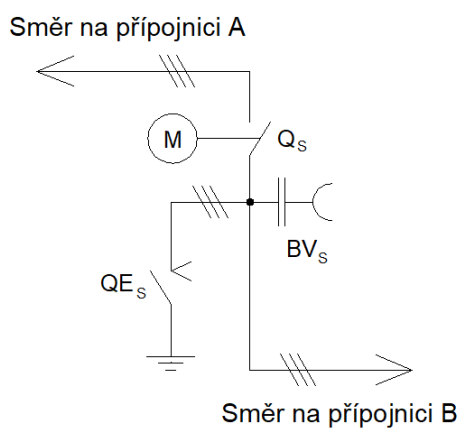
- Nadproudová mžiková ochrana – ochrana před blízkými zkraty
- Vazba napáječů – zkratová ochrana, dovoluje zvýšit spolehlivost a výkonnost napájení
- Kombinace předchozích dvou ochran

Dále je RV vybaven automatikou opětovného zapnutí, které se používá pro venkovní vedení, a vlastní samospouští. Cyklus OZ je zpravidla jedno nebo dvě zapnutí (na železnici se používá jednocyklová).

### 3.1.6 Spínač hlavních přípojnic – spojka

Výkonové vypínače v tzv. spojce se musí opatřit nadproudovou ochranou, při použití odpínačů nebo odpojovačů na místo výkonového vypínače se tyto zařízení ochranou nevybavují. Pro vyšší spolehlivost napájení jsou TM obvykle vybaveny tzv. spojkou, která může propojit jednotlivé přípojnice (sběrnice) v případě výpadku jednoho transformátoru vvn/vn – TM jsou napájeny ze dvou transformátorů vvn/vn nebo dvou přívodních linek vn 22 kV.

Na Obr. 3.1 je příklad spojky z TM v Hradci králové, jednotlivé přípojnice jsou navzájem propojeny jedním odpojovačem.



**Obr. 3.1: Spojka v TM v Hradci Králové, zdroj [1]**

- Kde  $Q_s$  je odpojovač ve spojce  
M..... motorový pohon odpojovače  
 $QE_s$ .....uzemňovač ve spojce  
 $BV_s$ .....kapacitní indikátor napětí ve spojce

### 3.1.7 Ochrany přívodů a vývodů 6 kV

V rámci TM může být na přípojnici 22 kV připojena místní rozvodna NTS transformátorem 22/6 kV, který je opět chráněn dle svého výkonu dle tab. 9 normy ČSN 33 3051 nebo dle PNE 38 4065 4. vydání kap. 127. Výkon tohoto transformátoru je většinou menší než 1,6 MVA a v praxi se proto pro chránění tohoto transformátoru využívají pojistky. Další ochrany jsou řešeny v kap. 3.3 Obecná metodika chránění .

### 3.1.8 Ochrana vlastní spotřeby

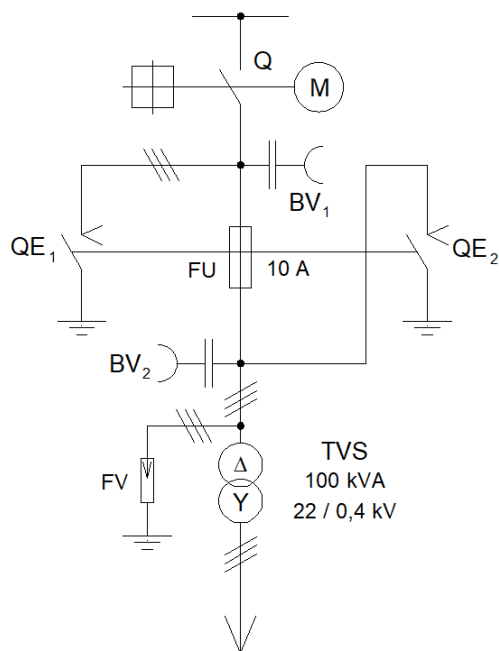
Vlastní spotřeba má samostatný vývod za transformátorem vlastní spotřeby (TVS) 22/0,4 kV. Vlastní spotřeba je chráněna dle tab. č. 9 normy ČSN 33 3051 kap. 8.4 a tab. 2



normy PNE 38 4065 4. vydání kap. 127 (výkon 1,6 MVA pro TVS většinou postačí).  
Chránění je tedy následující:

- FU – pojistka pro případ zkratu, ochrana transformátoru, použije se pojistková vložka se jmenovitým AC napětím 22/25 kV (pojistka se použije v případě, že se nepoužije nadproudová zkratová primární ochrana)
- Nadproudová zkratová (primární) – opět se doporučuje použít dvoustupňová ochrana, ochrana transformátoru (pokud není použita pojistka, využije se této ochrany) před zkraty
- Nadproudová zkratová (sekundární) – ochrana transformátoru a vedení nn před zkraty formou deiónu (jističe), který má nadproudovou i zkratovou spoušť (používá se např. deión DTV3)

Dle ČSN 33 3505 ed.2 kap. 11 musí být napájení vlastní spotřeby zajištěno dvěma nezávislými zdroji, z nichž alespoň jeden musí být připojen přes transformátor vn/nn. Na Obr. 3.2 je uveden příklad vlastní spotřeby z TM v Hradci Králové. Tato TM má dva obvody vlastní spotřeby, pro každou přípojnicí jeden.



**Obr. 3.2: Vlastní spotřeba v TM v Hradci Králové, zdroj [1]**

- Kde Q je odpojovač  
M..... motorový pohon odpojovače  
QE<sub>x</sub> .....uzemňovače  
BV<sub>x</sub> .....kapacitní indikátory napětí  
FV.....omezovač přepětí

TVS .....transformátor vlastní spotřeby

### **3.1.9 Ochrana před úrazem el. proudem**

Dle ČSN 33 3505 ed.2 kap. 6.2 se musí všechny kovové části TM a SpS (v soustavě DC 3 kV) navzájem propojit (aby byly na stejném potenciálu) a spojit s uzemněním. Bezpečné dotykové efektivní napětí je do 50 V proti zemi ČSN 33 2000-4-41 ed.2.

**Pozn.:** V příloze A (viz Příloha A) je v tabulce soupis ochran s popisem jejich účelu a jejich nastavení dle předpisu SR 34.

## **3.2 Obecná metodika chránění soustavy AC 25 kV 50 Hz v současnosti**

### **3.2.1 Ochrany TrT 110/27 kV**

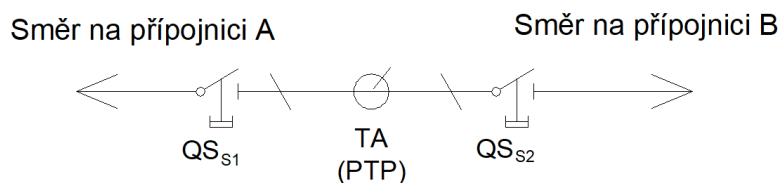
Primární ochrany TrT spolu s rozdílovou a kostrovou ochranou jsou stejné, jako ochrany u transformátoru 110/22 kV (viz kap. 3.1 Obecná metodika chránění soustavy DC 3 kV Ochrany transformátoru 110/22 kV) a mají stejné zásady osazování – jediným rozdílem je použití dvoufázového přívodu pro připojení TrT k distribučnímu vedení (s tím použitých dvoufázových ochran) oproti TM, která je připojena třífázově. Dle normy ČSN 33 3505 ed.2 se doporučuje chránit primární stranu TrT navíc wattovou ochranou.

Ochrany sekundární strany TrT:

- Nadpět'ová ochrana – ochrana pro případ zvýšení napětí nad povolenou mez
- Podpět'ová ochrana – také jako ochrana přípojnice (sběrnice) 27 kV před zkraty, náhrada za nadproudovou zkratovou ochranu, kterou na sekundární vývod transformátoru navrhuje norma ČSN 33 3051
- Wattová ochrana – ochrana zpětného toku výkonu do sítě distributora EE

### **3.2.2 Spínač hlavních přípojnic - spojka**

Dle zásady jsou výkonové vypínače opatřeny nadproudovou ochranou, při použití odpínačů nebo odpojovačů se ochranami neosazují. TT jsou napájeny obvykle ze dvou transformátorů vvn/vn, každý z nich napájí vlastní přípojnicí 27 kV. Tyto přípojnice (sběrnice) se propojují touto spojkou. Na Obr. 3.3 je příklad spojky z TT v Havlíčkově Brodě, která je oddělená od přípojnic z každé strany dvěma odpínačem.



**Obr. 3.3: Spojka v TT Havlíčkův Brod, zdroj [1]**

Kde  $QS_{Sx}$  jsou odpínače ve spojce [-]

TA ..... měřící transformátor proudu (PTP) [-]

### 3.2.3 Ochrany přívodů vn

Jako přívod se zde považují vývod za transformátorem  $v_n/v_n$  na přípojnici 27 kV, přívody na napájení vedení 6 kV (v samostatné NTS mimo TT), přívod na napájení FKZ, přívod na napájení vlastní spotřeby a přívody na jednotlivé napáječe. Dle normy ČSN 33 3505 ed.2 musí být přívody vn chráněny nadproudovou časově nezávislou ochranou se selektivním nastavením.

### 3.2.4 Ochrany TV

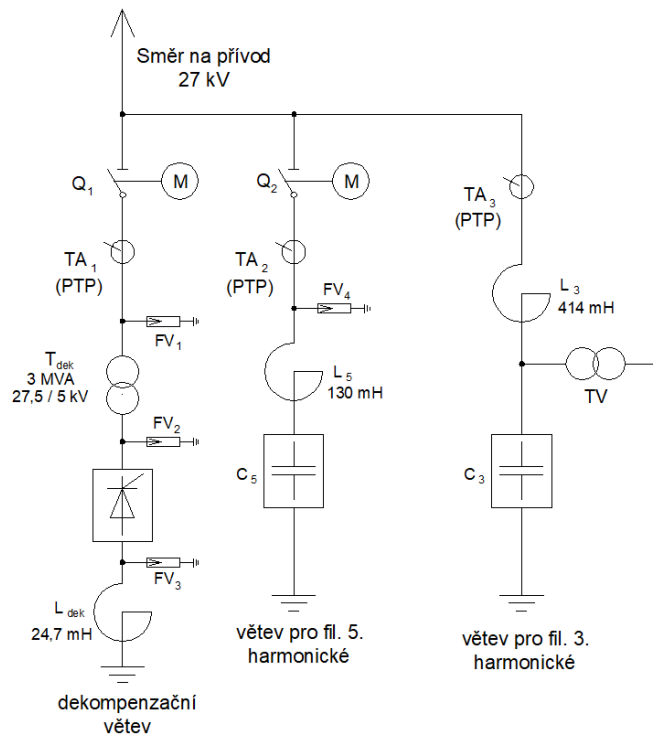
Napájení soustavou AC 25 kV je napájení jednostranné. Pro tento druh napájení je dle tabulky č. 11 normy ČSN 33 3051 kap. 9 výběr ochran následující:

- Nadproudová zkratová čas. nezávislá nebo závislá – doporučuje se doplnit logickou ochranou (využije se, pokud není použita distanční ochrana), jedná se o ochranu TV před vzdálenými zkraty
- Nadproudová mžiková – ochrana TV před blízkými zkraty, nutnost kontroly proudové selektivity (využije se, pokud není použita distanční ochrana)
- Distanční – ochrana TV, náhrada za předchozí dvě ochrany (převážně používaná), kontroluje impedanci smyčky TV (měří napětí a proud) a její fázový úhel
- Tepelná ochrana proti přetížení – ochrana kabelového a vzdušeného vedení, použije se ve zdůvodněných případech pro lepší využití kabelů a vedení při kolísající zátěži (ČSN 33 3051 kap. 9.3 14)
- Automatika opětovného zapnutí (dle ČSN 33 3505 ed.2)

### 3.2.5 Ochrany FKZ

FKZ se vybavuje ochranami dle normy ČSN 33 3505 ed.2 kap. 9.7. Jako příklad FKZ je využit FKZ z TT Havlíčkův Brod viz zdroj [1]. Dekompenzační větev s větví pro filtraci 5.

harmonické jsou k přívodu 27 kV připojeny přes odpojovače. Větev pro filtraci 3. harmonické je připojena přímo (schéma je uvedeno na Obr. 1.3 kap. 1.11 Porovnání metodik chránění dle SR 34 a ČSN 33 3051).



**Obr. 3.4: FKZ v TT Havlíčkův Brod, zdroj [1]**

Kde  $Q_x$  jsou odpojovače

$TA_x$  ..... přístrojové transformátory proudu

TV ..... přístrojový transformátor napětí

$FV_x$ ..... omezovače přepětí

$T_{dek}$  ..... snižující transformátor dekompenzace

$L_n$ ..... tlumivky filtračních větví (index značí n-tou harmonickou) [H]

$L_{dek}$  ..... tlumivka dekompenzační větve [H]

$C_n$ ..... kondenzátorové skupiny filtračních větví (index značí n-tou harmonickou) [F]

### 3.2.5.1 Ochrany přívodu na FKZ

Přívod na FKZ má vlastní pole, které může být i ve venkovním provedení, zahrnuje výkonový vypínač a samozřejmě PTP a PTN. Tyto ochrany jsou zároveň ochrany záložní pro případ selhání ochran jednotlivých větví FKZ (schéma je uvedeno na Obr. 1.3 kap. 1.11 Porovnání metodik chránění dle SR 34 a ČSN 33 3051).

- Podpěťová ochrana – ochrana kondenzátorových baterií při ztrátě napětí a opětovnému rychlému obnovení napětí

- Nadproudová mžiková – ochrana před zkraty ve větvích a na přípojnici FKZ

**Pozn.:** Při ztrátě napětí dojde k vypnutí výkonového vypínače v přívodu na FKZ. Kondenzátorové baterie se postupně vybíjejí, ovšem vybíjecí proces trvá v řádech minut (např. 3 min). Do této doby je na kondenzátorech napětí nějaké hodnoty, a pokud by se na tyto kondenzátory připojilo obnovené napětí ve chvíli, kdy by kondenzátory nebyly plně vybité, došlo by na nich ke zkratu. Beznapěťová pauza je po zapůsobení podpěťové ochrany obvykle 5 min.

### 3.2.5.2 Ochrany dekompenzační větve

Dekompenzační tlumivka  $L_{dek}$  je cyklicky dle potřeby připojována zapojenými polovodičovými spínači k vedení 25 kV (schéma je uvedeno na Obr. 1.3 kap. 1.11 Porovnání metodik chránění dle SR 34 a ČSN 33 3051).

- Nadproudová čas. nezávislá – ochrana před přetížením
- Nadproudová mžiková – ochrana před zkraty
- Tepelná ochrana pro polovodičový spínač

### 3.2.5.3 Ochrany filtračních větví

Obě větve mají stejné ochrany (schéma je uvedeno na Obr. 1.3 kap. 1.11 Porovnání metodik chránění dle SR 34 a ČSN 33 3051).

- Nadproudová časově nezávislá – ochrana proti přetížení
- Přepěťová ochrana – ochrana kondenzátorových baterií proti nadpětí, měří se napětí proti zemi
- Balanční ochrana – ochrana kondenzátorových baterií při průrazu kondenzátoru, stejný princip ochrany jako je relé průrazu diod u trakčního usměrňovače

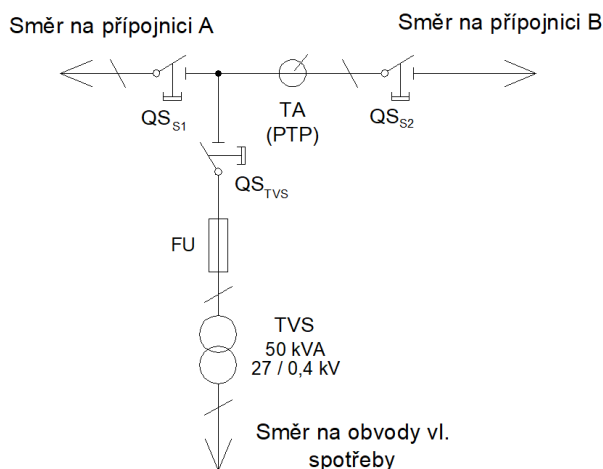
Norma ČSN 33 3265 v kap. 2.3.2 uvádí, že proud kondenzátorových baterií se měřit musí, měření napětí těchto baterií se pak doporučuje.

### 3.2.6 Ochrany vlastní spotřeby

Příklad transformátoru vn/nn vlastní spotřeby (TVS) je využit z TT Havlíčkův Brod (zdroj [1]), kde je TVS umístěno přímo do spojky (Obr. 3.5). Zdánlivý výkon TVS je 50 kVA s převodem 27/0,23 kV – jedná se o jednofázový transformátor. Chránění vlastní spotřeby je stejné jako v kap. 3.1 Ochrana vlastní spotřeby. Pokud je TVS takto zabudován v rámci

rozvodny TT, slouží jako záloha pro TVS zbudované v samostatné rozvodně u TT napájené z distribučního vedení 22 kV nebo 0,4 kV – standardně třífázové.

Pro TVS v TT se použije pojistková vložka na jmenovité AC napětí 35/38,5 kV.



**Obr. 3.5: Vlastní spotřeba v TT Havlíčkův Brod, zdroj [1]**

- Kde QS<sub>Sx</sub> jsou odpínače ve spojce  
 QS<sub>TVŠ</sub> .....odpínač k TVS  
 TA ..... přístrojový transformátor proudu  
 TVS .....transformátor vlastní spotřeby  
 FU.....pojistka

### 3.2.7 Ochrana před úrazem el. proudem

Dle ČSN 33 3505 ed.2 kap. 6.2 se musí všechny kovové části TT a SpS (v soustavě AC 25 kV) navzájem propojit (aby byly na stejném potenciálu) a spojit s uzemněním. Bezpečné dotykové efektivní napětí je do 50 V proti zemi dle ČSN 33 2000-4-41 ed.2.

### 3.2.8 Ochrany přívodů a vývodů 6 kV

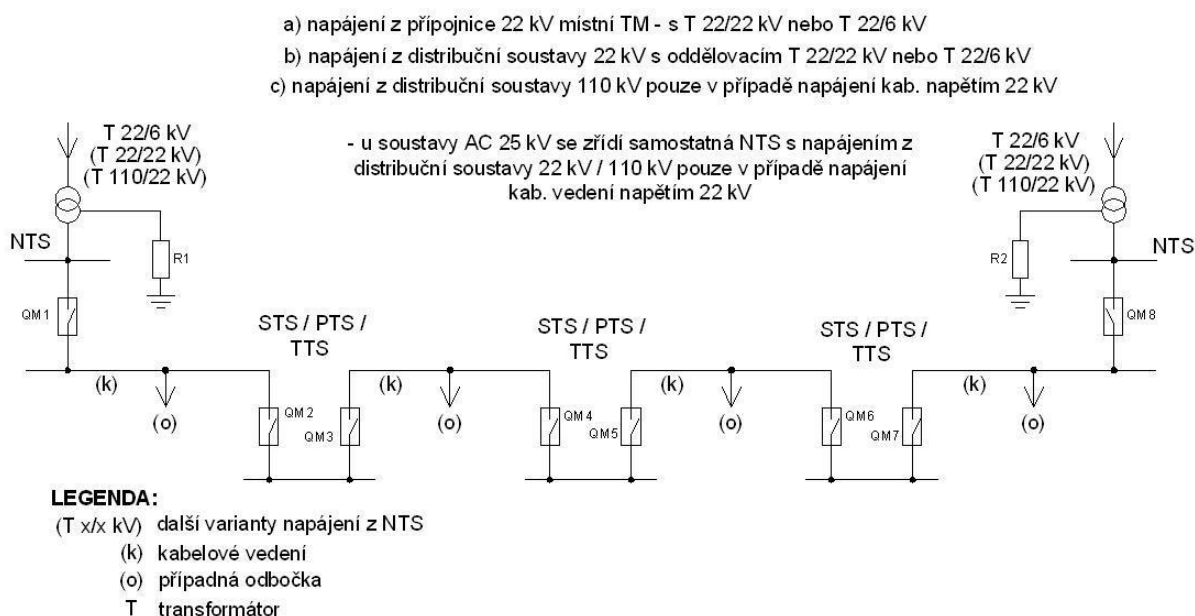
Napájení ZZ v soustavě AC 25 kV je zajištěno napájecím napětím AC 6 kV 75 Hz. Měničová rozvodna (použití statického nebo rotačního měniče na změnu napájecí frekvence) AC 6 kV 75 Hz je často řešena samostatně mimo TT (např. v žst.). Tyto rozvodny jsou pak zpravidla napájeny samostatnými třífázovými přívody z distribučních vn linek 22 kV nebo 35 kV.

Chránění této samostatné NTS (pro tuto práci budeme nadále uvažovat pouze NTS s napájecím napětím AC 6 kV 50 Hz) je dále popsáno v kap. 3.3 Obecná metodika chránění

**Pozn.:** V příloze B (viz Příloha B) je v tabulce soupis ochran s popisem jejich účelu a jejich nastavení dle předpisu SR 34.

### 3.3 Obecná metodika chránění NTS v současnosti

Dnes již samostatný vývod na kabel z úrovně 22 kV v TM nestačí (jak je zobrazeno na Obr. 1.1 – dle SR 34). Protože je potřeba vyrovnávat kapacitní charakter kabelového vedení, jsou v struktuře NTS zapojeny prvky filtru a dekompenzace. Celkové vnitřní schéma NTS stejně jako chránění NTS bude uvedeno dále v kap. 4.5 Metodika chránění v NTS. Na Obr. 3.6 je pouze uveden princip napájení NTS napájecí traťovou trafostanicí (dále jako TTS), přejezdovou trafostanicí (dále jako PTS) a staniční trafostanicí (dále jako STS). Samostatná NTS je pak pochopitelně doplněna o obvody vlastní spotřeby. Jedná se o síť typu IT s rychlým vypnutím se zapojením odporníku v uzlu transformátorů pro bezpečnou detekci zemních poruch.



**Obr. 3.6: Princip napájení drážních rozvodů rozvodnou NTS, zdroj [63]**

Dnes se uvažuje s napájením kabelových rozvodů pro zabezpečovací zařízení napětím 22 kV, z tohoto důvodu jsou ve schématu výše uvedeny další možnosti použití napájecích transformátorů – 22/22 kV nebo oddělovacích transformátorů pro napájení NTS ze sítě 22 kV (popř. bez oddělovacích transformátorů s napájením napřímo) nebo další možnost napájení přes transformátor 110/22 kV, což bude pravděpodobně méně využívaná možnost.

#### 3.3.1 Chránění transformátoru 22/6 kV

Předpokladem je, že tyto transformátory budou obvykle o výkonu menším než 1,6 MVA, a tedy podle normy ČSN 33 3051 tab. 9 je chránění následující:

- Nadproudová zkratová (primární strana transformátoru)

- Využije se pojistka (dle PNE 38 4065) nebo
- Dvoustupňová nadproudová zkratová ochrana, kde první stupeň je blokován sekundární podpěťovou ochranou z důvodu rozeznání zkratového proudu od provozního, druhý stupeň má pak vyšší nastavení (využije se, pokud nastavení prvního stupně nadproudové ochrany by se blížilo k provoznímu proudu)
- Nadproudová zkratová (sekundární strana transformátoru)

### 3.3.2 Ochrany přívodů vn, přípojnice 6 kV a vývodů

Za přívody jsou považovány přívody na přípojnici 6 kV (sběrnici) od transformátorů 22/6 kV. Za vývody se považují vývody z přípojnice 6 kV na jednotlivé napáječové vypínače, na LC filtry a dekompenzaci. Tyto rozvody se chrání sekundárními ochranami transformátorů 22/6 kV. Dále je dle normy ČSN 33 3051 kap. 10.2.4. doporučeno chránit skříňové rozvaděče zábleskovou ochranou.

Dále se tyto rozvody chrání dle PNE 38 4065 4. vydání kap. 127:

- Zemní nadproudovou ochranou – síť 6 kV je síť IT, kde sekundární nulový uzel transformátoru 22/6 kV je uzemněn přes odpor (přes cívku se uzemnění nedoporučuje) známé hodnoty, díky kterému se snadno určí poruchový proud při zemním spojení
- Logickou ochranou (realizováno blokovacími vazbami mezi primární a sekundární ochranou transformátorů 22/6 kV)

### 3.3.3 Ochrana dekompenzační větve

Dekompenzační větev využívá dekompenzačního transformátoru 6/0,4 kV, který se chrání opět v závislosti na výkonu dle norem ČSN 33 3051 tab. 9 a dle PNE 38 4065 4. vydání kap. 127. Z hlediska výkonu předpokládám, že výkon tohoto transformátoru bude vždy menší než 1,6 MVA:

- Nadproudová zkratová (primární) – v praxi se využívá výhradně pojistka (pojistková vložka na jmenovité napětí 6 kV nebo výše), ochrana před zkratem
- Nadproudová zkratová (sekundární) – v praxi se využívá výhradně jistič se zkratovou a nadproudovou spouští, ochrana před zkraty



### **3.3.4 Ochrana filtračních větví**

LC filtrační větve jsou často připojené přímo na napětí 6 kV, v praxi se nejčastěji chrání pojistkou (pojistková vložka na jmenovité napětí 6 kV nebo výše).

### **3.3.5 Ochrana vlastní spotřeby**

Vlastní spotřeba je použita pouze pro samostatnou rozvodnu NTS. Pro místní rozvodnu NTS je vlastní spotřeba již zapojená na přípojnici 22 kV v TM, a není tudíž již součástí místní rozvodny NTS.

Vlastní spotřeba pro samostatnou NTS je tvořena transformátorem 6/0,4 kV, který se opět chrání dle výkonu dle norem ČSN 33 3051 tab.9 a PNE 38 4065 4. vydání kap. 127. Z hlediska výkonu předpokládám, že výkon tohoto transformátoru bude vždy menší než 1,6 MVA:

- Nadproudová zkratová (primární) – v praxi se využívá výhradně pojistka (pojistková vložka na jmenovité napětí 6 kV nebo výše), ochrana před zkraty
- Nadproudová zkratová (sekundární) – v praxi se využívá výhradně jistič se zkratovou a nadproudovou spouští, ochrana před zkraty

### **3.3.6 Ochrana kabelového vedení 6 kV**

Chránění se provede dle normy ČSN 33 3051 tab. 11, napájecí síť je jednostranně napájena a jedná se o paprskové vedení. Chránění je tedy následující:

- Nadproudová časově nezávislá nebo závislá – doporučuje se doplnit logickou ochranou (ta je realizována blokovací vazbou mezi nadproudovými časovými ochranami v jednotlivých napájených úsecích), proti přetížení kabelového vedení
- Nadproudová zkratová mžiková – ochrana před blízkými zkraty
- Distanční ochrana – použije se v případě, že nadproudové ochrany nevyhoví svou citlivostí nebo dobou působení, kontroluje impedanci smyčky kabelového vedení (měřením napětí a proudu) a její fázový posuv
- Tepelná ochrana proti přetížení – použije se ve zdůvodněných případech pro lepší využití kabelového vedení

Jako další ochrany kabelového vedení se ještě využívá rozdílová ochrana (popř. srovnávací ochrana), a také se může použít i směrová nadproudová ochrana. Kabelové vedení je rozděleno na úseky, kdy každý úsek je selektivně chráněn.

### 3.3.7 Spínač hlavních přípojnic – spojka

Pro spojku se využívá nejčastěji odpojovač, není tedy nutné osazovat toto místo ochranami. Při použití výkonového vypínače se musí spojka osadit nadproudovými ochranami.

### 3.3.8 Ochrana před úrazem el. proudem

Pro ochranu před dotykem neživých částí v případě poruchy jsou veškeré neživé konstrukční části NTS navzájem spojeny a uzemněny.

**Pozn.:** V příloze A (viz Příloha A) je na konci tabulky soupis použitých ochran pro chránění jednoho přívodu a vývodu 6 kV.

## 3.4 Ochrany společných částí systémů

Principy chránění těmito ochranami platí pro všechny výše zmíněné soustavy.

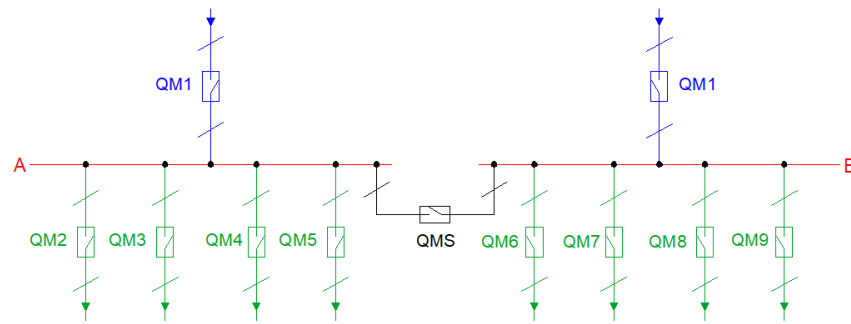
### 3.4.1 Ochrany skříňových rozvaděčů

Platí zásada, že pro chránění skříňových rozvaděčů se doporučuje chránit tyto rozvaděče zábleskovou ochranou dle ČSN 33 3051 kap. 10.2.4. Jedna záblesková ochrana se osazuje na jeden rozvaděč. Při poruše vypíná celý rozvaděč. Záblesková ochrana se nepoužívá na rozvaděče s RV, které při vypínání vždy zablesknou (ochrana by tedy neustále reagovala).

### 3.4.2 Ochrany přípojnic (sběrnic)

Označení těchto vodičů termínem „sběrnice“ se dnes zpravidla již nepoužívá, používá se modernější označení „přípojnice“. Chránění přípojnic v TNS se volí dle normy PNE 38 4065 4. vydání kap. 127. Pro chránění přípojnic 110 kV se nepoužívá rozdílová ochrana, jak navrhuje tato norma, navržené chránění výše bohatě postačuje. Pro chránění přípojnic vn je pak navržena zemní napěťová ochrana (rozvodny jsou chráněny zemními ochranami) a v odůvodněných případech logickou ochranou, která je v případě těchto rozvodů realizována blokovací vazbou mezi ochranami.

Na následujících schématech jsou zobrazena používaná zapojení rozvodů v drážní energetice. Přípojnice jsou zbarveny **červeně**, **modře** jsou označeny přívody, **zeleně** jsou označeny vývody – vše je označené z pohledu přípojnic A a B.



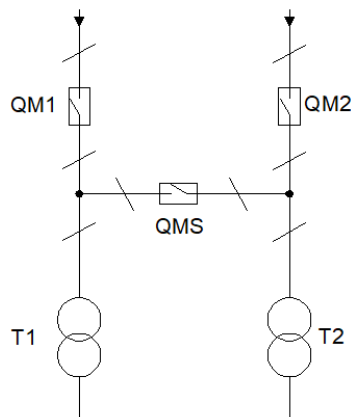
**Obr. 3.7: Jednoduchý systém přípojnic v rozvodně vn s podélnou spojkou, zdroj [51]**

Kde QMx jsou výkonové vypínače

QMS..... výkonový vypínač ve spojce

A, B .....přípojnice

/.....jednoduchá schematická značka odpojovače



**Obr. 3.8: Systém bez přípojnic – H spojka v rozvodně 110 kV, zdroj [51]**

Kde Tx jsou výkonové transformátory

### 3.4.3 Přívody a vývody

Přívody (modrá) a vývody (zelená) jsou barevně označeny na Obr. 3.7 v předchozí kapitole.

### 3.4.4 Spojky

Zajišťují spolehlivost napájení v provozních a poruchových situacích galvanickým propojením dvou a více přípojnic v rozvodně. Rozdělují se na příčné a podélné spojky. V drážní energetice se nejčastěji využívá podélná spojka (Obr. 3.7), příčná spojka se např. využívá spolu s podélnými spojkami v SpS. Jako spojku lze využít odpínač, odpojovač, výkonový vypínač, či RV.

## 4 Praktické příklady nasazení metodik chránění

Na schématech v této kapitole bude zobrazeno teoretické zapojení TNS a NTS (žádné konkrétní zapojení skutečné TNS nebo NTS), na kterých budou pro jednoduchost zobrazeny pouze odpojovače, odpínače, výkonové vypínače (popř. RV) a transformátory. Chránění je provedeno v souladu s předpisem SR34 a dle norem ČSN 33 3051, ČSN 33 3505 ed.2 a PNE 38 4065 4. vydání doplněné o praktické zkušenosti projektantů Elektrizace železnic Praha a.s. Předpis SR 34 zde již slouží pouze pro zpětnou kontrolu nebo ověření principů (pro chránění je již nutné postupovat dle aktuálních a nových předpisů – chránění je složitější) a nutno také dodat, že předpis SR 34 neobsahuje metodiku chránění pro FKZ a že metodiku chránění pro rozvody 6 kV má danou v rámci jednoho jediného napáječového vývodu (bez kompenzace a filtru).

Na schématech je zobrazena ochranná funkce ARC (záblesková ochrana) používaná v rozvaděčích. Na celý rozvaděč se používá vždy pouze jedna záblesková ochrana, která chrání všechny části daného rozvaděče. V ochranných funkcích je všude vypsána (ve všech přívodech a vývodech), aby bylo jasné, že chrání všechny části rozvaděče, a v případě elektrického oblouku v jakékoliv části rozvaděče vypíná celý rozvaděč od EE. Jedinou podmínkou je, že záblesková ochrana nesmí být použita v rozvaděčích, kde jsou instalované RV (jejich funkcí je vyvedení el. oblouku z jejich komory, tudíž po každém vypnutí zablesknou a ochrana by tak neustále reagovala).

Metodiky naplňují body dané v kap. 3.1 Obecná metodika chránění soustavy DC 3 kV v současnosti, kap. 3.2 Obecná metodika chránění soustavy AC 25 kV 50 Hz v současnosti a 3.3 Obecná metodika chránění NTS v současnosti.

Praktické příklady jsou dále doplněny diagramy chránění pro každou soustavu, které doplňují metodiku chránění zobrazenou na jednotlivých schématech s metodikou nastavení těchto ochran, viz kapitola níže.

**Pozn.:** Metodiky jsou principiálně v souladu s přílohami A a B (viz Příloha A a Příloha B).

### 4.1 Metodika nastavení ochran

Z hlediska metodiky nastavení jednotlivých ochran je předpis SR 34 nejucelenějším a možná jediným dokumentem (návodem) pro nastavování ochran. Předpis SR 34 přirozeně neobsahuje nastavení ochran, které nejsou součástí tohoto předpisu, a k dispozici není žádný konkrétní dokument pro doplnění tohoto nastavení. Jediným zdrojem způsobu nastavení

těchto ochran (např. FKZ nebo pojistek v rozvodech 6 kV) jsou praktické zkušenosti projektantů. V českých normách (viz níže) jsou konkrétní hodnoty pro nastavení některých ochran – především časové zpoždění pro automatiku opětovného zapnutí nebo do jaké doby má např. být odstraněn zkrat na TV (ČSN 33 3505 ed. 2). Norma ČSN EN 50633 např. obsahuje metodiku chránění distanční ochranou (v této práci není však tato metodika použita, protože se v praxi využívá jiná metodika použití distanční ochrany) a obsahuje také časové nastavení všech tří zón této ochrany.

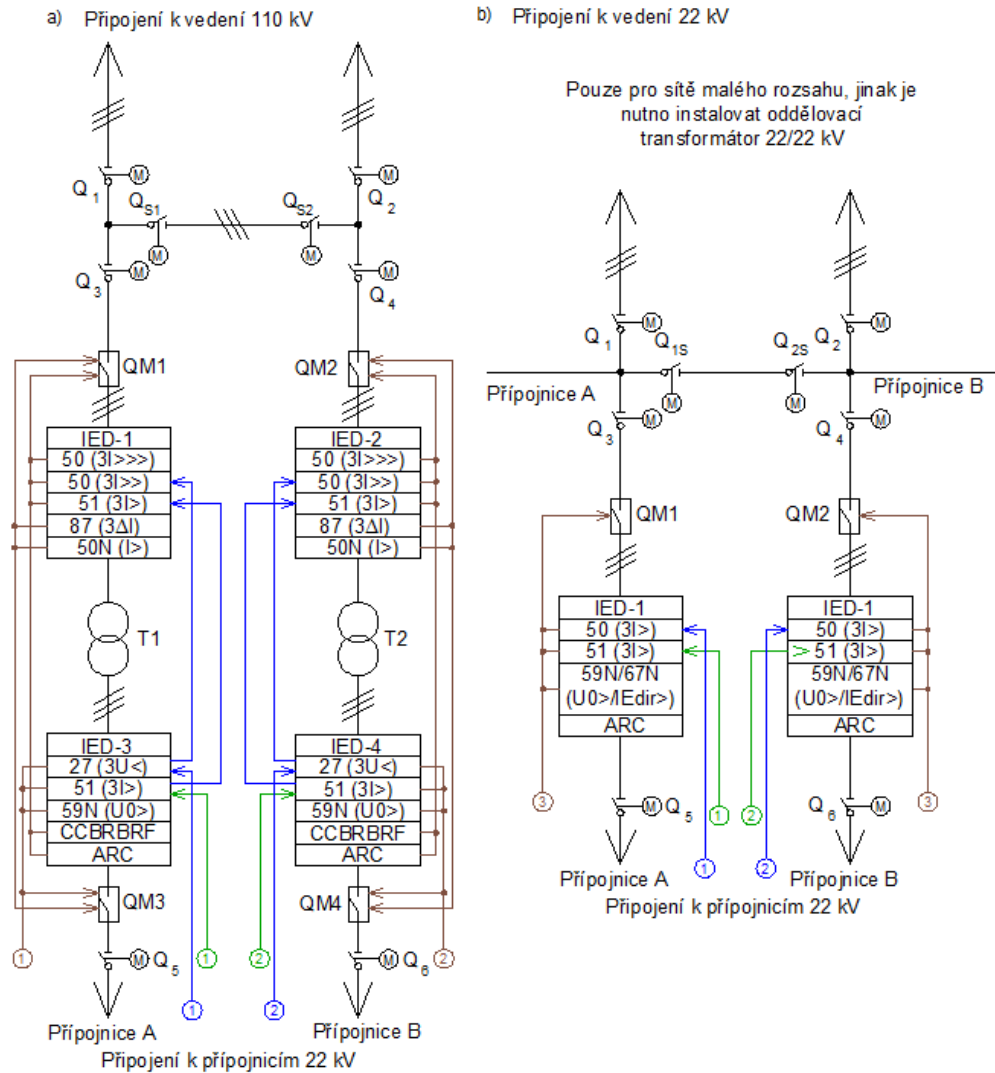
Je nutné dodat, že nastavení ochran se může lišit a nemusí splňovat konkrétní číselné nastavení dané předpisem SR 34. Nastavení hodnot je zcela na projektantovi, který má za úkol bezpečně ochránit danou rozvodnu při dodržení platných principů daných předpisem SR 34 a českými normami. Z principu chránění je také nutné zvážit časové zpoždění ochran, které je důležité z hlediska dodržení dovolených dotykových napětí. Pokud nejsou při poruše dodržena dovolená dotyková napětí daná normou ČSN EN 50122-1 ed.2, je nutné časové zpoždění ochrany přizpůsobit tak, aby dovolená dotyková napětí byla dodržena.

Na následujících schématech jsou zobrazeny **vazby na vypínač** (hnědě), **blokové vazby** mezi ochranami (modrá - GOOSE) a **časová selektivní vazba** mezi ochranami (zeleně).

## 4.2 Použité předpisy a normy pro chránění a nastavení ochran

- SR 34 (E) Služobná rukoväť – Nastavovanie, prevádzka a údržba reléových ochrán trakčného napájacieho obvodu (použito pro DC i AC zkratové proudy)
- ČSN 33 3505 ed. 2 – Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Základní požadavky na elektrické napájecí a spínací stanice
- ČSN 33 3051 – Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení
- ČSN EN 50633 – Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Zásady ochrany pro AC a DC elektrické trakční soustavy
- ČSN EN 50388 ed. 2 – Drážní zařízení – Napájení a drážní vozidla – Technická kritéria pro koordinaci mezi napájením (napájecí stanicí) a drážními vozidly pro dosažení interoperability
- ČSN EN 50163 ed. 2 – Drážní zařízení – Napájecí napětí trakčních soustav

### 4.3 Metodika chránění v soustavě DC 3 kV



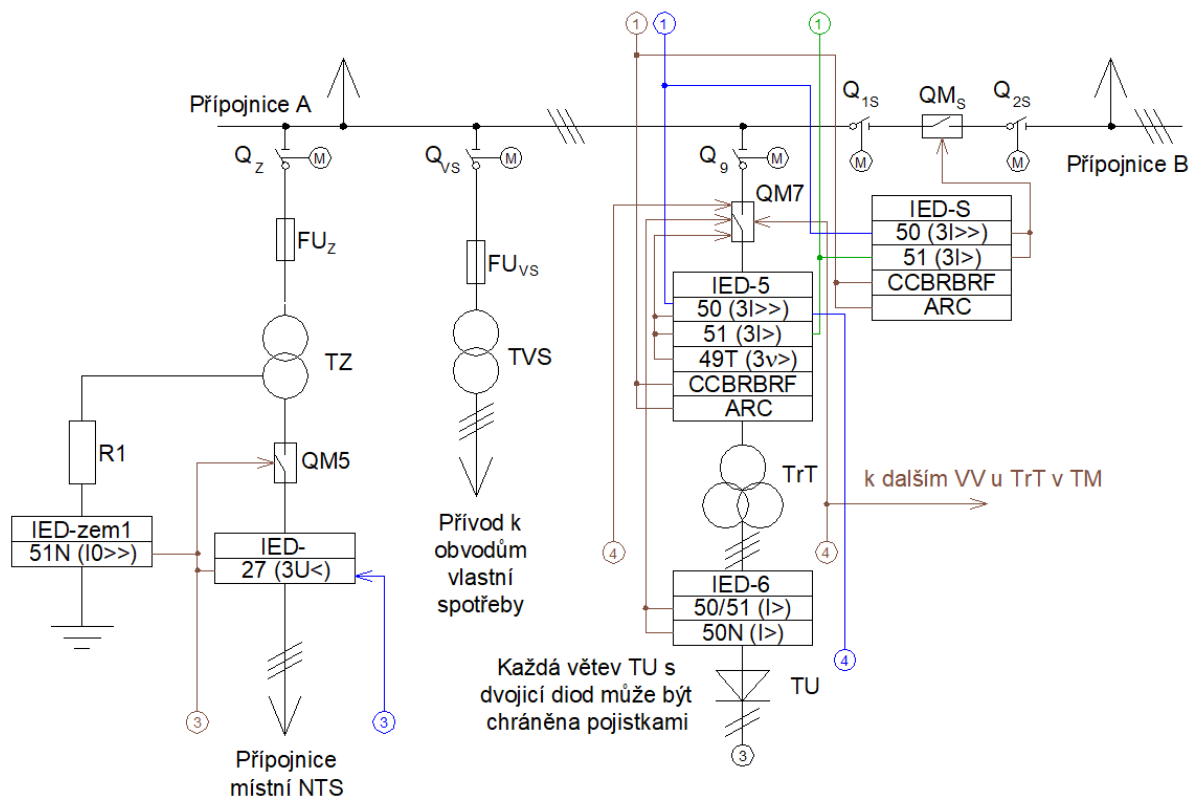
**Obr. 4.1: Metodika chránění vstupní rozvodny, TM část I**

**Tab. 4.1: Popis kódového označení ochran – DC 3 kV, část I**

Popis kódů ochran dle kap. 2.1 Mezinárodní kódy ochranných funkcí			
50 (3I>>>)	Druhý stupeň nastavení nadproudové mžikové ochrany	50N (I>)	Kostrová ochrana v podobě nadproudové mžikové ochrany
50 (3I>>)	První stupeň nastavení nadproudové mžikové ochrany	59N (U0>)	Nadpět'ová zemní ochrana
51 (3I>)	Nadproudová čas. nezávislá ochrana	CCBRBRF	Identifikace poruchy výkonového vypínače
87 (3ΔI)	Rozdílová ochrana	ARC	Záblesková ochrana
27 (3U<)	Podpět'ová ochrana		

Na schématech výše je zobrazeno používané zapojení rozveden vvn a vn při napájení TM z distribuční sítě. Na schématu a) je TM připojena k distribuční síti 110 kV přes

transformátory 110/22 kV, toto zapojení se používá zřídka. Častější zapojení je zobrazeno na schématu b), které představuje zapojení rozvodny TM pro napájení méně rozlehlé sítě. Pro rozlehlejší napájenou síť přes TM by se za výkonové vypínače vložily oddělovací transformátory 22/22 kV pro oddělení zemních poruch. Chránění těchto transformátorů bude poté obdobné, jako je znázorněné na schématu a).



**Obr. 4.2: Metodika chránění rozvodny 22 kV, TM část II**

**Tab. 4.2: Popis kódového označení ochran – DC 3 kV, část II**

Popis kódů ochrany dle kap. 2.1 Mezinárodní kódy ochranných funkcí			
51N (I0>>)	Zemní nadproudová čas. nezávislá s vyšším stupněm nastavení	50N (I>)	Kostrová ochrana v podobě nadproudové mžikové ochrany
27 (3U<)	Podpět'ová ochrana	50/51 (I>)	Balanční ochrana usměrňovače (nadproudová mžiková nebo s čas. zpožděním)
51 (3I>)	Nadproudová čas. nezávislá ochrana	CCBRBRF	Identifikace poruchy výkonového vypínače
50 (3I>>)	Nadproudová mžiková ochrana	ARC	Záblesková ochrana
49T (3v>)	Teplotní ochrana transformátoru		

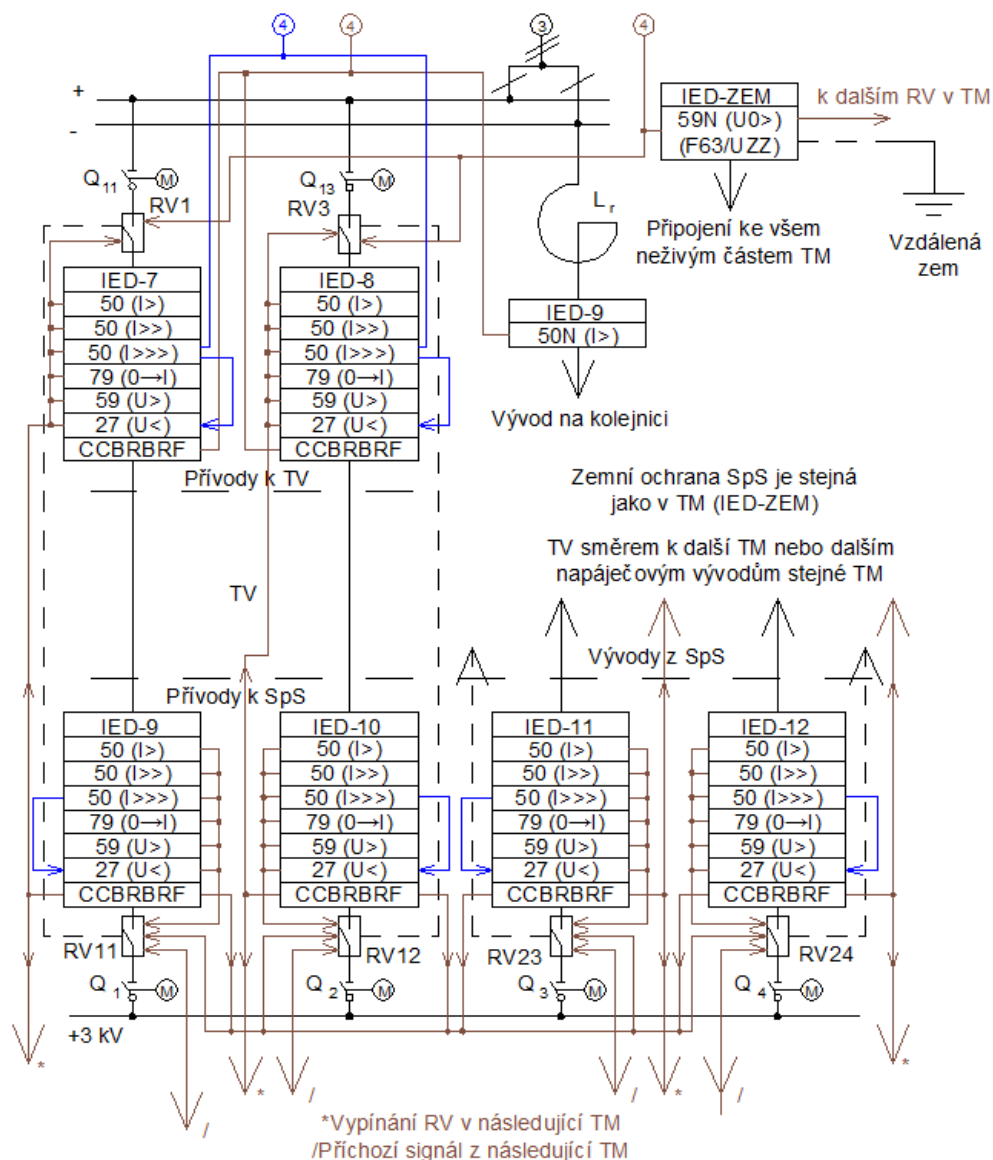
V rámci rozvodny 22 kV může být na tuto přípojnici připojeno více trakčních transformátorů (TrT) a trakčních usměrňovačů (TU), přičemž chránění těchto větví se nijak nemění. V podélné spojnici na této přípojnici se obvykle využívá výkonového vypínače (QM<sub>S</sub>).

Takový vypínač pak musí mít své vlastní nadproudové ochrany. V případě zapojení tohoto vypínače se ochrany v rozvodně 22 kV nijak nepřenasávají, jejich nastavení zůstává stávající.

V rámci místní NTS napájené přes TZ 22/6 kV je použita pojistka  $FU_Z$  coby zkratová ochrana tohoto transformátoru (výkon TZ není obvykle vyšší než 1,6 MVA). Místo pojistky lze využít elektronických ochrany, potom je ale nutné do přívodu vložit výkonový vypínač pro vypnutí. Jako elektronické ochrany dle normy ČSN 33 3051 pro chránění síťových transformátorů postačuje použití zkratové ochrany na primární straně, tato zkratová ochrana bude nastavená tak, aby dokázala vypnout zkratový proud i za tímto transformátorem s podpětovým blokováním na sekundární straně (ochrana 27 (3U<)). Jak je patrné, je tato možnost značně finančně náročnější, a proto se častěji využije spíše pojistka.

V provozu je vždy pouze jeden TVS. Při napájení dvou TZ (každý z jiného transformátoru) musí být tyto transformátory proti paralelnímu chodu blokovány. TVS jsou také obvykle do výkonu 1,6 MVA, čili pro chránění primární strany stačí pojistka a sekundární strana je chráněna jističem.





**Obr. 4.3: Metodika chránění rozvodny 3 kV a TV, TM část III**

**Tab. 4.3: Popis kódového označení ochran – DC 3 kV, část III**

Popis kódů ochran dle kap. 2.1 Mezinárodní kódy ochranných funkcí			
50 (I>)	První stupeň nastavení nadproudové mžikové ochrany (pro ochranu celého TV)	59 (U>)	Nadpět'ová ochrana
50 (I>>)	Druhý stupeň nastavení nadproudové mžikové ochrany (chrání TV do 50 % délky)	79 (0→I)	Automatické opětovné zapnutí vypínače
50 (I>>>)	Třetí stupeň nastavení nadproudové mžikové ochrany (chrání TV do 20 % délky)	CCBRBRF	Identifikace poruchy výkonového vypínače
27 (3U<)	Podpět'ová ochrana	59N (F63/UZZ)	Nadpět'ová zemní ochrana

Popis kódů ochran dle kap. 2.1 Mezinárodní kódy ochranných funkcí			
50N (I>)	Kostrová ochrana v podobě nadproudové mžikové ochrany		

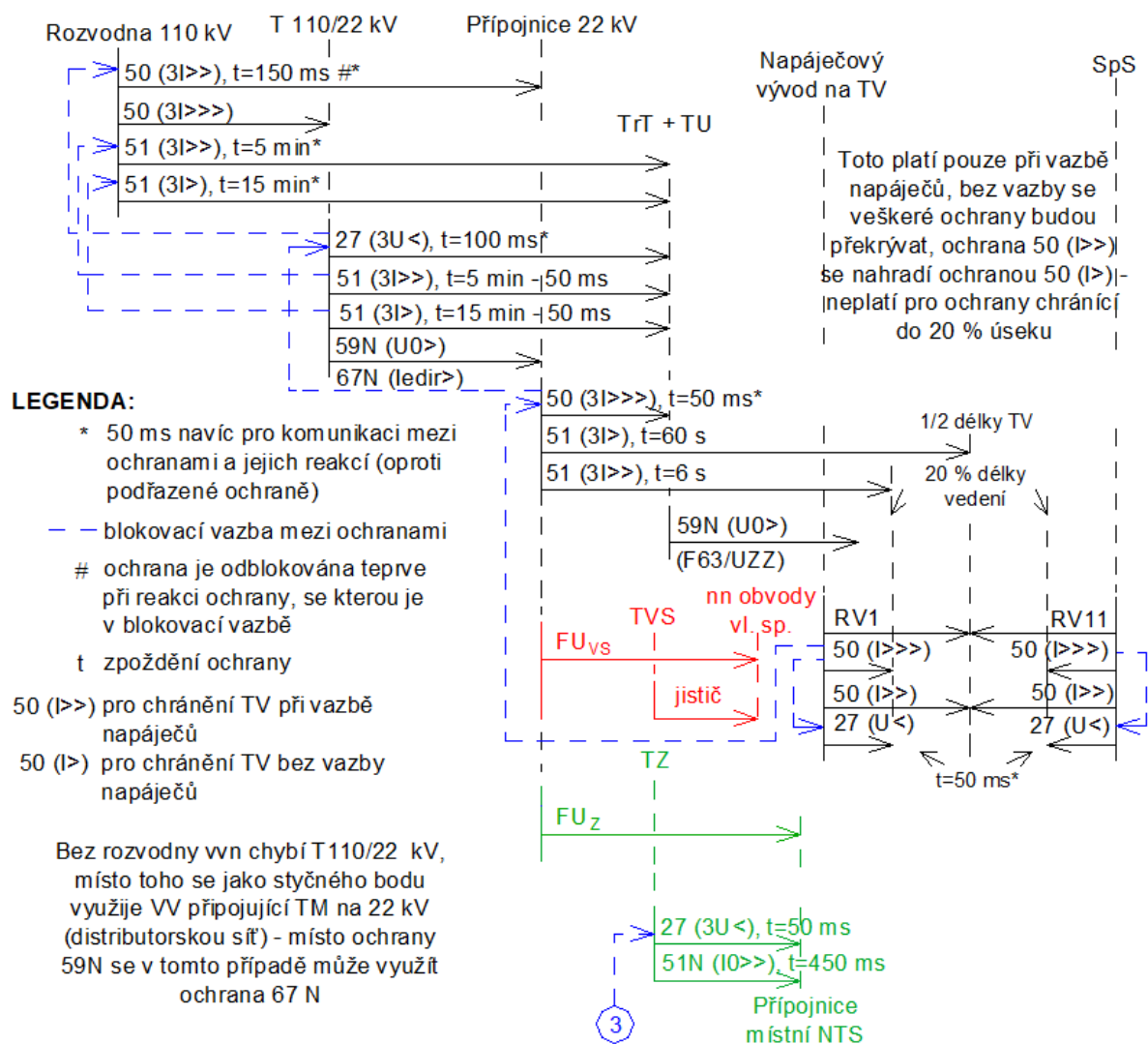
Na schématu je znázorněno chránění rozvodny 3 kV a TV za předpokladu, že v půlce chráněného úseku je SpS, což je obvyklé zapojení. Čerchovanou čarou je označena vazba napáječů. V případě, že dojde k poruše RV v SpS, vypnou se RV v sousedních TM, aby nebyl zkrat napájen.

RV se nastavují pouze na jednu hodnotu zkratového proudu (v tomto ohledu mají jen jednu spoušť). Pokud úsek dovoluje vazbu napáječů, bude RV nastaven na zkratový proud do poloviny délky TV. V opačném případě musí být RV nastaven na celý úsek.

Dále budeme pracovat s verzí, že na napájeném úseku je používána vazba napáječů. Záložní ochranou pro RV jsou mžikové nadproudové ochrany 50 (I>>) s další zálohou v podobě podpět'ové ochrany 27 (U<). Nadproudová mžiková ochrana 50 (I>), která chrání TV na celé délce, je v případě vazby napáječů blokována (nejedná se o blokaci pomocí GOOSE zpráv, proto tato blokace není zobrazena na diagramu) právě funkční ochranou 50 (I>>). V případě, kdy je vazba napáječů mimo provoz, blokuje ochrana 50 (I>) ochranu 50 (I>>). Vždy je tedy v provozu pouze jedna z těchto dvou ochranných funkcí.

V případě, kdy dojde ke zkratu za SpS, v druhém napájecím úseku, zareagují všechny dotčené RV přenášející zkratový proud v SpS (dva RV). Touto reakcí by se poté vypnuly i RV v obou přilehlých TM. Tím by došlo k odepnutí i „zdravého“ úseku, což je nežádoucí. Proto se v SpS využívají RV se směrovými spouštěmi – tyto RV reagují pouze na zkratový proud protékající přes ně směrem do TV.

### 4.3.1 Metodika nastavení ochran v soustavě DC 3 kV



Obr. 4.4: Diagram chránění a osazení ochran v TM

#### Příklad popisu

Ochrana 51 (3I>>), t=5 min v rozvodně 110 kV chrání transformátor 110/22 kV před přetížením, a zároveň se jedná o záložní ochranu pro ochranu 51 (3I>>), t=5 min – 50 ms umístěnou za transformátorem 110/22 kV, která tento transformátor také chrání před přetížením. Obě ochrany jsou spojeny blokovácí vazbou, první tedy má zareagovat ochrana na sekundární straně transformátoru a při své správné funkci má nadřazenou ochranu blokovat.

Diagram znázorňuje použití jednotlivých ochran s místem jejich nasazení, jejich dosahem a časovým zpožděním, na které se obvykle nastavují. Z hlediska chránění je TM mnohem složitější než chránění TT a NTS. Metodika také zahrnuje souvislost s chráněním

místní NTS, což je na diagramu zbarveno pro přehlednost zeleně. Chránění vlastní spotřeby bylo zbarveno pro přehlednost červeně.

Na diagramu je znázorněna blokovácí vazba mezi jednotlivými ochranami, kdy je nadřazená ochrana vždy zpožděna o 50 ms z důvodu zajištění potřebného času pro komunikaci mezi ochranami.

V diagramu nejsou zobrazeny všechny ochrany, chybí například rozdílová nebo kostrová ochrana transformátorů, teplotní ochrany nebo balanční ochrany trakčních usměrňovačů. U těchto ochran by bylo jejich vykreslení do diagramu nepraktické a zbytečně složité.

Dnes se v praxi využívá jak proudová, tak napěťová zemní ochrana na straně DC 3 kV. Proudová zemní ochrana je v podobě kostrové ochrany rozvaděčů 3 kV, popř. dalších konkrétních el. zařízení (jako např. pro trakční usměrňovač nebo tlumivku). V diagramu je pro přehlednost zobrazena pouze napěťová zemní ochrana 59 N (U0>).

#### **4.3.1.1 Nastavení ochran dle režimu napájení**

Režimy napájení mohou být dva, a to režim „s vazbou napáječů“ a „bez vazby napáječů“. V závislosti na režimu napájení se přepínají nebo blokují navzájem určité ochrany TV.

RV jsou vždy nastavené na hodnotu zkratového proudu do půlky délky TV, pokud je ovšem možná vazba napáječů na tomto úseku (nutná existence komunikační linky mezi RV). V opačném případě musí být spoušť RV nastavená na celý úsek. RV je zálohován v případě vazby napáječů ochranou 50 (I>>).

Funkce záložní ochrany pro RV 50 (I>>) je v případě režimu napájení „bez vazby“ blokována ochranou 50 (I>) (ta není v diagramu pro přehlednost již zobrazena, ale v příloze Y s touto ochranou je počítáno), která je nastavená pro chránění celého úseku (tedy 100 % délky TV). Naopak při režimu napájení „s vazbou napáječů“ blokuje ochrana 50 (I>>) funkci ochrany 50 (I>). Toto zajistí správnou funkci ochran v jednotlivých režimech napájení. Pro lepší představu je nutno dodat, že dosahy chránění ochran 50 (I>>) od TM a 50 (I>>) od SpS se vzájemně překrývají (není na diagramu zobrazeno – zkrat je počítán do půlky úseku, překrytí zajistí rezerva, se kterou se ochrany nastavují – rezerva 300 A).

#### **4.3.1.2 Mžikové ochrany pro blízké zkraty na TV**

Pokud má RV také dynamickou spoušť, dokáže tento RV reagovat i na zkratové proudy v blízkosti TM vlivem překročení dovoleného nárůstu proudu v A/s. Je otázkou

do jaké vzdálenosti TV by strmost nárůstu zkratového proudu dokázala překročit dovolenou mez (v diagramu není zobrazeno).

Chránění proti blízkým zkratům do 20 % délky TV je každopádně zajištěno nadproudovou mžikovou ochranou 50 ( $I_{>>>}$ ), která je dále zálohovaná podpěřovou ochranou 27 ( $U_{<}$ ) zpožděnou o 50 ms díky blokovací vazbě. Pokud tedy RV obsahuje dynamickou spoušť, lze říci, že tyto dvě ochrany jsou záložními ochranami pro tuto spoušť.

#### **4.3.1.3 Blokování ochran pro chránění TV**

Přestože se určité ochrany a RV v napáječových vývodech navzájem zálohují, není u nich použita blokovací vazba. Blokování je využito pouze mezi ochranami 50 ( $I_{>>>}$ ) a 27 ( $U_{>}$ ) pro chránění proti blízkým zkratům. Pro chránění proti zkratu je v soustavě DC 3 kV především zkratový proud včas vypnout, z tohoto hlediska není tedy příliš důležité, která z ochran pošle vypínací povel dříve, jestli spoušť RV nebo ochrana a není tedy potřebné vytvářet blokovací vazby. Z dalšího hlediska by bylo i finančně náročnější a možná složitější vytvářet další komunikace mezi RV a záložními ochranami.

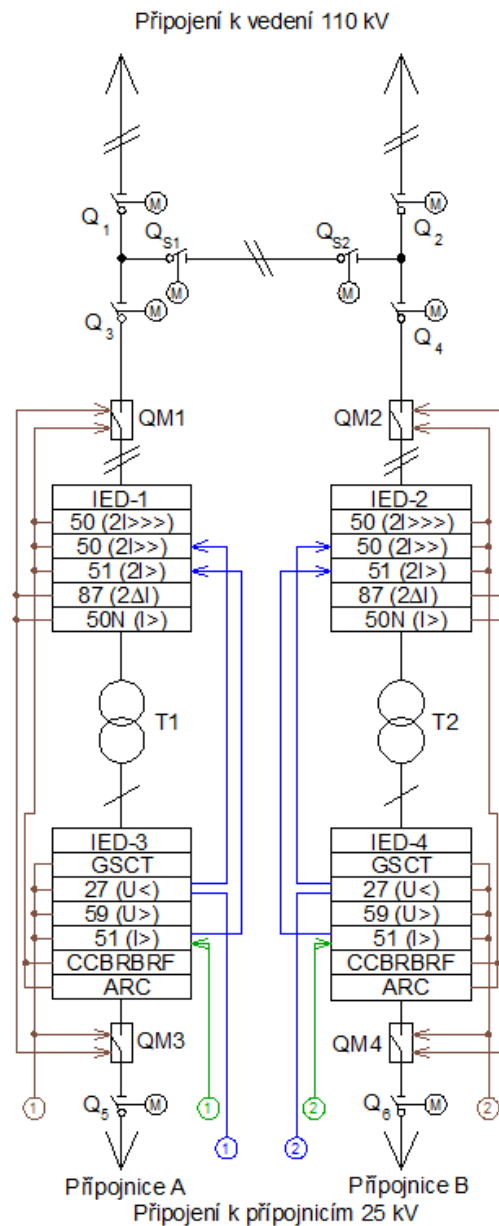
#### **4.3.1.4 Nastavení jednotlivých ochran**

V příloze Y (Nastavení ochran v TM – na CD) je uveden veškerý popis a metodika výpočtu pro nastavení jednotlivých ochran i s popisem. V této příloze jsou již uvedeny všechny ochrany, které jsou zobrazeny v kap. 4.3 Metodika chránění v soustavě DC 3 kV ve všech schématech. Na konci přílohy je souhrn nastavení jednotlivých ochran i s jejich časovým zpožděním v podobě tabulky.

Primární a sekundární nadproudové časově nezávislé dvoustupňové ochrany 51 ( $3I_{>}$ ) a 51 ( $3I_{>>}$ ) jsou časově nastavené podle maximálních dovolených dob přetížení transformátorů 110/22 kV (200 % jmenovitého proudu transformátoru na max. 5 min, 150 % jmenovitého proudu transformátoru na max. 15 min). Primární ochrana pak slouží jako záložní ochrana pro sekundární a jsou spojeny blokovací vazbou, kde zpoždění sekundární ochrany je sníženo o 50 ms tak, aby primární ochrana měla rezervu 50 ms na reakci.

**Pozn.:** Nastavení nadproudových ochran dle předpisu SR 34 viz Příloha G.

## 4.4 Metodika chránění v soustavě AC 25 kV 50 Hz



**Obr. 4.5: Metodika chránění vstupní rozvodny, TT část I**

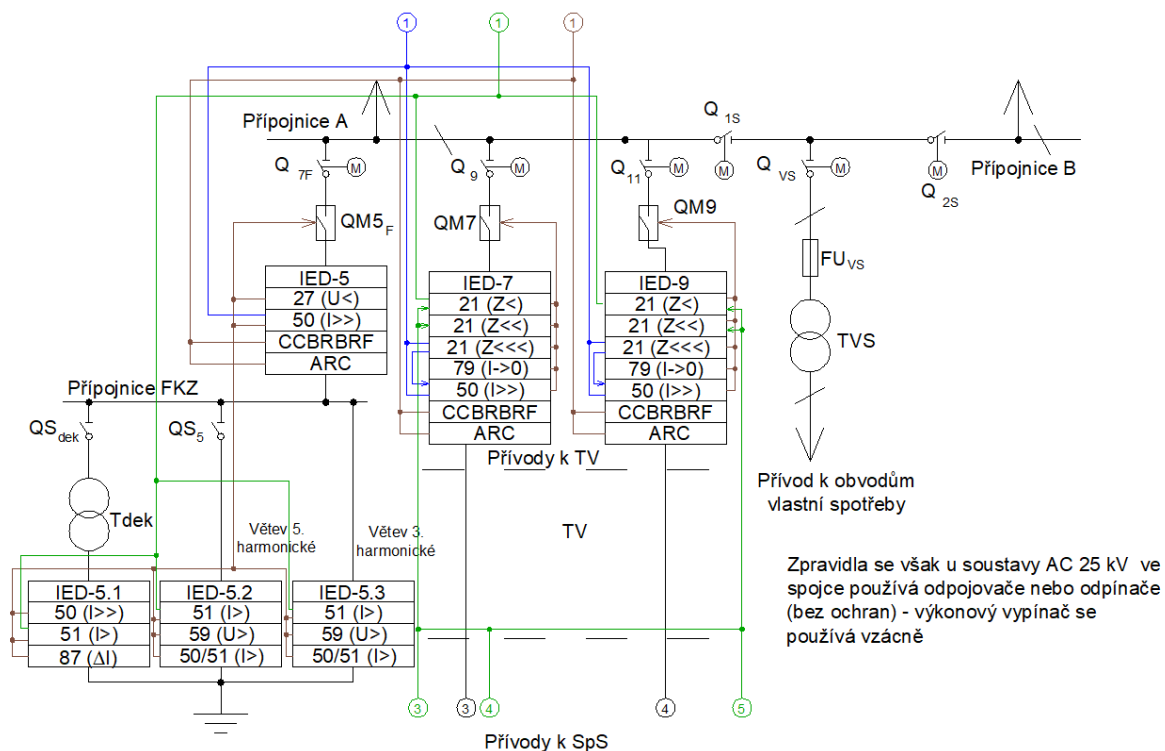
**Tab. 4.4: Popis kódového označení ochran - AC 25 kV 50 Hz, část I**

Popis kódů ochran dle kap. 2.1 Mezinárodní kódy ochranných funkcí			
50 (2I>>>>)	Druhý stupeň nastavení nadproudové mžikové ochrany	50N (I>)	Kostrová ochrana v podobě nadproudové mžikové ochrany
50 (2I>>>)	První stupeň nastavení nadproudové mžikové ochrany	CCBRBRF	Identifikace poruchy výkonového vypínače
87 (2ΔI)	Rozdílová ochrana	59 (U>)	Přepět'ová ochrana
51 (2I>) /51(I>)	Nadproudová čas. nezávislá ochrana	ARC	Záblesková ochrana

Popis kódů ochrany dle kap. 2.1 Mezinárodní kódy ochranných funkcí			
27 (U<)	Podpěťová ochrana	GSCT	Zpětná wattová ochrana

Trakční transformátory T1 a T2 využívají na své primární straně regulaci napětí pomocí odboček s  $\pm 8$  stupni po 2 % vstupního napětí (tedy celkem 16 odboček).

I když norma ČSN EN 33 3505 ed.2 doporučuje primární stranu transformátorů T1 a T2 chránit wattovou ochranou, není nutné tuto ochranu použít. Norma pouze doporučuje toto chránění a nenařizuje. Obvykle se tato ochrana na primární straně nepoužívá.



Obr. 4.6: Metodika chránění rozvodny 25 kV a TV, TT část II

Tab. 4.5: Popis kódového označení ochrany – AC 25 kV 50 Hz, část II

Popis kódů ochrany dle kap. 2.1 Mezinárodní kódy ochranných funkcí			
50 (I>>)	Nadproudová mžiková ochrana	59 (U>)	Přepětíová ochrana kondenzátorových baterií
51 (I>)	Nadproudová čas. nezávislá ochrana	50 (I>) /51(I>)	Balanční ochrana kondenzátorových baterií (nadproudová mžiková nebo čas. zpožděná ochrana)
87 ( $\Delta I$ )	Rozdílová ochrana dekompenzační větve	27 (U<)	Podpěťová ochrana
79 (0→I)	Automatické opětovné zapnutí vypínače	21 (Z<<<)	Třetí stupeň nastavení distanční ochrany (chrání 20 % délky TV)
21 (Z<)	První stupeň nastavení distanční ochrany (chrání TV přes SpS až	ARC	Záblesková ochrana

Popis kódů ochran dle kap. 2.1 Mezinárodní kódy ochranných funkcí			
	k další TT – 200 % délky TV)		
21 (Z<<)	Druhý stupeň nastavení distanční ochrany (chrání TV k následující SpS – 100 % délky TV)	CCBRBRF	Identifikace poruchy výkonového vypínače

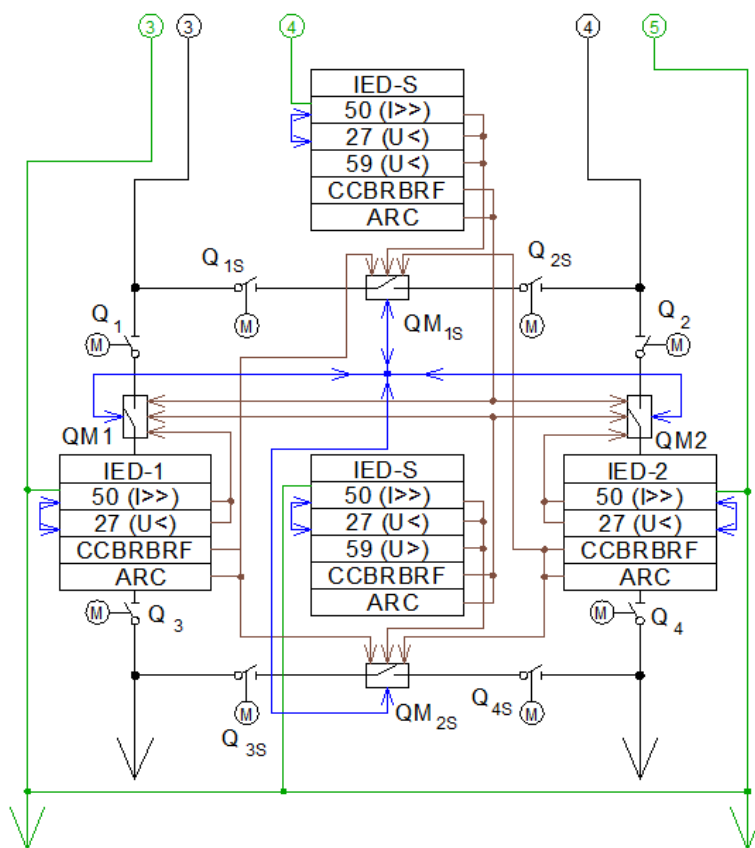
V podélných spojkách se obvykle používá odpojovačů, tím se nemusí používat dalších elektronických ochran. V tomto konkrétním případě je v podélné spojnici připojen jednofázový TVS 25/0,23 kV. Spojka je zde tvořena dvěma odpojovači  $Q_{1S}$  a  $Q_{2S}$ .

Většinou se pro vlastní spotřebu v TT využije standardních distribučních třífázových rozvodů 22 kV nebo 0,4 kV (případně dalších) z blízkého okolí. Využijí se TVS 22/0,4 popř. 0,4/0,4 nebo jiné převody pro napájení vlastní spotřeby v rozvodně v bezprostřední blízkosti TT (mimo TT). Jednofázový TVS 25/0,23 kV pak slouží jen jako záložní zdroj pro vlastní spotřebu v případě nouze. Výkony těchto transformátorů opět nepřevyšují hodnotu 1,6 MVA, tudíž pro chránění primární strany postačí pojistka (pro sekundární pak jistič). V provozu je vždy jeden TVS.

Každé FKZ je určené pro konkrétní trakční transformátor (a s tím pro určené napájené směry). V případě napájení přes spojnku zůstává ve funkci pouze jedno FKZ. Z hlediska chránění dekompenzační větve doporučuje norma ČSN EN 33 3505 ed. 2 použití nadproudových ochran. V případě, kdy je na trolejový pól zapojená dekompenzační tlumivka a za ní je zapojen regulátor, který má jeden svůj pól připojený na kolejnici, by byl při přeskoku na regulátoru proud omezený dekompenzační tlumivkou a mžiková nadproudová ochrana by nezareagovala. Používá se proto rozdílová ochrana, která tento problém řeší.

Nejcitlivějšími prvky jsou dále kondenzátorové baterie ve filtračních větvích, které musí být chráněny proti nadpětí. Další ochranou těchto kondenzátorových baterií je podpěťová ochrana v přívodu FKZ. Při podpětí odepíná FKZ od napájení, přičemž je dodržena doba beznapěťové pauzy 5 min pro bezpečné vybití kondenzátorových baterií. Kdyby se na nevybité kondenzátory připojilo obnovené napětí dříve, došlo by na nich ke zkratu.





K následujícím distančním ochranám v jednotlivých napájecích směrech

**Obr. 4.7: Metodika chránění SpS a TV, TT část III**

**Tab. 4.6: Popis kódového označení ochran - AC 25 kV 50 Hz, část III**

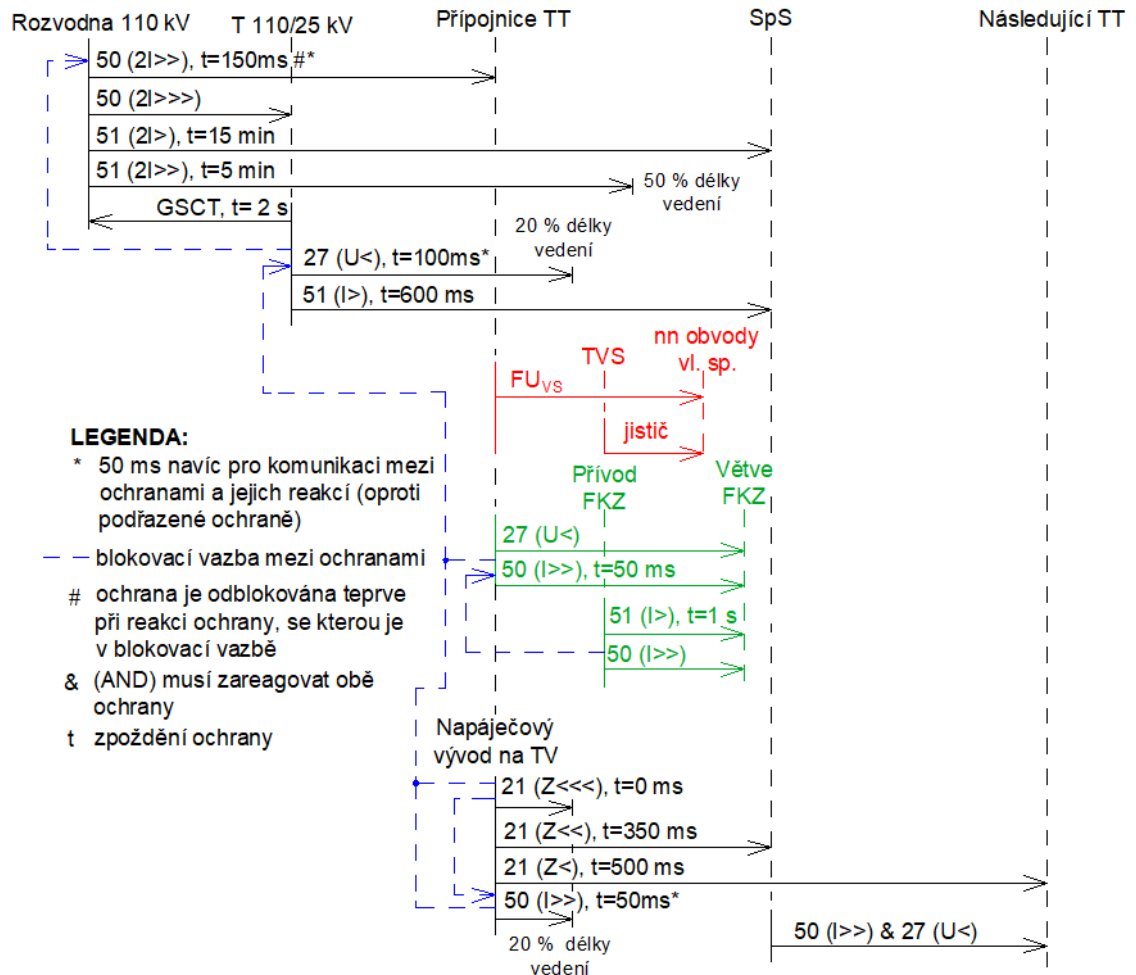
Popis kódů ochran dle kap. 2.1 Mezinárodní kódy ochranných funkcí			
50 (I>>)	Nadproudová mžiková ochrana	CCBRBRF	Identifikace poruchy výkonového vypínače
27 (U<)	Podpěťová ochrana	ARC	Záblesková ochrana
59 (U>)	Přepěťová ochrana v příčné spojnici proti paralelnímu sepnutí TV při příliš velkém rozdílném napětí		

Na schématu výše je zobrazeno standardní zapojení SpS do tzv. „čtverce“, kdy na každé straně „čtverce“ je výkonový vypínač. Výkonové vypínače jsou spjaty blokovací vazbou „3 ze 4“, kdy v SpS smí být pouze v provozu současně 3 výkonové vypínače.

Ochrany v SpS jsou tvořeny pouze nadproudovými mžikovými ochranami a podpěťovými ochranami, které jsou v podélném propojení mezi sebou blokovány, aby byl rozeznán zkrat od provozního proudu. Jedná se o levnou náhradu distanční ochrany. V příčném propojení se také využívá nadpěťová ochrana 59 (U>) nastavená dle SR 34 na 3 kV, jejímž účelem je zabránit automatickému sepnutí dvou úseků při rozdílu napětí

větším jak 3 kV. Zabraňuje tedy sepnutí úseků s rozdílnými fázovými posuvy. Chránění v SpS je dáno předpisem SR 34 a splněním podmínek normy ČSN 33 3505 ed. 2.

#### 4.4.1 Metodika nastavení ochran v soustavě AC 25 kV 50 Hz



Obr. 4.8: Diagram chránění a osazení ochran v TT

#### Příklad popisu

Ochrana 50 (2I>>), t=150 ms v rozvodně 110 kV chrání transformátor 110/25 kV před zkraty v rozvodně 110 kV i v rozvodně 25 kV - „vidí“ až na přípojnici v TT. Ochrana 50 (2I>>>) je nastavená na vyšší proud a chrání před zkraty pouze rozvodnu 110 kV – tato ochrana „vidí“ zkraty jen před transformátorem 110/25 kV, za transformátorem už zkrat nerozezná.

Na diagramu ochran je zřetelně znázorněn dosah jednotlivých ochran, místo jejich instalace a časové zpoždění, na které se obvykle nastavují. Pro jednoduchost je chránění zobrazeno z pohledu z řešené TT k následující TT. Pro lepší viditelnost jsou barevně rozlišeny ochrany vlastní spotřeby a FKZ.

V diagramu nejsou zobrazeny úplně všechny ochrany, jsou zobrazeny pouze ochrany, u kterých bylo snadné zobrazit dosahy. Chybí tedy např. rozdílová ochrana transformátoru, kostrová ochrana transformátoru, a také zemní napěťová ochrana (pro kontrolu dotykového napětí) apod. Tento diagram slouží také pro představu kooperace jednotlivých ochran (zálohování spolu s časovým zpožděním nebo blokovací vazbou) a neslouží pro výčet všech použitých ochran.

Na diagramu je zřetelně vidět zálohování ochran. Mimo časové selektivity je použita blokovací vazba mezi ochranami, která dovoluje snížit časy zpoždění ochran, což je z hlediska bezpečnosti velmi příznivý aspekt. Pro ochrany s blokovací vazbou je nadřazená ochrana zpožděná o 50 ms. Tento čas bezpečně pokrývá komunikaci mezi ochranami s jejich reakcí.

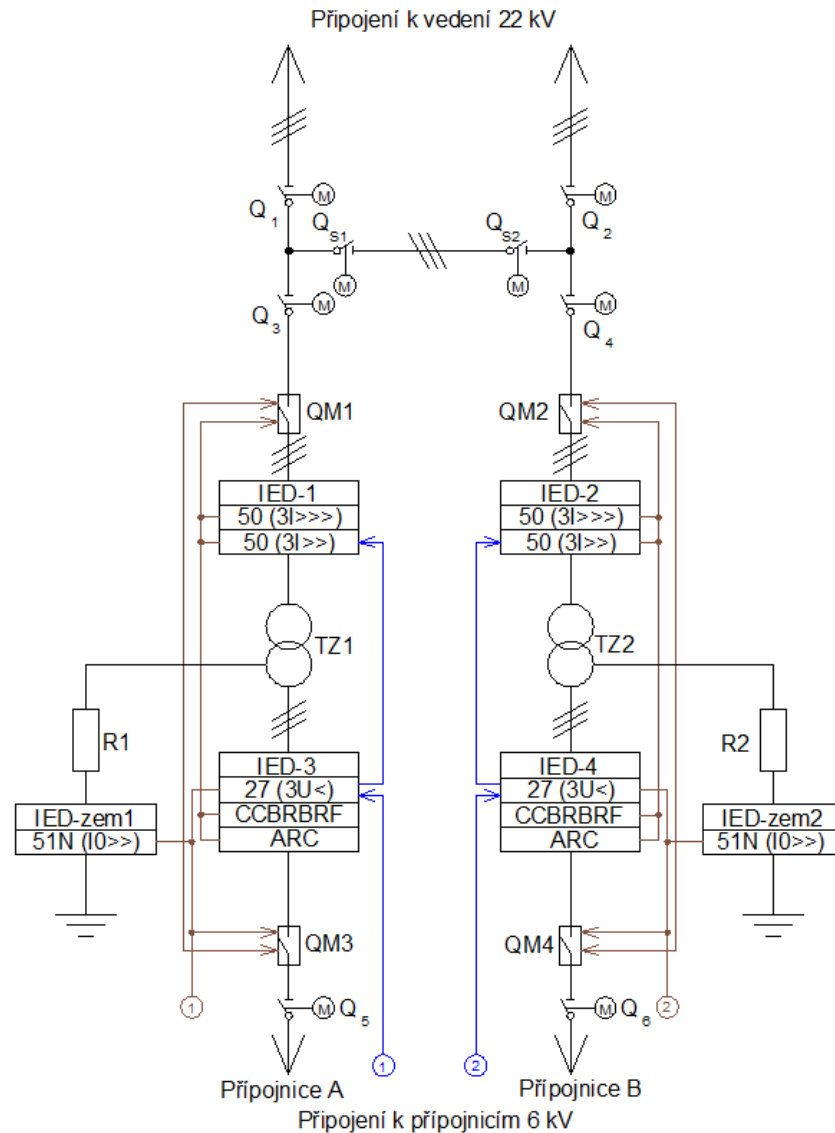
#### **4.4.1.1 Nastavení jednotlivých ochran**

V příloze X (Nastavení ochran v TT – na CD) je uveden veškerý popis a metodika výpočtu pro nastavení jednotlivých ochran i s popisem. V této příloze jsou již uvedeny všechny ochrany, které jsou zobrazeny v kap. 4.4 Metodika chránění v soustavě AC 25 kV 50 Hz na všech schématech. Na konci přílohy je souhrn nastavení jednotlivých ochran i s jejich časovým zpožděním v podobě tabulky.

Dvoustupňová nadproudová časově nezávislá ochrana na primární straně transformátoru 110/25 kV je nastavená na max. časové dovolené zpoždění z hlediska doby maximálního dovoleného přetížení těchto transformátorů (200 % jmenovitého proudu transformátoru na max. 5 min, 150 % jmenovitého proudu transformátoru na max. 15 min). Pro snížení času nastavení by šlo nižší stupeň ochrany spojit blokovací vazbou s podřazenou sekundární ochranou 51 ( $I>$ ). Časové zpoždění by pak mohlo být pouhých 0,6 s, ovšem je otázka, na jakou proudovou hodnotu by bylo nutné tuto ochranu přenastavit. Podle aktuálního diagramu slouží ochrana 51 ( $I>$ ) jako záloha za napáječové ochrany a „vidí“ až k SpS. Není tedy ochranou pro přetížení transformátoru, a proto není využita blokovací vazba. Navíc je zpoždění primární ochrany tak veliké, že by blokovací vazba neměla smysl.

**Pozn.:** Nastavení podpěťové ochrany v SpS a nadproudových ochran dle SR 34 viz Příloha K, nastavení distanční ochrany dle SR 34 viz Příloha a Příloha M.

## 4.5 Metodika chránění v NTS



**Obr. 4.9: Metodika chránění vstupní rozvodny, NTS část I**

**Tab. 4.7: Popis kódového označení ochran - NTS, část I**

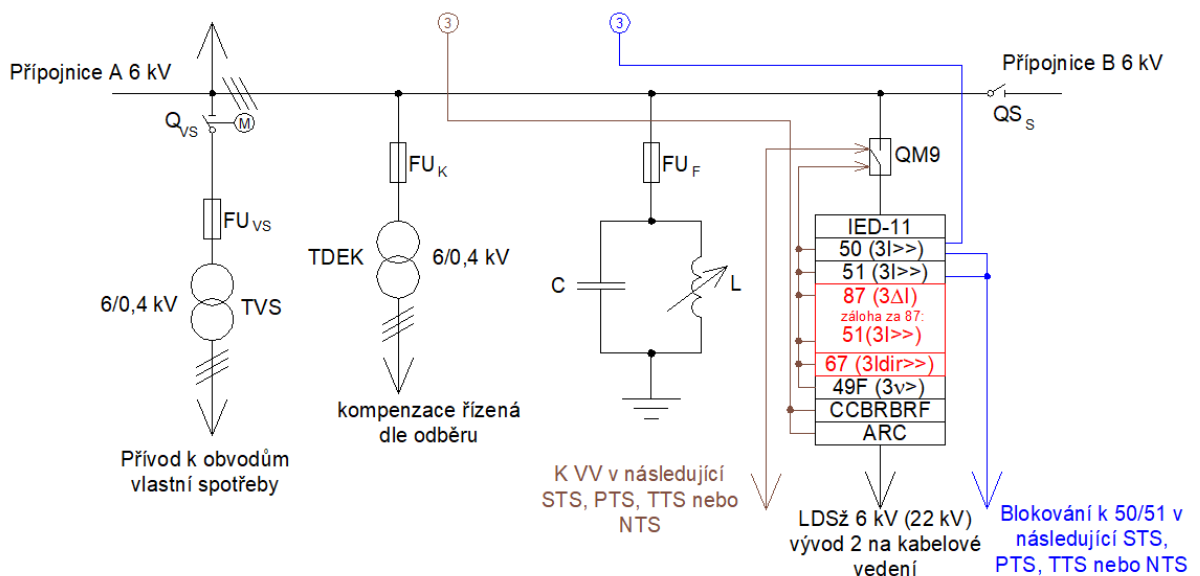
Popis kódů ochran dle kap. 2.1 Mezinárodní kódy ochranných funkcí			
50 (3I>>)	První stupeň nastavení nadproudové mžikové ochrany	CCBRBRF	Identifikace poruchy výkonového vypínače
50 (3I>>)	Druhý stupeň nastavení nadproudové mžikové ochrany	ARC	Záblesková ochrana
27 (U<)	Podpět'ová ochrana	51N (I0>>)	Zemní nadproudová čas. nezávislá ochrana s vyšším stupněm nastavení

Na schématu nahoře je znázorněna rozvodna 22 kV pro napájení transformátorů TZ1 a TZ2 22/6 kV. Síť 6 kV je IT, pro rozeznání zemní poruchy jsou uzly sekundárních vinutí transformátorů uzemněny přes odpor známé hodnoty. Protože se většinou jedná

o transformátory s výkonem nižším než 1,6 MVA, jsou sekundární a primární strany osazeny pouze zkratovými ochranami. Rozdílová ani kostrová ochrana se nepoužije (dle ČSN 33 3051 tab. 9).

Druhou verzí chránění je, že místo elektronických ochranných relé a výkonových vypínačů se použije jednoduše pojistka, což je mnohem levnější řešení (viz PNE 38 4065 4. vydání kap. 127). Toto řešení se nejčastěji používá v místních NTS, pro samostatné NTS je otázkou, jaké řešení je v dané chvíli vhodnější.

Zemní nadproudová časově nezávislá ochrana 51N ( $I_{0>>}$ ) tvoří záložní ochranu pro kabelové vedení.



**Legenda:** Ochrany označené červeně jsou další varianty chránění kabelového vývodu  
 Záložní ochrana 51 za ochranu 87 bude s časovým zpožděním  $t = 250$  ms  
 Na obr. není znázorněna komunikační vazba mezi ochranami 87 z kabelového vývodu 1 (2) na následující kabelový vývod (přívod) v další STS, PTS, TTS nebo NTS - je samozřejmostí, že tato vazba tam je

**Obr. 4.10: Metodika chránění rozvodny 6 kV, NTS část II**

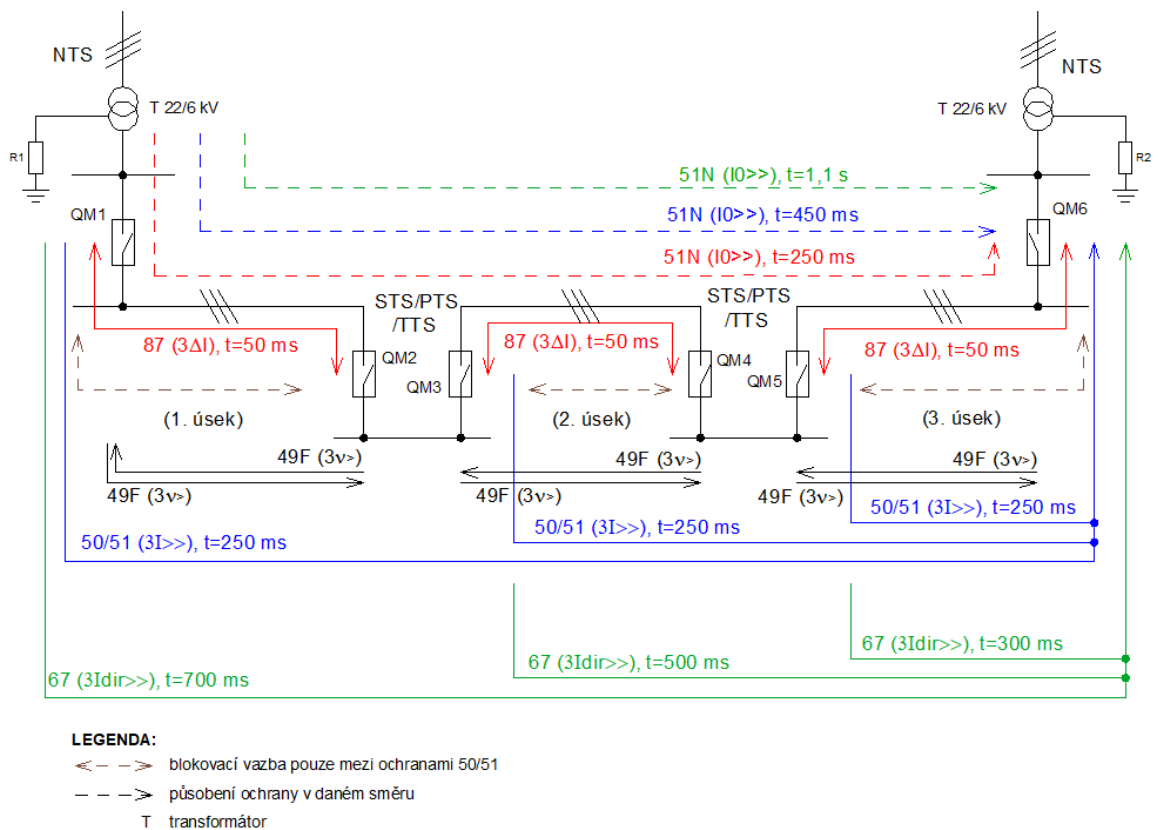
**Tab. 4.8: Popis kódového označení ochranných relé - NTS, část II**

Popis kódů ochranných relé dle kap. 2.1 Mezinárodní kódy ochranných funkcí			
50 ( $3I_{>>}$ )	Nadproudová mžiková ochrana kabelového vedení	49F ( $3v_{>}$ )	Teplotní ochrana kabelového vedení
51 ( $3I_{>>}$ )	Nadproudová čas. nezávislá/závislá ochrana kabelového vedení s vyšším stupněm nastavení	CCBRBRF	Identifikace poruchy výkonového vypínače
67 ( $3I_{dir>>}$ )	Směrová nadproudová ochrana s vyšším stupněm nastavení	ARC	Záblesková ochrana
87 ( $3\Delta I$ )	Rozdílová ochrana kabelového vedení		

Filtrační větve tvořené LC vyrovnávají účinník při odběrech a TDEK s dekompenzačními obvody kompenzují velkou kapacitu kabelového vedení. Pojistka pro chránění těchto zařízení bohatě postačuje. Výkon TDEK a TVS obvykle nepřevyšuje 1,6 MVA, čímž stačí tyto transformátory chránit na primární straně pojistkou a na sekundární straně jističem. Lze mít jednu filtrační větev na jeden napájecí vývod, lze ale také mít jednu filtrační větev na více napájecích vývodů.

Vlastní spotřeba se uplatní pouze v samostatné NTS. V místní NTS jsou již obvody vlastní spotřeby spolu s TVS zahrnuty v rámci rozvodny 22 kV v TM. V provozu je vždy jeden TVS.

Při napájení dvou TZ (každý z jiného zdroje) musí být tyto transformátory proti paralelnímu chodu blokovány.



**Obr. 4.11: Metodika chránění kabelového vedení 6 kV, NTS část III**

Metodika chránění kabelových rozvodů se odvíjí od skutečnosti, jestli se vyskytuje v daném úseku odbočka či nikoliv. Pokud není v žádném úseku odbočka, je nejlepší využít rozdílové ochrany 87 (3 $\Delta$ I), které vypnou poruchu za 50 ms. S tímto chráněním jsou tyto ochrany zálohované zemní nadproudovou časově nezávislou ochranou 51N (I $_{0>>}$ ) s časovým zpožděním 250 ms.

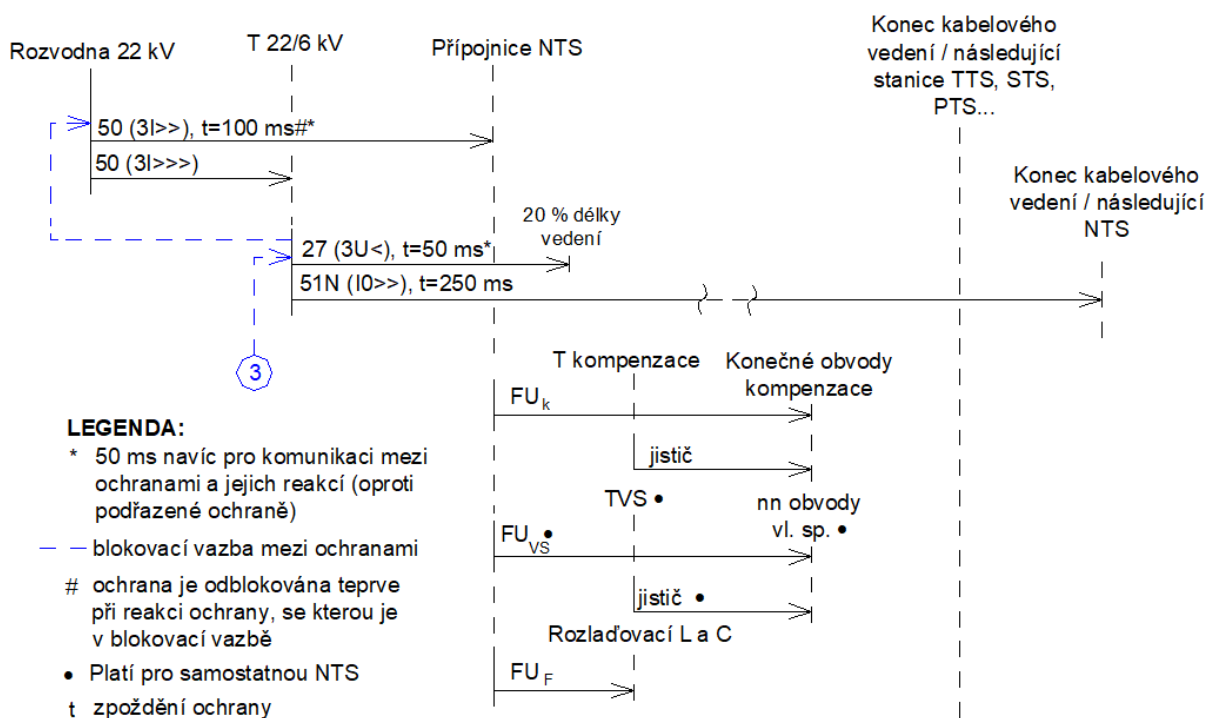
Pokud je v úseku odbočka nějakého odběru, není vhodné používat rozdílové ochrany. Je nutné volit mezi nesměrovými nadproudovými ochranami 50/51 (3I>>) a směrovými nadproudovými ochranami 67 (3I<sub>dir</sub>>>). Výhoda a nevýhoda použití je jasně daná časovými zpožděními jednotlivých typů ochrany. Vhodnější volba je proto použít ochrany 50/51 (3I>>), které dovolují vypnout poruchu do 250 ms v každém úseku. Záložní ochranou pro tyto ochrany je zemní nadproudová ochrana 51N (I<sub>0</sub>>>) s časovým zpožděním 450 ms (jedná se o minimální časové zpoždění).

Čas 250 ms je mimo jiné také nutný pro komunikaci mezi ochranami na konci jednotlivých úseků v rámci vyslání, příjmu a zpracování (popř. jiných vnitřních procesů) přes blokovací vazbu. Blokovací vazba zajišťuje, že ochrany vypnou vypínače pouze v úseku, ve kterém skutečně nastala porucha.

Ochrana 67 (3I<sub>dir</sub>>>) nepoužívá komunikaci mezi ochranami díky směrovosti, ovšem pro svá časová zpoždění je nejméně vhodná.

Z hlediska principu napájení, se nikdy nesmí paralelně propojit napájení dvou sousedních NTS (jiné fázové posuvy).

#### 4.5.1 Metodika nastavení ochrany v soustavě AC 6 kV 50 Hz



Chránění kabelového vedení bude pro názornost vykreslena ve schématu propojení NTS s STS, PTS, TTS a následující NTS

Bez rozvodny vn chybí T vn(vn)/vn, místo toho se jako styčného bodu využije VV připojící NTS na 22 kV (distributorskou síť) - místo ochrany 51N se v tomto případě může využít ochrana 59N nebo 67 N (pokud není napájena síť rozsáhlá) - případně se rozvodna vybaví transformátorem vn/vn s odporníkem v uzlu, pak se využije ochrana 51N

**Obr. 4.12: Diagram chránění a osazení ochrany v NTS, část I**

### **Příklad popisu**

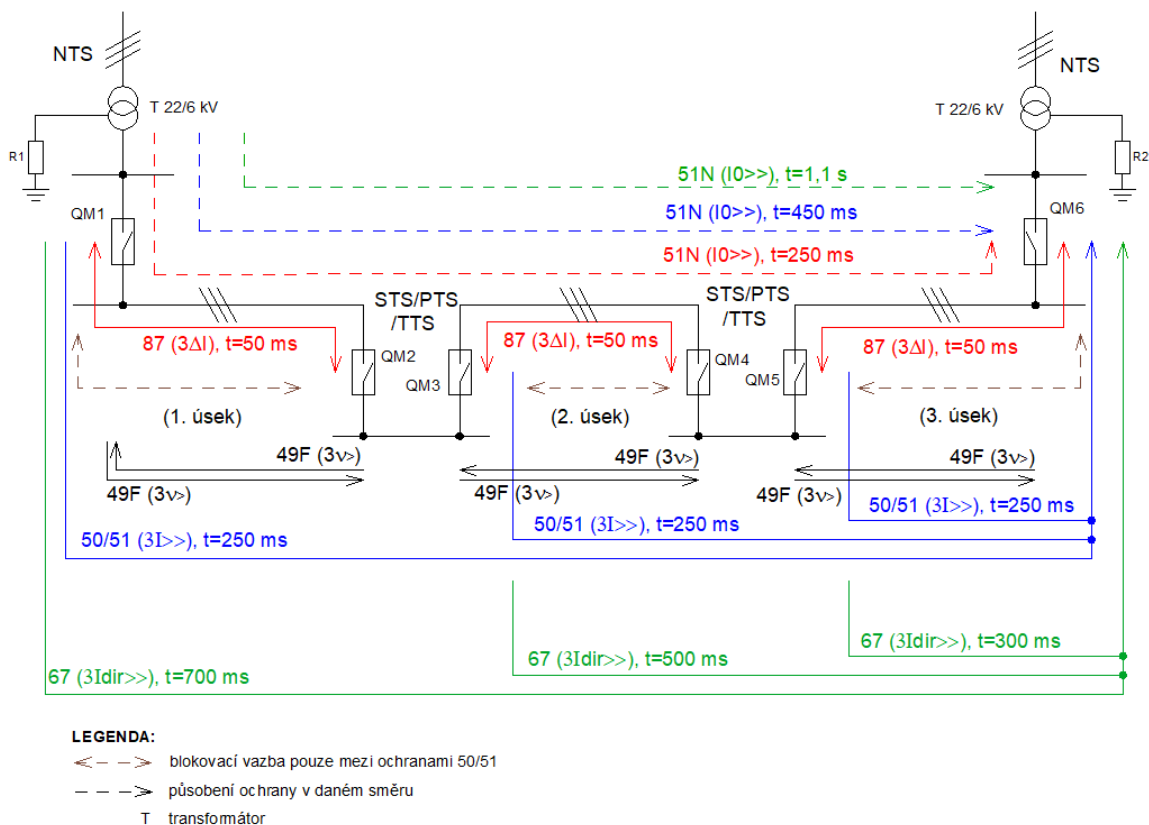
Ochrana 27 ( $3U<$ ),  $t=50$  ms na sekundární straně transformátoru 22/6 kV chrání rozvodnu 6 kV před zkraty, a zároveň dokáže rozeznat zkrat i do 20 % délky kabelového vedení. Tato ochrana je blokována podřazenou zkratovou ochranou přímo chránící kabelové vedení do jeho délky 20 %. Zároveň je tato ochrana zálohována ochranou 50 ( $3I>>$ ),  $t=100$  ms v rozvodně 22 kV pro případ zkratu v rozvodně 6 kV. Nutno dodat, že ochrany kabelového vedení v celého jeho délce k následující NTS jsou zálohovány zemní nadproudovou 51N ( $I0>>$ ) s vyšším časovým zpožděním.

Protože je chránění kabelového vedení složitější, je tento diagram rozdělen na dvě části z důvodu jednoduššího zobrazení chránění kabelového vedení. Z diagramu chránění pro samotnou rozvodnu NTS vyplývá její jednoduchost, co se týká osazení ochranami.

Předpokládám, že obvykle jsou transformátory TZ do výkonu 1,6 MVA, tudíž se chránění dle normy ČSN 33 3051 dle tab. 9 a PNE 38 4065 4. vydání kap.127 zjednodušuje na zkratovou ochranu primární a zkratovou ochranu sekundární, přičemž primární ochrana má opět dva stupně, kdy první stupeň je blokován podpěťovou sekundární ochranou. Toto je patrné na diagramu. Rozdílová, kostrová ani tepelná ochrana se nepoužijí.

Místo primárních ochran transformátorů TZ lze použít pojistku, která slouží také jako zkratová primární ochrana. Toto řešení je použito v místní NTS (v rámci TM). Použitím pojistky se chránění výrazně zjednodušuje a zlevňuje, odpadají elektronické ochrany a s nimi i nutný výkonový vypínač na primární straně TZ. Z hlediska samostatné rozvodny NTS je otázkou, jakou variantu použít. Rozhodnutí bude záležet na místních podmínkách a zřejmě i způsobu řízení rozvodny, kdy z hlediska automatického řízení (popř. dálkového ovládání) rozvodny by mohlo být praktičtější využití výkonového vypínače a s ním i elektronických ochran.





**Obr. 4.13: Diagram chránění kabelového vedení 6 kV, část II**

Na diagramu výše je zobrazeno chránění kabelového vedení ve třech variantách. Popis těchto variant je uveden v kap. 4.5 Metodika chránění v NTS, proto se tímto popisem již nebudeme zabývat.

Výběr ochran je opět na volbě projektanta vzhledem ke způsobu napájení (existence odbočky v kabelových úsecích). Kabelová vedení lze chránit na vývodech pro lepší využití kabelů teplotní ochranou 49F (3v>). Kabelové úseky jsou vždy napájené pouze z jedné strany, je vyloučený paralelní chod NTS (rozdílné fáze napájení).

#### 4.5.1.1 Nastavení jednotlivých ochran

V příloze Z (Nastavení ochran v NTS – na CD) je uveden veškerý popis a metodika výpočtu pro nastavení jednotlivých ochran i s popisem. V této příloze jsou již uvedeny všechny ochrany, které jsou zobrazeny v kap. 4.5 Metodika chránění v NTS ve všech schématech, a zároveň jsou zde nastavené ochran jak pro místní, tak pro samostatnou NTS. Na konci přílohy je souhrn nastavení jednotlivých ochran i s jejich časovým zpožděním v podobě tabulky.

**Pozn.:** Nastavení nadproudových ochran dle SR 34 lze využít přílohu k (viz Příloha K).

## 5 Výpočet zkratových proudů

V této kapitole diplomové práce budou řešeny výpočty zkratových proudů podle platných předpisů a norem viz níže. Podle výsledků těchto výpočtů byly nastaveny ochrany jednotlivých napájecích systémů. **Nastavení těchto ochran** je řešeno v samostatných přílohách X (pro soustavu AC 25 kV 50 Hz), Y (pro soustavu DC 3 kV) a Z (pro soustavu AC 6 kV 50 Hz), které jsou uloženy na CD. **Zkratové výpočty jsou zpracovány** v samostatných přílohách T (pro TT), U (pro TM dle nových norem), V (pro TM dle předpisu SR 34) a W (pro NTS), které jsou uloženy na stejném CD.

Pro nastavení nadproudových i podpětových ochran se uvažuje vždy nejhorší případ, tedy minimální zkratový proud, který je potřeba vypočítat. V praxi se ve výpočtech zkratových impedancí a proudů pro AC soustavy zanedbává činný odpor (je velmi malý oproti reaktanci) mimo výpočtu impedance TV (kde se berou většinou tabulkové hodnoty dle zapojené sestavy TV). Pro celkovou ukázkou výpočtů, jsem však tyto odpory nezanedbal.

Co se týká zkratových odporů, zanedbává se impedance přípojníc, přívodů a vývodů, protože mají obecně velké průřezy (ať už jsou tvořeny šínovým vedením nebo kabelovým vedením) a oproti TV, impedancím transformátorů a jiných el. zařízení mají velmi krátkou délku, a tudíž velmi malou impedanci. Spojením spojky na přípojnících se tedy zkratová impedance těmito prvky nijak nezmění (ovšem změní se, pokud transformátory mají různé velikosti svých impedancí).

Pro výpočty se uvažuje vzdálený zkrat, při kterém neuvažují další příspěvky zkratových proudů ze synchronních a asynchronních motorů dle bodu 3.17 v ČSN EN 60909-0 ed.2. AC složka zkratového proudu je v celém průběhu zkratu konstantní, tedy rázový zkratový proud je roven ustálenému zkratovému proudu ( $I_k = I_k''$ ).

### 5.1 Použité předpisy a normy pro výpočty zkratových proudů

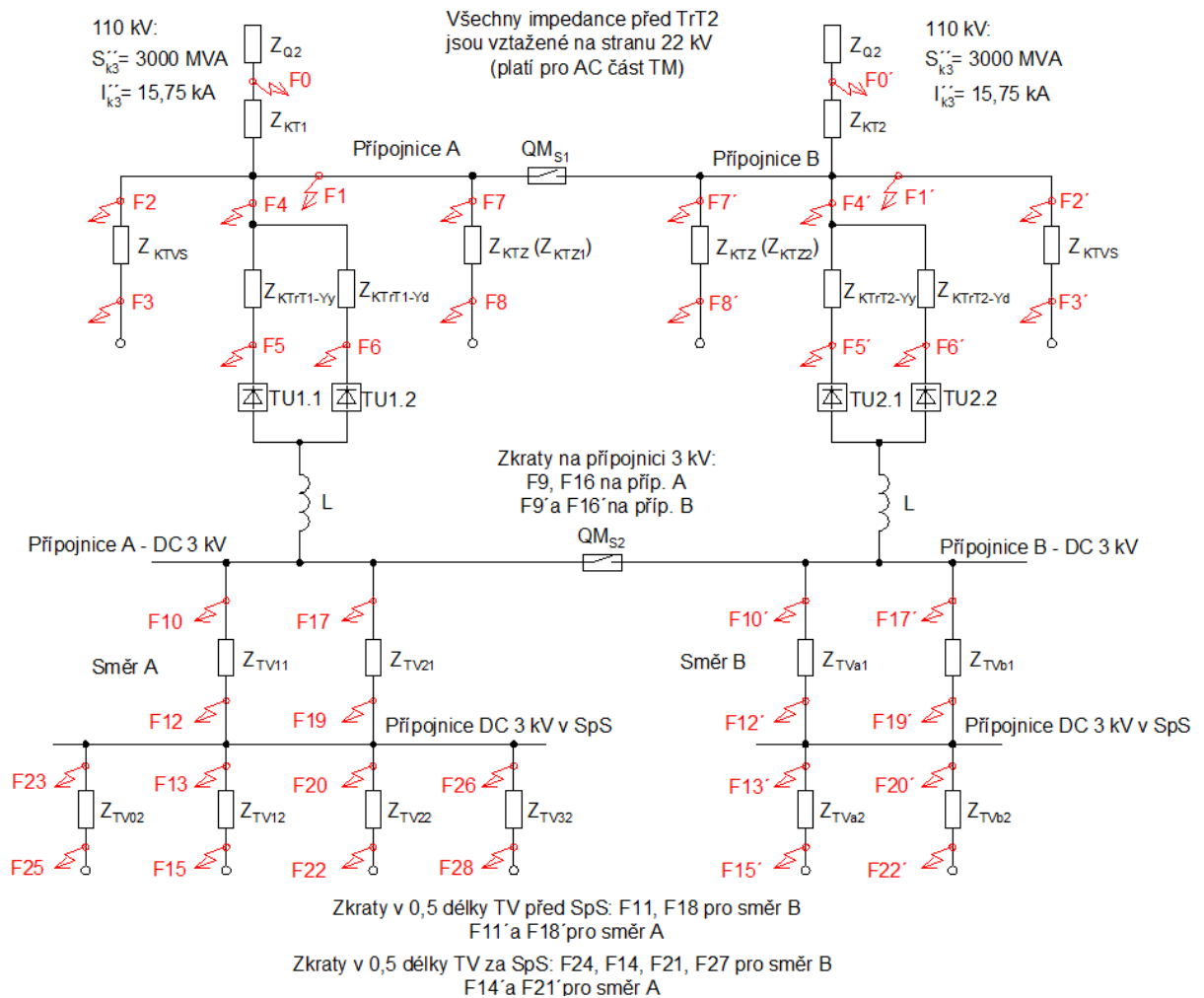
- SR 34 (E) Služobná rukoväť – Nastavovanie, prevádzka a údržba reléových ochrán trakčného napájacieho obvodu (použito pro DC i AC zkratové proudy)
- ČSN EN 60909-0 ed. 2 – Zkratové proudy v třífázových střídavých soustavách – Část 0: Výpočet proudů
- ČSN EN 61660-1 – Zkratové proudy ve stejnosměrných rozvodech vlastní spotřeby v elektrárnách a rozvodnách – Část 1: Výpočet zkratových proudů

- ČSN EN 61660-3 – Zkratové proudy ve stejnosměrných rozvodech vlastní spotřeby a v elektrárnách a rozvodnách – Část 3: Příklady výpočtů

## 5.2 Zkratové výpočty pro TM

Účelem těchto výpočtů je zjistit velikosti minimálních zkratových proudů v různých místech rozvodny TM při různých konfiguracích jejího zapojení. Konfigurací je pět – A, B, C, D a E. Protože se v TM v tomto případě nacházejí dvě podélné spojky,  $QM_{S1}$  je na přípojnici 22 kV a  $QM_{S2}$  je na přípojnici 3 kV, je tedy těchto konfigurací přirozeně více. Spojka  $QM_{S2}$  nemusí být do přípojnice 3 kV instalována, použil jsem ji pro jednodušší oddělení poruch (v případě poruchy oddělení přípojnice A a B na straně DC 3 kV). Konfigurace B a C zahrnují případ, kdy je spojka  $QM_{S1}$  sepnutá a spojka  $QM_{S2}$  rozepnutá, přičemž je vždy funkční jeden ze dvou transformátorů 110/22 kV. Konfigurace D a E zahrnují případ, kdy je sepnutá spojka  $QM_{S2}$  a spojka  $QM_{S1}$  je rozepnutá a v provozu je vždy jeden z trakčních transformátorů 22/2,5 kV a s ním jeden z trakčních usměrňovačů. Veškeré konfigurace jsou zobrazeny v příloze U (Výpočty zkratových proudů v TM – na CD), v příloze V (Výpočty zkratových proudů v TM dle SR 34 – na CD) nebo v příloze Y (Nastavení ochran v TM – na CD).

Na následujícím schématu je zobrazena rozvodna TM se svými zkratovými (maximálními) impedancemi, které je nutné znát pro výpočet zkratových proudů. Jediným rozdílem je zkrat F0, který nastane před transformátory 110/22 kV, ten je vypočítaný s hodnotami na straně 110 kV. Ostatní zkraty jsou již vztažené na stranu 22 kV (popř. jinou napěťovou hladinu).



**Obr. 5.1: Schéma TT z hlediska zkratových impedancí a zkratů**

Kde  $S_{k3}''$  je minimální třífázový zkratový výkon distribuční sítě 110 kV [VA]

$I_{k3}''$  .....třífázový zkratový proud [A]

$F_x$  .....místo vzniku zkratu ve směru A, kde x je číselné pořadí [-]

$F_{x'}$  .....místo vzniku zkratu ve směru B, kde x je číselné pořadí [-]

$Z_{Q2}$  .....impedance sítě převedená na stranu 25 kV [ $\Omega$ ]

$Z_{KTx}$  .....impedance transformátorů 110/22 kV upravená koeficientem K [ $\Omega$ ]

$Z_{KTVS}$  .....impedance transformátoru vlastní spotřeby upravená koeficientem K [ $\Omega$ ]

$Z_{KTZ}$  .....impedance transformátoru 22/6 kV pro napájení žel. zab. zařízení (místní NTS) [ $\Omega$ ]

$Z_{KTRTx-Yy}$  .....impedance trakčního transformátoru mezi vinutími Y-y [ $\Omega$ ]

$Z_{KTRTx-Yd}$  .....impedance trakčního transformátoru mezi vinutími Y-d [ $\Omega$ ]

TU $x.x$  .....trakční usměrňovač – šestipulzní část [-]

L .....omezovací tlumivka [H]

$Z_{TVxx}$  .....impedance trakčního vedení [ $\Omega$ ]

QM<sub>S1</sub> .....vypínač v podélné spojení v rozvodně 22 kV [-]

QM<sub>S2</sub> .....vypínač v podélné spojení v rozvodně 3 kV [-]

### 5.2.1 Rovnice pro výpočet zkratových proudů

Vypsání rovnic slouží pro výpočet jednotlivých zkratových proudů. Výpočet zkratového střídavého proudu dle normy ČSN EN 60909-0 ed. 2:

$$I_{k3} = I_{k3}'' = \frac{c_{min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} [A, -, V, \Omega] \quad (5.1)$$

$$I_{k2} = I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}'' [A, A] \quad (5.2)$$

$$i_p = \sqrt{2} \cdot I_k'' \cdot (1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot R/X}) [A, A, \Omega, \Omega] \quad (5.3)$$

$$i_{DC} = \sqrt{2} \cdot I_k'' \cdot e^{-2 \cdot \pi \cdot f \cdot t \cdot R/X} [A, A, \text{Hz}, s, \Omega, \Omega] \quad (5.4)$$

Kde  $c_{min}$  je minimální napěťový součinitel, pro vn síť nabývá hodnoty 1 [-]

$U_n$  .....jmenovité sdružené napětí síť (110 kV) [V]

$Z_k$  .....maximální zkratová impedance [ $\Omega$ ]

$R$  .....činný odpor maximální zkratové impedance [ $\Omega$ ]

$X$  .....reaktance maximální zkratové impedance [ $\Omega$ ]

$f$  .....frekvence [Hz]

$t$  .....čas první amplitudy (0,01 s) [s]

$i_p$  .....nárazový zkratový proud [A]

$i_{DC}$  .....stejnoseměrná složka zkratového proudu [A]

Pro výpočet stejnosměrného zkratového proudu je pro možnost porovnání využitý vzorec dle předpisu SR 34 a dle normy ČSN EN 61660-1. Výpočty jsou tedy provedeny dvakrát.

$$I_k = \frac{0,8 \cdot U_n}{R_k} [A, V, \Omega] \quad (5.5)$$

$$I_{kD} = \lambda_D \cdot \frac{3 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_N} \cdot \frac{1}{p_{TrT}} [A, -, -, V, \Omega, -] \quad (5.6)$$

Následující popis platí pro případ rovnice (5.5):

Kde  $U_n$  je napětí soustavy DC 3 kV (3,3 kV) [V]

$R_k$  .....činný zkratový odpor [ $\Omega$ ]

0,8 .....koeficient respektující úbytek napětí při zkratu [-]

$I_k$  .....ustálený zkratový proud [A]

Následující popis platí pro případ rovnice (5.6):

Kde  $U_n$  je napětí soustavy AC 22 kV 50 Hz (23 kV) [V]

$Z_N$  .....impedance na straně AC před usměrňovačem převedená na stranu 2,5 kV  
[ $\Omega$ ]

$p_{TrT}$  .....převod trakčního transformátoru [-]

$\lambda_D$  .....součinitel pro výpočet kvazistacionárního ustáleného zkratového proudu  
[A]

$I_{kD}$  .....kvazistacionární ustálený zkratový proud [A]

Pro výpočet zkratového proudu dle normy ČSN EN 61660-1 je nutné použít normu ČSN EN 61660-3, díky které lze zjistit, jaké hodnoty se mají do rovnice (5.6) dosadit. Norma ČSN EN 61660-1 rovnici (5.6) nijak nepopisuje.

V přílohách U (Výpočty zkratových proudů v TM – na CD) a V (Výpočty zkratových proudů v TM dle SR 34 – na CD) je zobrazen veškerý postup výpočtů, jsou zobrazeny výsledné zkratové impedance a v tabulkách jsou shrnuty výsledné zkratové proudy.

Z vypočtených zkratů je patrná rozdílnost použitých postupů, která je nejvyšší pro výpočet zkratů v bezprostřední blízkosti TM. Tedy do 20 % délky TV (zkrat F10/17 a F10/17') a přímo na přípojnici 3 kV (zkrat F9/16 a F9/16').

**Tab. 5.1: Zkratové proudy vypočtené dle SR 34, zdroj Příloha V**

Konfigurace A, B, C, D, E		
TrT1		
TrT2		
Zkrat	$I_k$ [kA]	$I_k$ [kA]
F9/16	220	220
F10/17	9,53	8,89

**Tab. 5.2: Zkratové proudy vypočtené dle normy ČSN EN 61660-1, zdroj Příloha U**

Konfigurace E		
TrT2		
Přípojnice A		
Přípojnice B		
Zkraty	$I_{kD}$ [kA]	$I_{kD}$ [kA]
F9/16	11,24	11,24
F10/17	6,78	7,22

Z Tab. 5.1 a Tab. 5.2 je patrná velká rozdílnost vypočtených zkratových proudů. Především pro zkrat F9/16 (spolu s F9/16'), kde je rozdíl nejmarkantnější. Protože předpis SR 34 nezahrnuje výpočet zkratů uvnitř rozvodny 3 kV (zahrnuje pouze výpočet zkratů

na TV), nelze jednoznačně říci, proč je tato hodnota tak veliká (resp. je-li možné vzorec pro výpočet zkratů na TV využít i pro zkrat na přípojnici 3 kV).

O původu vzorce (5.6) toho také není mnoho známo, ale z hlediska jeho obsahu lze konstatovat, že tento vzorec respektuje oproti rovnici (5.5) z předpisu SR 34 impedanci střídavé strany před trakčním usměrňovačem a s jistým odhadem lze říci, že tento vzorec bude také respektovat zkratové možnosti trakčního usměrňovače. Tedy, že trakční usměrňovač bude schopen přenést pouze určitou velikost zkratového proudu. Reálnější a bezpečnější se tedy jeví dále počítat se zkratovými proudy vypočítanými dle ČSN EN 61660-1 pro zkraty F9/16, F9/16', F10/17 a F10/17'.

Pro ostatní zkraty nemají tyto metody mezi sebou takový rozdíl (řády stovek A, většinou do 200 A), z důvodu jistoty jsem pro nastavení ochran zvolil metodiku danou předpisem SR 34 (od zkratu v 50 % délky TV), která je u SŽDC stále v platnosti.

Výhodou předpisu SR 34 je jeho jednoduchost, hodnoty zkratových proudů se při různých konfiguracích nijak nemění (z podstaty výpočtového vzorce). U vzorce normy ČSN EN 61660-1 je nutné při každé konfiguraci kontrolovat impedanci  $Z_N$ , která se zapojováním různých transformátorů při různých kombinacích může změnit (platí, pokud transformátory mají různé impedance).

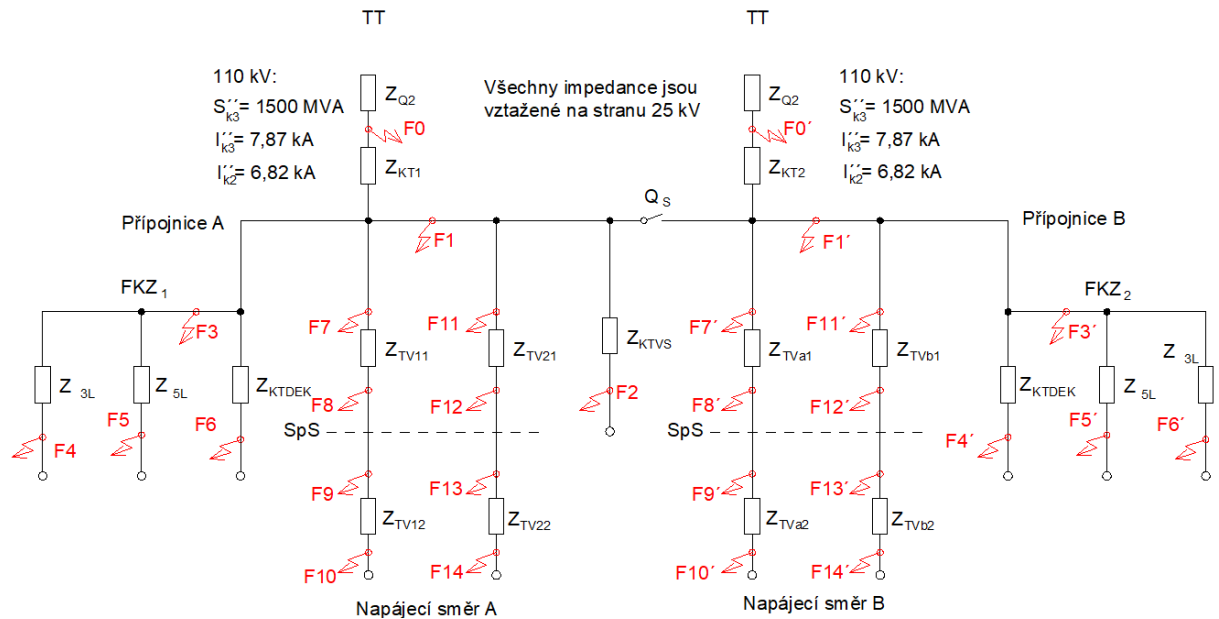
**Pozn.:** Další parametry dle SR 34 – odpor TV (viz Příloha E), Příloha C zobrazuje odpory nadzemního vedení a Příloha D zobrazuje odpory zpětného vedení, reaktance soustavy 110 kV (viz Příloha I), odpor TV dle způsobu zapojení (viz Příloha F) a rovnice pro výpočet zkratových proudů na TV viz Příloha G.

### 5.3 Zkratové výpočty pro TT

Účelem těchto výpočtů je zjistit velikosti minimálních zkratových proudů v různých místech rozvodny TT při různých konfiguracích jejího zapojení. Konfigurace jsou tři – A, B, C. Konfigurace B a C platí při spojené podélné spojce  $Q_S$  a při funkci jednoho ze dvou trakčních transformátorů T1 a T2. Konfigurace A platí při rozpojené spojce  $Q_S$  a funkci obou trakčních transformátorů T1 a T2. Platí pravidlo, že je vyloučen paralelní chod těchto transformátorů. Veškeré konfigurace jsou zobrazeny v příloze T (Výpočty zkratových proudů v TT – na CD) nebo v příloze X (Nastavení ochran v TT – na CD).

Na následujícím schématu je zobrazena rozvodna TT se svými zkratovými (maximálními) impedancemi, které je nutné znát pro výpočet zkratových proudů. Jediným rozdílem je zkrat F0, který nastane před transformátory 110/25 kV, ten je vypočítaný

s hodnotami na straně 110 kV. Ostatní zkratky jsou již vztažené na stranu 25 kV (popř. jinou napěťovou hladinu).



**Obr. 5.2: Schéma TT z hlediska zkratových impedancí a zkratů**

Kde  $S_{k3}''$  je minimální třífázový zkratový výkon distribuční sítě 110 kV [VA]

$I_{k3}''$  .....třífázový zkratový proud [A]

$I_{k2}''$  .....dvoufázový zkratový proud [A]

$F_x$  .....místo vzniku zkratu ve směru A, kde x je číselné pořadí [-]

$F_{x'}$  .....místo vzniku zkratu ve směru B, kde x je číselné pořadí [-]

$Z_{Q2}$  .....impedance sítě převedená na stranu 25 kV [ $\Omega$ ]

$Z_{KTx}$  .....impedance trakčních transformátorů upravená koeficientem K [ $\Omega$ ]

$Z_{KTDEK}$  .....impedance dekompenzačního transformátoru upravená koeficientem K [ $\Omega$ ]

$Z_{KTVS}$  .....impedance transformátoru vlastní spotřeby upravená koeficientem K [ $\Omega$ ]

$Z_{5L}$  .....impedance tlumivky filtru 5. harmonické [ $\Omega$ ]

$Z_{3L}$  .....impedance tlumivky filtru 3. harmonické [ $\Omega$ ]

$Z_{TVxx}$  .....impedance trakčního vedení [ $\Omega$ ]

$Q_s$  .....odpojovač ve spojce [-]

### 5.3.1 Rovnice pro výpočet zkratových proudů

Vypsání rovnic slouží pro výpočet jednotlivých zkratových proudů. Výpočet zkratového proudu v dvoufázové rozvodně 110 kV dle normy ČSN EN 60909-0 ed. 2:



$$I_{k3} = I_{k3}'' = \frac{c_{min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} [A, -, V, \Omega] \quad (5.7)$$

$$I_{k2} = I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}'' [A, A] \quad (5.8)$$

$$i_p = \sqrt{2} \cdot I_{k}'' \cdot (1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot R/X}) [A, A, \Omega, \Omega] \quad (5.9)$$

$$i_{DC} = \sqrt{2} \cdot I_{k}'' \cdot e^{-2 \cdot \pi \cdot f \cdot t \cdot R/X} [A, A, \text{Hz}, s, \Omega, \Omega] \quad (5.10)$$

Protože jednotlivé parametry jsou vysvětleny v kap. 5.2.1 Rovnice pro výpočet zkratových proudů (výše), nebudou tyto parametry zde již popisovány.

Pro výpočet jednofázového zkratového proudu v jednofázové rozvodně byl vzat vzorec z předpisu SR 34, protože norma ČSN EN 60909-0 ed. 2 platí pro zkraty v třífázových sítích.

$$I_k = I_k'' = \frac{U_n}{Z_k} [A, V, \Omega] \quad (5.11)$$

Kde  $U_n$  je napětí jednofázové soustavy AC 25 kV 50 Hz (27 kV) [V]

Pro výpočet proudů  $i_p$  a  $i_{DC}$  se využijí rovnice (5.9) a (5.10), protože nezávisí na tom, jestli se jedná o třífázovou nebo jednofázovou síť. Závisí pouze na spočítaném zkratovém proudu, činném odporu a reaktanci zkratové impedance.

V příloze T (Výpočty zkratových proudů v TT – na CD) je zobrazen veškerý postup výpočtů, jsou zobrazeny výsledné zkratové impedance a v tabulkách jsou shrnuty výsledné zkratové proudy.

**Pozn.:** Další parametry dle SR 34 – impedance TV (viz Příloha H), reaktance soustavy 110 kV (viz Příloha I) a impedance dle způsobu zapojení (viz Příloha J) a rovnice pro výpočet zkratového proudu na TV viz Příloha K.

## 5.4 Zkratové výpočty pro NTS

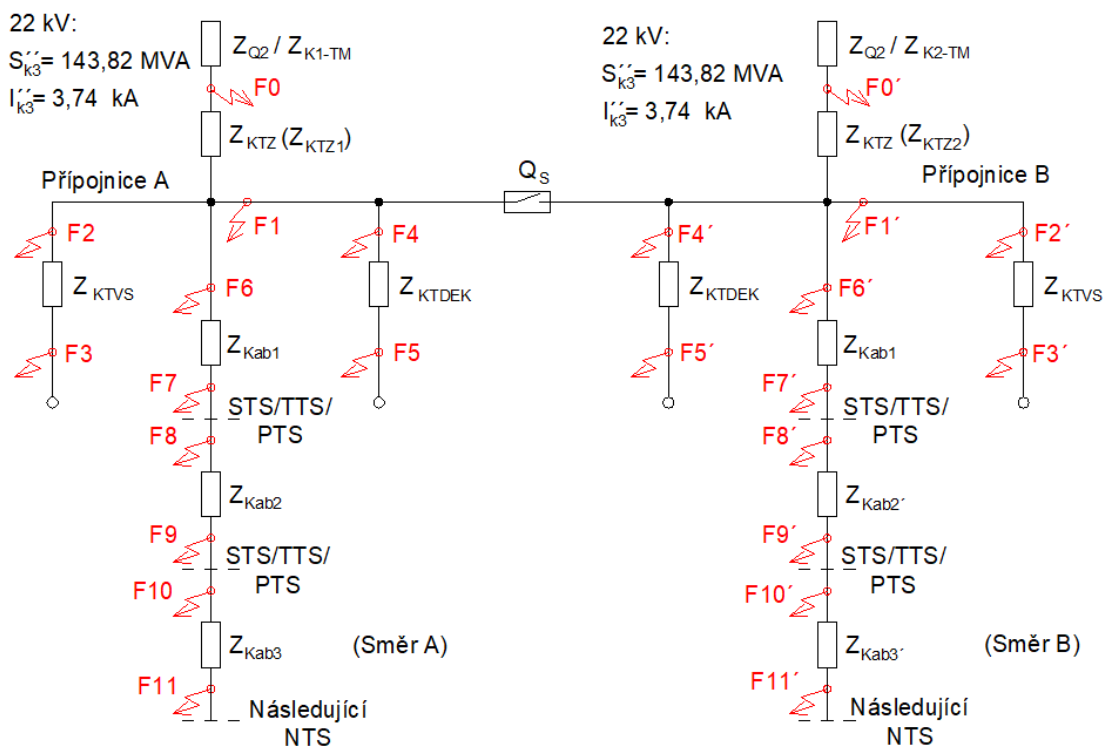
Účelem těchto výpočtů je zjistit velikosti minimálních zkratových proudů v různých místech rozvodny NTS (místní i samostatné) při různých konfiguracích jejího zapojení. Místní NTS je NTS, která je součástí TM. Samostatná NTS je pak samostatná rozvodna.

Pro místní NTS je celkem pět konfigurací – A, B, C, D a E. Konfigurace B a C platí při spojené podélné spojce  $Q_S$ , rozpojené spojce  $QM_{S1}$  a při funkci jednoho ze dvou transformátorů TZ1 a TZ2 (22/6 kV). Konfigurace A platí při rozpojené spojce  $Q_S$  i  $QM_{S1}$  a funkci obou transformátorů TZ1 a TZ2. Konfigurace D a E jsou dále rozděleny na dvě

subkonfigurace D.1, D.2, E.1 a E.2. Subkonfigurace D.1 a E.1 platí při rozpojené spojce  $Q_S$  a spojené spojce  $Q_{MS1}$  při funkci jednoho ze dvou transformátorů T1 a T2. Subkonfigurace D.2 a E.2 platí při spojených spojkách  $Q_S$  a  $Q_{MS1}$  a provozu jednoho ze dvou transformátorů TZ1 a TZ2, a také T1 a T2.

Pro samostatnou NTS jsou celkem tři konfigurace – A, B, C. Konfigurace B a C platí při spojené podélné spojce  $Q_S$  a při funkci jednoho ze dvou transformátorů TZ1 a TZ2 (22/6 kV). Konfigurace A platí při rozpojené spojce  $Q_S$  a funkci obou transformátorů TZ1 a TZ2. Veškeré konfigurace jsou zobrazeny v příloze W (Výpočty zkratových proudů v místní a samostatné NTS – na CD) nebo v příloze Z (Nastavení ochran v NTS – na CD).

Na následujícím schématu je zobrazena rozvodna NTS se svými zkratovými (maximálními) impedancemi, které je nutné znát pro výpočet zkratových proudů. Jediným rozdílem je zkrat F0, který nastane před transformátory 22/6 kV (platí pro samostatnou NTS), ten je vypočítaný s hodnotami na straně 22 kV. Ostatní zkraty jsou již vztažené na stranu 6 kV (popř. jinou napěťovou hladinu).



**Obr. 5.3: Schéma NTS z hlediska zkratových impedancí a zkratů**

Kde  $S_{k3}''$  je minimální třífázový zkratový výkon distribuční sítě 22 kV (platí pro samostatnou NTS) [VA]

$I_{k3}''$  .....třífázový zkratový proud [A]

$F_x$  .....místo vzniku zkratu ve směru A, kde x je číselné pořadí [-]

- $F_{x'}$  .....místo vzniku zkratu ve směru B, kde x je číselné pořadí [-]
- $Z_{Q2}$  .....impedance sítě převedená na stranu 6 kV (pouze pro samostatnou NTS) [Ω]
- $Z_{Kx-TM}$  .....zkratová impedance zahrnující stranu před TZ v TM (strana 22 kV) [Ω]
- $Z_{KTVS}$  .....impedance transformátoru vlastní spotřeby upravená koeficientem K (pouze pro samostatnou NTS) [Ω]
- $Z_{KTZ}$  .....impedance transformátoru 22/6 kV pro napájení žel. zab. zařízení (místní NTS) [Ω]
- $Z_{Kabx}$  .....impedance kabelového vedení daného úseku [Ω]
- $Q_S$  .....odpojovač v podélné spojnici [-]

#### 5.4.1 Rovnice pro výpočet zkratových proudů

Vypsání rovnic slouží pro výpočet jednotlivých zkratových proudů. Výpočet zkratového střídavého proudu dle normy ČSN EN 60909-0 ed. 2:

$$I_{k3} = I_{k3}'' = \frac{c_{min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} [A, -, V, \Omega] \quad (5.12)$$

$$I_{k2} = I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}'' [A, A] \quad (5.13)$$

$$i_p = \sqrt{2} \cdot I_k'' \cdot (1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot R/X}) [A, A, \Omega, \Omega] \quad (5.14)$$

$$i_{DC} = \sqrt{2} \cdot I_k'' \cdot e^{-2 \cdot \pi \cdot f \cdot t \cdot R/X} [A, A, Hz, s, \Omega, \Omega] \quad (5.15)$$

Protože jsou tyto proměnné ve vzorcích popsány již v kap. 5.2 Zkratové výpočty pro TM, nebudou tyto proměnné zde již popsány. Předpis SR 34 nestanovuje postup k výpočtu zkratových proudů v této síti.

V příloze W (Výpočty zkratových proudů v místní a samostatné NTS) je zobrazen veškerý postup výpočtů, výsledné zkratové impedance a v tabulkách jsou shrnuty výsledné zkratové proudy.

## Závěr

V rámci diplomové práce byl zkráceně popsán historický vývoj metodik chránění a byl také zachycen vývoj ochran od reléových po dnes používané IED ochrany. Je nutno říct, že předpis SR 34 (stále platný) stanovuje základní principy chránění, které se nijak nezměnily, a určuje jednoduchou (ke své době dostupnou) a správnou metodiku chránění. Rozdíl mezi starou metodikou danou předpisem SR 34 a modernější metodikou danou normou ČSN 33 3051 je pak graficky zobrazen na schématech v kapitole 1.11 Porovnání metodik chránění dle SR 34 a ČSN 33 3051.

Dnes je pro metodiku chránění nutné použít normy ČSN 33 3051, ČSN 33 3505 ed.2 a PNE 38 4065 4. vydání popisující typy ochran, které mají být použity pro jednotlivá zařízení (vždy je nutné pracovat s platnými normami). Chránění je již o něco složitější, protože došlo k výraznému posunu ve vývoji samotných ochran, které dovolují nasadit více ochranných funkcí obsažených v jednom zařízení s přijatelnou cenou ochrany (IED). Předpis SR 34 tedy slouží již jako vodítko, popř. jako zpětná kontrola pro dodržení principů chránění.

V praktické části této práce byly využity principy a metodiky chránění stanovené v její teoretické části na základě zmíněných norem. Schémata v kapitole 4 Praktické příklady nasazení metodik chránění zobrazují základní zapojení rozvoden s místy a typy osazených ochran. Je nutné podotknout, že osazení ochran se může měnit. Mohou se měnit typy ochran (ochranné funkce – např. odhalení poruchy na základě jiného fyzikálního principu), ovšem musí být zajištěno, že dané zařízení je spolehlivě chráněno. Mohou se také měnit stupně ochran, kde místo jednostupňové ochrany může být pro dokonalejší chránění využita vícestupňová ochrana. Navržené metodiky splňují výše zmíněné normy a lze je použít pro chránění rozvoden. Určení typu ochrany, počtu stupňů a způsobu jejího zálohování je na volbě projektanta (za předpokladu znalosti a plnění norem).

Metodiky chránění jsou v kapitolách 4.3 Metodika chránění v soustavě DC 3 kV, 4.4 Metodika chránění v soustavě AC 25 kV 50 Hz a 4.5 Metodika chránění v NTS doplněny diagramy chránění, které slouží pro dokreslení celkové představy o rozložení, dosahu a zpoždění ochran. Metodika nastavení ochran vychází ze známých parametrů chráněných zařízení (např. přetížení transformátorů), z obvyklého (dnes používaného) nastavování ochran a z nastavování ochran daným předpisem SR 34. Předpis SR 34 tvoří nejucelenější dokument o nastavování ochran, který je dostupný. Neobsahuje ovšem chránění některých zařízení jako např. chránění FKZ nebo neurčuje typy pojistek a jističů. Metodika nastavení ochran v jednotlivých rozvodnách je shrnuta v tabulkách na konci příloh X, Y a Z (na CD).

Je důležité zmínit, že je na uvážení projektanta, na jakou hodnotu fyzikální veličiny a na jaké časové zpoždění ochrany nastaví. Musí se však dodržet selektivita chránění a zároveň zajistit spolehlivé chránění daných zařízení.

Pro časové nastavení ochran je nutné respektovat dovolená dotyková napětí daná normou ČSN EN 50122-1 ed. 2, která jsou pro časová zpoždění ochran klíčová. Časová zpoždění ochran v diagramech chránění jsou tedy obvykle používána, ale je nutné ověřit tyto časy výpočtem (popř. simulací – při návrhu) a měřením dotykových napětí (po realizaci stavby).

Lze tedy říci, že záleží na volbě projektanta, jakou metodiku chránění a jaké typy ochran si zvolí při respektování pravidel chránění, která jsou daná platnými normami. Nastavení ochran pak musí respektovat místní podmínky a musí být zaručeno, že jsou spolehlivě chráněny všechny prvky v chráněné větvi.

## Použitá literatura

- [1] MIHÁL, Lukáš. *Ochrany v sítích VN: Bakalářská práce*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2015.
- [2] PNE 18 4311. *Zásady jednotného grafického, písmenného a barevného kódování elektrických prvků a zařízení elektrizační soustavy*. 2. vydání. ČEZ Distribuce, PREDistribuce, ČEPS, ZSE, 2009.
- [3] ČSN 33 3265. *Měření elektrických veličin v dozorných výroben a rozvodu elektřiny*. Úřad pro normalizaci a měření, 1989.
- [4] ČSN 33 3051. *Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení*. Úřad pro normalizaci a měření, 1992.
- [5] ČSN 33 3505 ed.2. *Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení - Základní požadavky na elektrické napájecí a spínací stanice*. Edice 2. Úřad pro normalizaci a měření, 2010.
- [6] PNE 38 4065. *Provoz, navrhování a zkoušení ochranných a automatik*. 4. vydání. ČEPS, ČEZ Distribuce, E.ON distribuce, E.ON ČR, ZSE, 2008.
- [7] HLAVA, Karel. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) drážních zařízení*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, 2004. ISBN 80-7194-637-0.
- [8] SIPROTEC: *Catalog SIP*. Edition No.6. Německo: Siemens, 2012.
- [9] KULAČ, Ivan. *Project of logical busbar protection* [online]. Brno, 2013 [cit. 2017-01-13]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30299024.pdf>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Jaroslava Orságová.
- [10] SR 34. *Služobná rukoväť: Nastavovanie, prevádzka a údržba reléových ochrán trakčného napájacieho obvodu*. Praha: Odbor elektrotechniky FMD, Nakladatelství dopravy a spojů Praha, 1979.
- [11] *Správa železniční dopravní cesty: Provozně-technické*. In: SR 34 (E) [online]. [cit. 2017-01-13]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/dalsi-informace/dokumenty-a-predpisy/provozne-technicke.html?page=detail&docid=1%3B%23c7923a7c-1225-4a65-85ef-aa0082f85d9d>
- [12] SOUČEK, Jan. *Dimenzování přístrojových transformátorů pro digitální ochrany*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Petr Toman.
- [13] *Transduktor*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Transduktor>

- [14] ZOLTÁN, Bálint. PRŮVLEKOVÝ TRANSFORMÁTOR PROUDU 25 kV, 400/5/5 A [online]. Brno, 2009 [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=15673](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15673).  
Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Jaromír Vaněk.
- [15] VAVRECZKY, Gábor. OTESTOVÁNÍ KOMUNIKACE PO IEC 61850 S VYUŽITÍM GOOSE MEZI ABB A SIEMENS OCHRANOU [online]. Brno, 2012 [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: [https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/3552/vavreczky\\_gabor\\_DP\\_verejna.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/3552/vavreczky_gabor_DP_verejna.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Jaroslava Orságová.
- [16] ABB. IED řady 630: Návod pro obsluhu. Č. dokumentu 1MRS757074, verze výrobku 1.2. 2013.
- [17] ABB. IED pro chránění a ovládání vývodu, REF630: Popis a technická data výrobku. Č. dokumentu 1MRS757075 CZ C, verze výrobku 1.2. 2013.
- [18] ABB. IED pro chránění a ovládání vývodu, REF630: Popis a technická data výrobku. Č. dokumentu 1MRS757075 CZ, verze výrobku 1.0. 2010.
- [19] ABB. IED pro chránění a ovládání transformátoru, RET615: Aplikační manuál. Č. dokumentu 1MRS757108, verze výrobku 3.0. 2011.
- [20] ABB. IED pro chránění a ovládání vývodu, REF615: Aplikační manuál. Č. dokumentu 1MRS757137, verze výrobku 4.0. 2012.
- [21] ŘÍPKA, Pavel, Stanislav ĎAD'Ů, Marcel KREIDL a Jiří NOVÁK. Senzory a převodníky. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009.
- [22] MUSIL, Marek. Využití Rogowskiho cívky při měření proudu a analýza dosažených parametrů [online]. 2006 [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: [http://measure.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/zaverecne\\_prace/BP\\_2007\\_Musil\\_Marek\\_locked.pdf](http://measure.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/zaverecne_prace/BP_2007_Musil_Marek_locked.pdf). Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Pavel Mlejnek.
- [23] VOJÁČEK, Antonín. Co je, k čemu je a jak funguje Rogowského cívka ? Hw.cz: automatizace.hw.cz [online]. 2007 [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/co-je-k-cemu-je-jak-funguje-rogowskeho-civka>
- [24] Hallova sonda. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Hallova\\_sonda](https://cs.wikipedia.org/wiki/Hallova_sonda)

- [25] Hallova sonda. PE&ED [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: <http://www.peed.cz/clanky/hallova-sonda>
- [26] Čidla napětí a proudu [online]. In: . [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat430/old/Studium/Materialy/TPREP/Cidla.pdf>
- [27] Základní parametry senzorů [online]. [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: [http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s\\_1\\_3.htm](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_1_3.htm)
- [28] MICOM P438, Rail Catenary Protection Device: Technical manual. Version -302 - 403/404/405 -607. Frankfurt: AREVA Energietechnik, 2004 [cit. 2017-01-29].
- [29] KOPEČEK, Jan a Miloš DVOŘÁK. Přístrojové transformátory měřicí a jistící. Praha: ACADEMIA nakladatelství Československé akademie věd, 1966.
- [30] ABB. SPAD 346 C: Stabilized Differential Relay [online]. Verze 1MRS 750096-MUM EN. 2002 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: [https://library.e.abb.com/public/266d6776dc5cc45dc2256bf0004c4371/FM\\_SPAD346C\\_750096\\_EN\\_ffbea\\_2010.pdf](https://library.e.abb.com/public/266d6776dc5cc45dc2256bf0004c4371/FM_SPAD346C_750096_EN_ffbea_2010.pdf)
- [31] ABB. ANSI numbers: IEEE Standard Electric Power System Device Function Numbers acc. to IEEE C.37.2-1991 [online]. Verze 1MRB520165-Ben. 1998 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: [https://library.e.abb.com/public/c1256d32004634bac1256e19006fe88a/1MRB520165-BEN\\_en\\_ANSI\\_numbers\\_IEEE\\_Standard\\_Electric\\_Power\\_System\\_Device\\_Function\\_Numbers.pdf](https://library.e.abb.com/public/c1256d32004634bac1256e19006fe88a/1MRB520165-BEN_en_ANSI_numbers_IEEE_Standard_Electric_Power_System_Device_Function_Numbers.pdf)
- [32] ANSI Standard Device Numbers & Common Acronyms [online]. GEDigitalEnergy.com [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://www.gegridsolutions.com/multilin/notes/ref/ANSI.pdf>
- [33] Přístrojové transformátory proudu venkovní: CTSO 38. KPB Intra: Instrument Transformers [online]. 2013 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://www.kpb intra.cz/produkty/ctso-38>
- [34] Elektrické charakteristiky rozváděčů: Rozváděčová technika. Elektroprůmysl.cz [online]. 2012 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/elektroinstalace/elektricke-charakteristiky-rozvadecu>
- [35] Přístrojové transformátory proudu venkovní: VPT 38. KPB Intra: Instrument Transformers [online]. 2013 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://www.kpb intra.cz/produkty/vpt-38>



- [36] Voltage transformers: Technical specification [online]. National Grid, 2015 [cit. 2017-01-30]. Dostupné z: <http://www2.nationalgrid.com/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=39196>
- [37] Definitions of Voltage Transformer Parameters: Rated voltage factor. EEP, Electrical Engineering Portal [online]. 2016 [cit. 2017-01-30]. Dostupné z: <http://electrical-engineering-portal.com/definitions-of-voltage-transformer-parameters>
- [38] Výrobky: Přehled výrobků. Dohnálek: ochrany pro energetiku [online]. Mladé Buky, 2008 [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: <http://www.dohnalek.cz/2.html>
- [39] ABB on Distribution Automation: REF630 IEC. Direct INDUSTRY: Products [online]. [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/abb-oy-distribution-automation/product-41044-523272.html>
- [40] SUKSAWAT, Sittha. The Reliability of Breaker Failure Scheme for Transmission line Feeders: Industrial Engineering, Faculty of Engineering [online]. King Mongkut's University Technology North Bangkok [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: [http://www.grad.kmutnb.ac.th/PdfFinal\\_journal/sittha.pdf](http://www.grad.kmutnb.ac.th/PdfFinal_journal/sittha.pdf)
- [41] Isolated current and voltage transducers: Characteristics - Applications - Calculations [online]. 3rd edition. LEM Components [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.peed.cz/file/201102156839.pdf>
- [42] ZEZ, SILKO. PŘÍSTROJOVÉ TRANSFORMÁTORY [online]. Žamberk [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://www.zez-silko.cz/customZone/files/KPBtrafaCZ.pdf>
- [43] Process bus with SIPROTEC: A new dimension in power grid reliability and efficiency. SIEMENS [online]. [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/products-systems-solutions/protection/digital-substation/pages/overview.aspx>
- [44] ABB. KECR 17,5 AC1: Proudový senzor pro vnitřní použití [online]. 1VLC000581 – Rev-, cz 2005.10.10. Brno, 2005 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: [https://library.e.abb.com/public/90726a54e7de120ec12572c1002d1ce3/KECR%20cs%202005.10.10\\_a.pdf](https://library.e.abb.com/public/90726a54e7de120ec12572c1002d1ce3/KECR%20cs%202005.10.10_a.pdf)
- [45] BEZOUŠEK, Pavel, Vladimír SCHEJBAL a Pavel ŠEDIVÝ. Elektrotechnika. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2003. ISBN 80-7194-621-6.
- [46] DOLEČEK, Radovan. Napájení elektrických drah: studijní opora. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2013. ISBN 978-80-7395-635-6.

- [47] KAŠPAR, Jindřich. Analýza dvoufrekvenční větve filtračně - kompenzačního zařízení (FKZ) pro trakční napájecí stanice soustavy AC 25 kV, 50 Hz [online]. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2002 [cit. 2018-01-03]. Diplomová práce. Co znamená SCADA/HMI? Reliance: Industrial SCADA/HMI system [online]. GEOVAP, s.r.o, 2017 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <https://www.reliance.cz/cs/products/what-does-scada-hmi-mean>
- [48] Systém automatizace rozvodu PACiS: Přehled. Schneider electric [online]. Shneider electric, 2016 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.schneider-electric.cz/cs/work/solutions/for-business/s4/electric-utilities-substation-automation-systems/>
- [49] DOHNÁLEK ochrany pro energetiku: Výrobky [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <http://dohnalek.cz/2.html>
- [50] MIHÁL, Bohuš. Modernizace TNS Týniště nad Orlicí. Pardubice, 2014. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Doc. Ing., Radovan Doleček, Ph. D..
- [51] IBLER A KOL., Zdeněk. Energetika v příkladech: Technický průvodce energetika, 2. díl. Praha: BEN, 2003
- [52] Pojistky VN: PL45, PM45, PQ45 VN pojistkové vložky (katalog). OEZ s.r.o.: Pojistkové vložky Varius [online]. [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/produkty/pl45-pm45-pq45-vn-pojistkove-vlozky>
- [53] OEZ s.r.o. Modeion: Příručka, Nadproudové spouště [online]. 2012 [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/file/595>
- [54] ABB s.r.o. Pojistky omezující proud, CEF, Pojistky pro motorové obvody, CMF: Vysokonapěťové pojistkové tavné vložky omezující proud typu CEF [online]. 2006 [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1VLC000027%20R.1cs%202006.01.20&LanguageCode=cs&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [55] ČSN EN 50122-1 ed.2: Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení - Elektrická bezpečnost, uzemňování a zpětný obvod - Část 1: Ochranná opatření proti úrazu elektrickým proudem. UNMZ, listopad 2011.
- [56] ČSN EN 50163 ed.2: Drážní zařízení – Napájecí napětí trakčních soustav. UNMZ, červenec 2005.

- [57] ČSN EN 50388 ed.2: Drážní zařízení – Napájení a drážní vozidla – Technická kritéria pro koordinaci mezi napájením (napájecí stanicí) a drážními vozidly pro dosažení interoperability. UNMZ, únor 2013.
- [58] ČSN EN 50633: Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Zásady ochrany pro AC a DC elektrické trakční soustavy. UNMZ, duben 2017.
- [59] ČSN EN 60909-0 ed.2: Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – Část 0: Výpočet proudů. UNMZ, listopad 2016.
- [60] ČSN EN 61660-1: Zkratové proudy ve stejnosměrných rozvodech vlastní spotřeby v elektrárnách a rozvodnách – Část 1: Výpočet zkratových proudů. UNMZ, říjen 1999.
- [61] ČSN EN 61660-3: Zkratové proudy ve stejnosměrných rozvodech vlastní spotřeby a v elektrárnách a rozvodnách – Část 3: Příklady výpočtů. UNMZ, červenec 2002.
- [62] KAŠPAR, Jindřich, Petr KUDĚLKA, Martin ŠPAČEK a Jiří HAJZL. Metodika zásad projektování a provozu lokální distribuční sítě SŽDC 22kV. Elektrizace železnic Praha, 2017.

## Seznam obrázků

Obr. 1.1: Schéma ochran pro chránění TM .....	23
Obr. 1.2: Schéma ochran pro chránění TT.....	24
Obr. 1.3: Schéma ochran pro chránění FKZ.....	25
Obr. 2.1: Principiální zapojení transduktoru.....	29
Obr. 2.2: Zapojení standardního PTP k chráněnému objektu, zdroj [50].....	30
Obr. 2.3: Elektronické děliče napětí – a) s odporovým děličem, b) s kapacitním děličem, zdroj [50].....	33
Obr. 2.4: Porovnání blokovací vazby s časovou selektivitou .....	37
Obr. 2.5: NSCH transformátoru, zdroj [7].....	38
Obr. 2.6: Zjednodušené NSCH TV, zdroj [7].....	38
Obr. 2.7: Principiální zapojení napájecí soustavy DC 3 kV .....	39
Obr. 2.8: Napěťová zemní ochrana.....	40
Obr. 2.9: Principiální zapojení napájecí soustavy AC 25 kV 50 Hz .....	41
Obr. 3.1: Spojka v TM v Hradci Králové, zdroj [1] .....	47
Obr. 3.2: Vlastní spotřeba v TM v Hradci Králové, zdroj [1] .....	48
Obr. 3.3: Spojka v TT Havlíčkův Brod, zdroj [1].....	50
Obr. 3.4: FKZ v TT Havlíčkův Brod, zdroj [1] .....	51
Obr. 3.5: Vlastní spotřeba v TT Havlíčkův Brod, zdroj [1].....	53
Obr. 3.6: Princip napájení drážních rozvodů rozvodnou NTS, zdroj [63].....	54
Obr. 3.7: Jednoduchý systém přípojníc v rozvodně vn s podélnou spojkou, zdroj [51].....	58
Obr. 3.8: Systém bez přípojníc – H spojka v rozvodně 110 kV, zdroj [51] .....	58
Obr. 4.1: Metodika chránění vstupní rozvodny, TM část I.....	61
Obr. 4.2: Metodika chránění rozvodny 22 kV, TM část II .....	62
Obr. 4.3: Metodika chránění rozvodny 3 kV a TV, TM část III.....	64
Obr. 4.4: Diagram chránění a osazení ochran v TM.....	66
Obr. 4.5: Metodika chránění vstupní rozvodny, TT část I.....	69
Obr. 4.6: Metodika chránění rozvodny 25 kV a TV, TT část II .....	70
Obr. 4.7: Metodika chránění SpS a TV, TT část III .....	72
Obr. 4.8: Diagram chránění a osazení ochran v TT .....	73
Obr. 4.9: Metodika chránění vstupní rozvodny, NTS část I.....	75
Obr. 4.10: Metodika chránění rozvodny 6 kV, NTS část II.....	76
Obr. 4.11: Metodika chránění kabelového vedení 6 kV, NTS část III .....	77

Obr. 4.12: Diagram chránění a osazení ochran v NTS, část I.....	78
Obr. 4.13: Diagram chránění kabelového vedení 6 kV, část II .....	80
Obr. 5.1: Schéma TT z hlediska zkratových impedancí a zkratů .....	83
Obr. 5.2: Schéma TT z hlediska zkratových impedancí a zkratů .....	87
Obr. 5.3: Schéma NTS z hlediska zkratových impedancí a zkratů.....	89

## Seznam tabulek

Tab. 1.1: Porovnání ochran AM32X1 a REF630 .....	21
Tab. 2.1: Mezinárodní kódy vybraných ochranných funkcí.....	26
Tab. 2.2: Konstrukce PTP.....	30
Tab. 2.3: Třídy přesnosti jisticích PTP, zdroj [12] .....	31
Tab. 2.4: Konstrukce PTN .....	32
Tab. 2.5: Třídy přesnosti jisticích PTN, zdroj [6] a zdroj [12] .....	32
Tab. 2.6: Výhody a nevýhody senzorů oproti PT, zdroj [21,27 a 24] .....	34
Tab. 2.7: Frekvenční ladění jednotlivých filtračních větví, zdroj [7] .....	43
Tab. 4.1: Popis kódového označení ochran – DC 3 kV, část I .....	61
Tab. 4.2: Popis kódového označení ochran – DC 3 kV, část II.....	62
Tab. 4.3: Popis kódového označení ochran – DC 3 kV, část III.....	64
Tab. 4.4: Popis kódového označení ochran - AC 25 kV 50 Hz, část I .....	69
Tab. 4.5: Popis kódového označení ochran – AC 25 kV 50 Hz, část II .....	70
Tab. 4.6: Popis kódového označení ochran - AC 25 kV 50 Hz, část III.....	72
Tab. 4.7: Popis kódového označení ochran - NTS, část I.....	75
Tab. 4.8: Popis kódového označení ochran - NTS, část II.....	76
Tab. 5.1: Zkratové proudy vypočtené dle SR 34, zdroj Příloha V .....	85
Tab. 5.2: Zkratové proudy vypočtené dle normy ČSN EN 61660-1, zdroj Příloha U .....	85

## Přílohy

### Příloha A

*Tab. příloha A: Ochrany v TM a SpS dle předpisu SR 34, zdroj [10]*

Ochrany v TM				
Název ochrany	Typ ochrany	Chráněný úsek/zařízení	Účel	Nastavení
Nesouhlas pólů	-	Výkonové vypínače na straně 110 kV	Společná ochrana tří jednopólových výkonových vypínačů na straně 110 kV pro zajištění současného sepnutí a vypnutí	-
Nadproudová kostrová	AT 31x	Primární strana T 110/22 kV	Ochrana transformátoru pro případ průrazu na kostru transformátoru, použije se v případě, kdy není transformátor chráněn rozdílovou ochranou	100 - 160 A
Rozdílová ochrana transformátoru	R21T	T 110/22 kV	Ochrana transformátoru pro případ průrazu živé části na kostru transformátoru, měří proudy před a za transformátorem	Podle místních podmínek - výkonu transformátoru a použitých meziměničů, ochrana nesmí reagovat na zkratky za transformátorem
Nadproudová časově nezávislá		Primární strana T 110/22 kV	Ochrana transformátoru proti přetížení (nadproudu), zároveň jako záložní nadproudová ochrana za napaječovou ochranu na TV od TT k SpS	Dle výkonu transformátoru a údajů pro zachování selektivity
Časový článek		T 110/22 kV	Zajištění selektivity	Maximálně 3 s
Nadproudová časově nezávislá	A3T, A3T11, AT31, AM13	Sběrnice (přípojnice) 22 kV	Na TM bez rozvodny 110 kV, při napájení přímo z linky 22 kV	Dle dohody s distributorem

Ochrany v TM				
Název ochrany	Typ ochrany	Chráněný úsek/zařízení	Účel	Nastavení
Nadproudová časově nezávislá	A3T, A3T11, AT31, AM12	Usměrňovač, TrT 22/3/3 kV	Ochrana usměrňovače a zároveň TrT 22/3/3 kV před přetížením umístěná na primární straně TrT	a) 200 % Pn usměrňovače při časovém nastavení 60 s b) při 240% Pn usměrňovače při časovém nastavení do 6 s
Nadproudová mžiková	A, A11, A12, A22, A32, RMA80	Usměrňovač, TrT 22/3/3 kV	Ochrana usměrňovače a zároveň TrT 22/3/3 kV před zkraty umístěná na primární straně TrT	Dle výkonu TrT: a) 5,3 MVA - max. 400 A b) 3,3 MVA - max. 300 A c) 2,4 MVA - max. 300 A d) 1,4 MVA - max. 150 A
Relé průrazu diod	-	Usměrňovač	Ochrana usměrňovače pro případ průrazu jakékoliv diody, měření rozdílového proudu v můstku	3 - 6 mA DC
Zemní ochrana	UZZ 04	TM	Ochrana proti překročení nebezpečného dotykového napětí mezi neživými částmi TM a pomocnou zemí	Max. 65 V (dnes 50 V)
Nadproudová vlastní spoušť	-	TV ze strany TM	Mžiková a nadproudová ochrana zabudovaná v RV, která reaguje na zkraty na nejvzdálenějším konci TrV i v blízkosti TM	Dle kombinace rovnic (5) a (6) (Příloha )
Nadproudová mžiková	A22, A15, A12, A11	TV ze strany TM	Mžiková ochrana, která reaguje na zkraty na nejvzdálenějším konci TrV, umístěná v napáječovém rozvaděči	Dle kombinace rovnic (5) a (6) (Příloha )
Automatika opětovného zapnutí	OZ	TV ze strany TM	Jednocyklová, popř. dvoucyklová, ochrana pro opětovné zapnutí RV v případě působení mžikové ochrany, zajištění spolehlivosti napájení, umístěná v napáječovém rozvaděči	Beznapěťová vazba na uhašení případného el. oblouku se nastavuje na 3 - 20 s



<b>Ochrany v TM</b>				
<b>Název ochrany</b>	<b>Typ ochrany</b>	<b>Chráněný úsek/zařízení</b>	<b>Účel</b>	<b>Nastavení</b>
Vazba napáječů	-	TV ze stran dvou TM nebo ze strany TM a SpS	Nadproudová ochrana, která dovoluje zvýšit trakční proud - důležité nastavení vazby mezi RV jednotlivých TM nebo mezi TM a SpS, vypne-li jeden, musí vypnout i druhý	Dle kombinace rovnic (5) a (6) (Příloha )
<b>Ochrany v SpS</b>				
<b>Název ochrany</b>	<b>Typ ochrany</b>	<b>Chráněný úsek/zařízení</b>	<b>Účel</b>	<b>Nastavení</b>
Nadproudová vlastní spoušť	-	TV ze strany SpS	Mžiková a nadproudová ochrana zabudovaná v RV, která reaguje na zkraty na nejvzdálenějším konci TV a na blízké zkraty přímo u SpS	Dle kombinace rovnic (5) a (6) (Příloha )
Nadproudová mžiková	A22, A15, A12, A11	TV ze strany SpS	Mžiková ochrana, která reaguje na zkraty na nejvzdálenějším konci TV	Dle kombinace rovnic (5) a (6) (Příloha )
Zemní ochrana	UZZ 04	SpS	Ochrana proti překročení nebezpečného dotykového napětí mezi neživými částmi TM a pomocnou zemí	Max. 65 V (dnes 50 V)
<b>Ochrany pro napájení ZZ napětím AC 6 kV a vlastní spotřeby</b>				
<b>Název ochrany</b>	<b>Typ ochrany</b>	<b>Chráněný úsek/zařízení</b>	<b>Účel</b>	<b>Nastavení</b>
způsob a) – transformace 22/0,4 kV a transformace 0,4/6 kV				
Pojistky	-	Přívod 380 V	Jednorázová zkratová ochrana přívodu 380 V, ochrana pro napájení přívodů 6 kV i vlastní spotřeby	Dle místních podmínek
Nadproudová časově nezávislá	Vlastní spoušť deiónu (jističe)	Přívod 380 V	Ochrana proti přetížení pro napájení přívodů 6 kV i vlastní spotřeby	Dle místních podmínek
Nadproudová mžiková	A22, A11	Vývod 6 kV	Zkratová ochrana kabelů 6 kV	Dle místních podmínek

Název ochrany	Typ ochrany	Chráněný úsek/zařízení	Účel	Nastavení
způsob b) – transformace 22/6 kV				
Nadproudová časově nezávislá	A2T11	T 22/6 kV	Ochrana napájecího transformátoru 22/6 kV proti přetížení	Dle výkonu transformátoru 22/6 kV: a) 100 kVA – 5 A b) 160 kVA – 8 A c) 250 kVA – 12,5 A d) 400 kVA – 20 A
Nadproudová časově nezávislá	A3T11, IRFT, A3T	Vývod 6 kV	Ochrana kabelového vedení před zkraty	Dle místních podmínek, časové zpoždění 0,5 s

Poznámka: Pokud je SpS vybavená zemní ochranou, je to dle předpisu SR34 postačující náhrada za ochranu proti galvanickému spojení uzemnění SpS a kolejnicového vedení.

Grafické zobrazení viz kap. 1.11.1 Porovnání chránění v soustavě DC 3 kV.

## Příloha B

Tab. příloha B: Ochrany v TT a SpS dle předpisu SR 34, zdroj [10]

Ochrany v TT				
Název ochrany	Typ ochrany	Chráněný úsek/zařízení	Účel	Nastavení
Nesouhlas pólů	-	Výkonové vypínače na straně 110 kV	Společná ochrana dvou jednopólových výkonových vypínačů na straně 110 kV pro zajištění současného sepnutí a vypnutí	-
Kostrová	A 11	TrT 110/27 kV	Nadproudová mžiková ochrana pro případ průrazu živé části na kostru transformátoru	100 - 160 A
Nadproudová mžiková	A 12A	TrT 110/27 kV	Ochrana před zkraty pro TrT umístěna na primární straně TrT	750 - 1000 A
Nadproudová časově nezávislá	AT 11	TrT 110/27 kV a TV od TT k SpS	Ochrana TrT proti přetížení (nadproudu), zároveň jako záložní nadproudová ochrana za napáječovou ochranu na TV od TT k SpS	Kombinace rovnic (10) a (11) (Příloha ), časové zpoždění 1 s
Wattová	GSCT 11	Síť distributora	Ochrana před tokem zpětného výkonu do sítě distributora, vyhodnocuje se směr výkonu – měří se součin průtokového proudu a napětí proti zemi, umísťuje se na sekundární stranu TrT	Nastavení na citlivost 2 %
Podpěťové relé	V 11	Sběrnice (přípojnice) 27 kV	Ochrana pro případ zkratu na sběrnici 27 kV, měření fázového napětí proti zemi	16 kV
Distanční	D 25	TV ze strany TT	Pro rozeznávání a následného vypínání zkratů v celé délce TV, umísťuje se v napáječovém rozvaděči pro každý směr jedna	Pro případ napájení přes podélnou SpS, je ochrana zpožděná o 0,5 s z důvodu selektivity s mžikovou ochranou v SpS, nastavení dle vzorce rovnic (18) a (19) (Příloha )

Ochrany v TT				
Název ochrany	Typ ochrany	Chráněný úsek/zařízení	Účel	Nastavení
Nadproudová časově nezávislá	AT 11	TV ze strany TT	Pro rozeznání a následného vypnutí nejvzdálenějšího zkratu na TV - použije se v případě, kdy není použita ochrana D 25, umísťuje se v napáječovém rozvaděči	Kombinace rovnic (10) a (11) (Příloha ), zpoždění 0,5 s ze stejného důvodu jako u ochrany D 25
Nadproudová mžiková	A	TV ze strany TT	Pro případ blízkého zkratu na TV, zabudovaná přímo ve skříni ochrany D 25 nebo samostatně, umísťuje se v napáječovém rozvaděči	Nastavená dle vzorce (8) do 20 % délky TV, (Příloha )
Automatika opětovného zapnutí	OZ	TV ze strany TT	Jednocyklová, popř. dvoucyklová, ochrana pro opětovné zapnutí výkonového vypínače pro případ působení ochrany D 25, zajištění spolehlivosti napájení	Beznapěťová pauza 15 - 20 s
Časový článek	T	TV ze strany TT	Zabezpečení selektivity ochrany D 25 s mžikovou ochranou v SpS	0,5 s
Ochrany v SpS				
Nadproudová mžiková	A 11 <sub>F</sub> (fáze)	TV ze strany SpS	Ochrana před blízkými zkraty, pro každou napájecí stopu jedna, umísťuje se v napáječovém rozvaděči	Kombinace rovnic (10) a (11) (Příloha )
Podpěťové relé	V 11 <sub>F</sub> (fáze)	TV ze strany SpS	Ochrana pro rozlišení provozních špiček proudů od zkratových proudů pro nejvzdálenější zkrat, pro každou napájecí stopu jedna, měření fázového napětí proti zemi, umísťuje se v napáječovém rozvaděči	Dle rovnice (13) (Příloha )
Nadproudová mžiková	A 11 <sub>S</sub> (spojka)	Spojení dvou napájecích stop TV	Zkratová ochrana při průchodu zkratového proudu v propojovací větvi při paralelním spojení dvou napájecích stop, umísťuje se do rozvaděče spojky	Kombinace rovnic (10) a (11) (Příloha )
Přepěťové relé	V 11 <sub>S</sub> (spojka)	Spojení dvou napájecích stop TV	Pro případ nežádoucího sepnutí přilehlých úseků TV při paralelní spolupráci TT, měří se rozdíl napětí mezi fázemi (napájecími stopami), umísťuje se do rozvaděče spojky	Rozdíl napětí větší než 3 kV

Grafické zobrazení viz kap. 1.11.2 Porovnání chránění v soustavě AC 25 kV.

## Příloha C

### Elektrické parametry TrV

*Tab. příloha C: Parametry vodičů TrV z předpisu SR 34, zdroj [10]*

Vodič	Průřez S [mm <sup>2</sup> ]	Rovnocenný průřez Cu S <sub>CU</sub> [mm <sup>2</sup> ]	Měrný odpor ρ [Ωmm <sup>2</sup> /km]	Maximální dovolený odpor [Ω/km]	Minimální vodivost G [km/Ω]	Dovolený proud I <sub>d</sub> [A]	Dovolený úbytek napětí ΔU [V/km]
Cu trolejový drát ČSN 42 3001	80	-	17,9	0,224	4,46	500	112
	100	-	-  -	0,179	5,59	600	107,4
	120	-	-  -	0,149	6,71	680	102
	150	-	-  -	0,12	8,35	780	93,5
Cu měděné lano ESČ 46-1950	70	-	18	0,26	3,85	450	117
	95	-	-  -	0,19	5,25	580	110
	120	-	-  -	0,15	6,66	675	101
	150	-	-  -	0,12	8,35	780	93,5
Bz bronzové lano ČSN	50	43	20+40	0,42	2,38	360	151
	70	60	-  -	0,3	3,33	450	135
	95	82	-  -	0,25	4	480	120
Al hliníkové lano ČSN 02 4210	120	72	30	0,25	4	465	116
	150	90	-  -	0,2	5	540	108
	185	111	-  -	0,16	6,25	620	99
	240	144	-  -	0,125	8	720	90
AlFe 6 (6:1) Ocelo-hliníkové lano ČSN 02 4210	50	30	30	0,6	1,67	150	90
	70	42	-  -	0,43	2,32	200	86
	95	57	-  -	0,315	3,18	300	94,5
	120	72	-  -	0,25	4	380	95
	150	90	-  -	0,2	5	480	96
	185	111	-  -	0,16	6,25	600	96
	210	126	-  -	0,14	7,15	680	95
	240	144	-  -	0,125	8	740	92,5
300	180	-  -	0,1	10	900	90	

Kde - znamená, že údaj není

-||- .....opakující se údaj

## Příloha D

Měrné odpory kolejnicového (zpětného) vedení v soustavě DC 3 kV

*Tab. příloha D: Parametry kolejového vedení z předpisu SR 34, zdroj [10]*

Tvar kolejnice		$r_k$ [ $\Omega/\text{km}$ ]		
		T	R65	A
Bezstyková	1 kolejnice	0,0264	0,0203	0,0297
	Jednokolejná trať	0,0132	0,0101	0,0148
	Dvoukolejná trať	0,0066	0,005	0,0074
S kolejnicovými styky	1 kolejnice	0,029	0,0224	0,033
	Jednokolejná trať	0,0145	0,0112	0,0166
	Dvoukolejná trať	0,0075	0,0056	0,008

## Příloha E

### Měrné odpory sestav TV pro soustavu DC 3 kV

*Tab. příloha E: Parametry sestav z TV z předpisu SR 34, zdroj [10]*

Sestava	Složení sestavy			$r_{TV}$ [ $\Omega/km$ ]	$I_p$ [A]
	TD	NL	ZV		
10, 20, 30	150 Cu	120 Cu		0,088	1400
	150	120	240 AlFe	0,06	2130
	150	120	2x240 AlFe	0,048	2870
40	150	210 AlFe		0,088	1430
	150	210	240 AlFe	0,06	2160
	150	210	2x240 AlFe	0,048	2900
U	150	72 AlFe		0,124	920
	150	72	150 AlFe	0,084	1350
	150	72	2x150	0,065	1780
	150	112 AlFe sp.	150	0,082	1600
$J_M$	150	120 Cu		0,088	1430
	150	120	240 AlFe	0,06	2160
	150	120	2x240	0,048	2900
$J_A$	150	210 AlFe		0,088	1430
	150	210	240 AlFe	0,06	2160
	150	210	2x240	0,048	2900
$J_B$	150	70 Bz		0,105	1100
	150	70	240 AlFe	0,07	1830
	150	70	2x240	0,052	2570
	100 Cu	50 Bz		0,14	860
	100	50 Bz	240	0,08	1480
	100	50 Fe		0,2	640
	100	50 Fe	240	0,085	1350

Prázdná políčka označují sestavy TV bez zesilovacího vedení – není zahrnut odpor kolejnic.

Kde TD je trolejový drát

NL .....nosné lano

ZV .....zpětné vedení

## Příloha F

### Délky úseků pro výpočet zkratových proudů v soustavě DC 3 kV

*Tab. příloha F: Určení délek úseků pro výpočet zkratových proudů z předpisu SR 34, zdroj [10]*

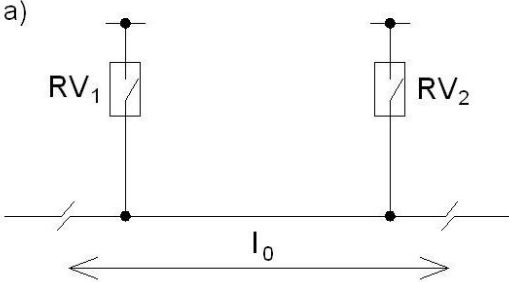
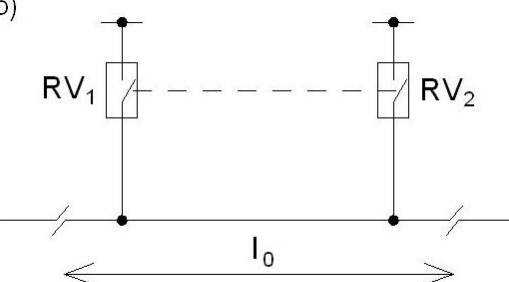
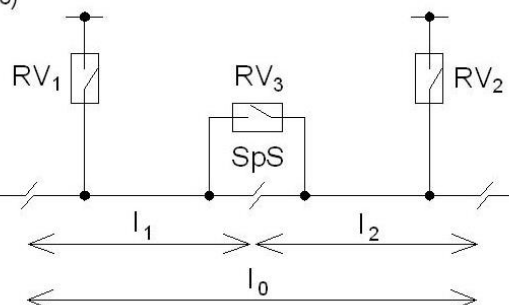
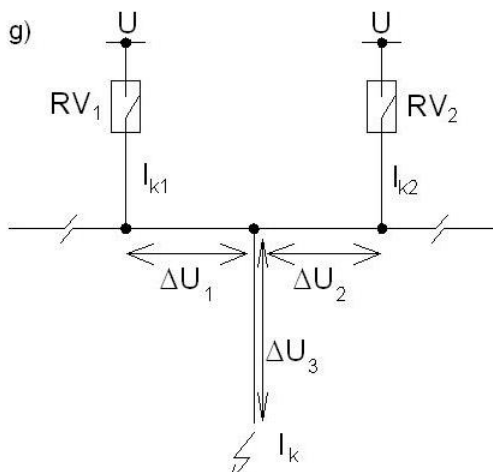
Schéma napájení	Délka chráněného úseku pro výpočet zkratového proudu a nastavení RV	
	TM	SpS
<p>a)</p> 	<p>RV 1,2</p> <p><math>l = l_0</math></p>	-
<p>b)</p> 	<p>RV 1,2 s vazbou RV</p> <p><math>l = \frac{l_0}{2}</math></p>	-
<p>c)</p> 	<p>RV 1</p> <p><math>l = l_1</math></p> <p>RV 2</p> <p><math>l = l_2</math></p>	<p>RV 3</p> <p><math>l = l_0</math></p>



Schéma napájení	Délka chráněného úseku pro výpočet zkratového proudu a nastavení RV	
	TM	TM
<p>d)</p>	<p>RV 1 <math>l = x \cdot l_1</math></p> <p>RV 2 <math>l = x \cdot l_2</math></p>	<p>RV 3 <math>l = l_2 + (1 - x) \cdot l_1</math></p> <p>RV 4 <math>l = l_1 + (1 - x) \cdot l_2</math></p>
<p>e)</p> <p>Kde čísla 6, 5, 7 a 8 jsou číselná označení RV</p>	<p>RV 1,2 <math>l = l_1</math></p> <p>RV 3,4 <math>l = l_2</math></p>	<p>1) <math>l_1 = l_2</math> RV 5, 6, 7, 8 <math>l = l_0</math></p> <p>2) <math>l_1 &gt; l_2</math> RV 5, 6 <math>l = 2 \cdot l_1</math></p> <p>RV 7, 8 <math>l = l_0</math></p> <p>3) <math>l_1 &lt; l_2</math> RV 5, 6 <math>l = l_0</math></p> <p>RV 7, 8 <math>l = 2 \cdot l_1</math></p>

Kde  $x$  je doporučená hodnota 0,5 a 0,8

Schéma napájení	Délka chráněného úseku pro výpočet zkratového proudu a nastavení RV	
	TM	TM
<p>f) Stejně schéma jako je na obr. e) doplněn vazbou RV</p> <p>Vazba RV z TM do SpS, vazba mezi RV: 1-5    2-6    3-7    4-8</p>	<p>RV 1,2 <math>l = x \cdot l_1</math></p> <p>RV 3,4 <math>l = x \cdot l_2</math></p> <p><math>0,5 \leq x \leq 0,8</math></p>	<p>RV 5,6 <math>l = l_n + (1 - x) \cdot l_1</math></p> <p>RV 7,8 <math>l = l_n + (1 - x) \cdot l_2</math></p> <p><math>l_n &gt; l_1 \text{ a } l_2</math></p>
Schéma napájení	Postup výpočtu zkratového proudu pro nastavení výkonových vypínačů v TT	
<p>g)</p>  <p>Jedná se o obustranné napájení s odbočkou.</p> <p>Pozn.: Jeden z RV se nastaví dle uvedeného výpočtu, druhý RV se nastaví dle vzorce v závorce (zkrat na konci úseku)</p>	$I_k = \frac{0,8 \cdot U}{r \cdot l}; r = \frac{r_1 \cdot l_1 \cdot r_2 \cdot l_2}{r_1 \cdot l_1 + r_2 \cdot l_2} + r_3 \cdot l_3$ $\Delta U_3 = I_k \cdot r_3 \cdot l_3$ $\Delta U_2 = 0,8 \cdot U - \Delta U_3$ $\Delta U_1 = \Delta U_2$ $I_{k1} = \frac{\Delta U_1}{r_1 \cdot l_1} \cdot \left( I_{k2} = \frac{0,8 \cdot U}{r_2 \cdot l_2 + r_3 \cdot l_3} \right)$ $I_{k2} = \frac{\Delta U_2}{r_2 \cdot l_2} \cdot \left( I_{k1} = \frac{0,8 \cdot U}{r_1 \cdot l_1 + r_3 \cdot l_3} \right)$	

## Příloha G

### Vzorce pro výpočet zkratových poměrů v soustavě DC 3 kV

Existují dva stavy provozu RV – bez vazby napáječů a s vazbou napáječů, pro každý stav je proudové nastavení ochran jiné (různé vzdálenosti chránění TV).

Rovnice (1) je rovnicí pro výpočet zkratového proudu. Odpor TrV je dán paralelním zapojením všech vodičů, které se podílejí na přenosu proudu - trolejového drátu, nosného lana a zesilovacího vedení (rovnice (2)). Příloha C a Příloha D uvádí hodnoty odporů vodičů TV a kolejnicového vedení pro rovnici (4). Příloha E pak udává celkový odpor nadzemního vedení TV.

Příloha F udává příklady zapojení TM s SpS a s tím i určení délek pro výpočet zkratového proudu.

Nastavení proudu mžikové ochrany napáječe a vlastní spouště RV je dáno intervalem rovnic (5) a (6), kde hodnota 300 A značí bezpečnostní rezervu pro nastavení zkratového proudu a 200 A značí pokrytí špičkových provozních proudů.

$$I_k = \frac{0,8 \cdot U_{TM}}{r \cdot l} \text{ [A, V, } \Omega/\text{km, km]} \quad (1)$$

$$r = r_{TV} + r_k \text{ [}\Omega/\text{km, } \Omega/\text{km, } \Omega/\text{km]} \quad (2)$$

$$r_k = \frac{1}{k} \cdot \frac{\rho \cdot \gamma}{q} \cdot 10^{-3} \text{ [}\Omega/\text{km, -, } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km, kg/km} \cdot \text{mm}^2, \text{ kg/km]} \quad (3)$$

$$r_{TV} = \frac{r_{TD} \cdot r_{NL} \cdot r_{ZV}}{(r_{TD} \cdot r_{NL}) + (r_{NL} \cdot r_{ZV}) + (r_{TD} \cdot r_{ZV})} \text{ [}\Omega/\text{km]} \quad (4)$$

$$I_{NAST} \leq I_k - 300 \text{ [A, A]} \quad (5)$$

$$I_{NAST} \geq I_{pmax} + 200 \text{ [A, A]} \quad (6)$$

Kde  $I_k$  je velikost ustáleného zkratového proudu [A]  
0,8..... koeficient respektující snížení napětí v místě TM při zkratu  
 $U_{TM}$ ..... napětí TM [V] – uvažuje se 3300 V  
 $r$  .....měrný odpor celkového trakčního vedení [ $\Omega/\text{km}$ ]  
 $l$ .....délka chráněného úseku [m]  
 $r_{TV}$ .....měrný odpor soustavy TV [ $\Omega/\text{km}$ ]  
 $r_k$ .....měrný odpor kolejnicového vedení [ $\Omega/\text{km}$ ]

- $k$  .....počet kolejnicových pásů  
 $\gamma$  .....měrná hmotnost [ $\text{kg}/\text{km}\cdot\text{mm}^2$ ] – udává se hodnota  $7,85 \text{ kg}/\text{km}\cdot\text{mm}^2$   
 $q$  .....hmotnost běžného metru kolejnice [ $\text{kg}/\text{km}$ ] – 50, 60, 65  $\text{kg}/\text{km}$   
 $\rho$  .....měrný odpor kolejnicového pásu [ $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{km}$ ] – udává se hodnota  
 $167,5 \Omega\cdot\text{mm}^2/\text{km}$   
 $r_{\text{TD}}$ .....měrný odpor trolejového drátu [ $\Omega/\text{km}$ ]  
 $r_{\text{NL}}$ .....měrný odpor nosného lana [ $\Omega/\text{km}$ ]  
 $r_{\text{ZV}}$ .....měrný odpor zesilovacího vedení [ $\Omega/\text{km}$ ]  
 $I_{\text{NAST}}$  .....nastavený proud na RV [A]  
 $I_{\text{pmax}}$  .....maximální provozní proud [A]

**Pozn.:** Výpočty a příklady nastavení nadproudových ochran v TM viz samostatná příloha Y na CD.

## Příloha H

### Měrné impedance TV soustavy AC 25 kV

Tab. příloha H: Tabulky impedancí TV z předpisu SR 34, zdroj [10]

Impedance	Trat' s definovanou koncepcí napájení	Schéma napájení
$z_1$	jednokolejová	
$z_2$	dvoukolejová, obě napájecí stopy paralelně	
$z_{20}$	dvoukolejová, v druhé napájecí stopě stejně velký proud opačného směru	
$z_{21}$	dvoukolejová, druhá napájecí stopa bez proudu	
$z_{22}$	dvoukolejová, v druhé napájecí stopě stejně velký proud stejného směru	

Impedance	100Cu+50Bz (100Cu+72AlFe)	100Cu+50Bz+95AlFe	100Cu+70Fe	100Cu+70Fe+95AlFe
$z_1$	$0,26 + j0,45$	$018 + j0,36$	$0,34 + j0,61$	$0,21 + j0,40$
$z_2$	$0,14 + j0,26$	-	$0,18 + j0,33$	$0,12 + j0,23$
$z_{20}$	$0,21 + j0,28$	-	$0,25 + j0,43$	$0,18 + j0,25$
$z_{21}$	$0,25 + j0,40$	-	$0,33 + j0,55$	$0,20 + j0,36$
$z_{22}$	$0,28 + j0,52$	-	$0,36 + j0,66$	$0,24 + j0,46$

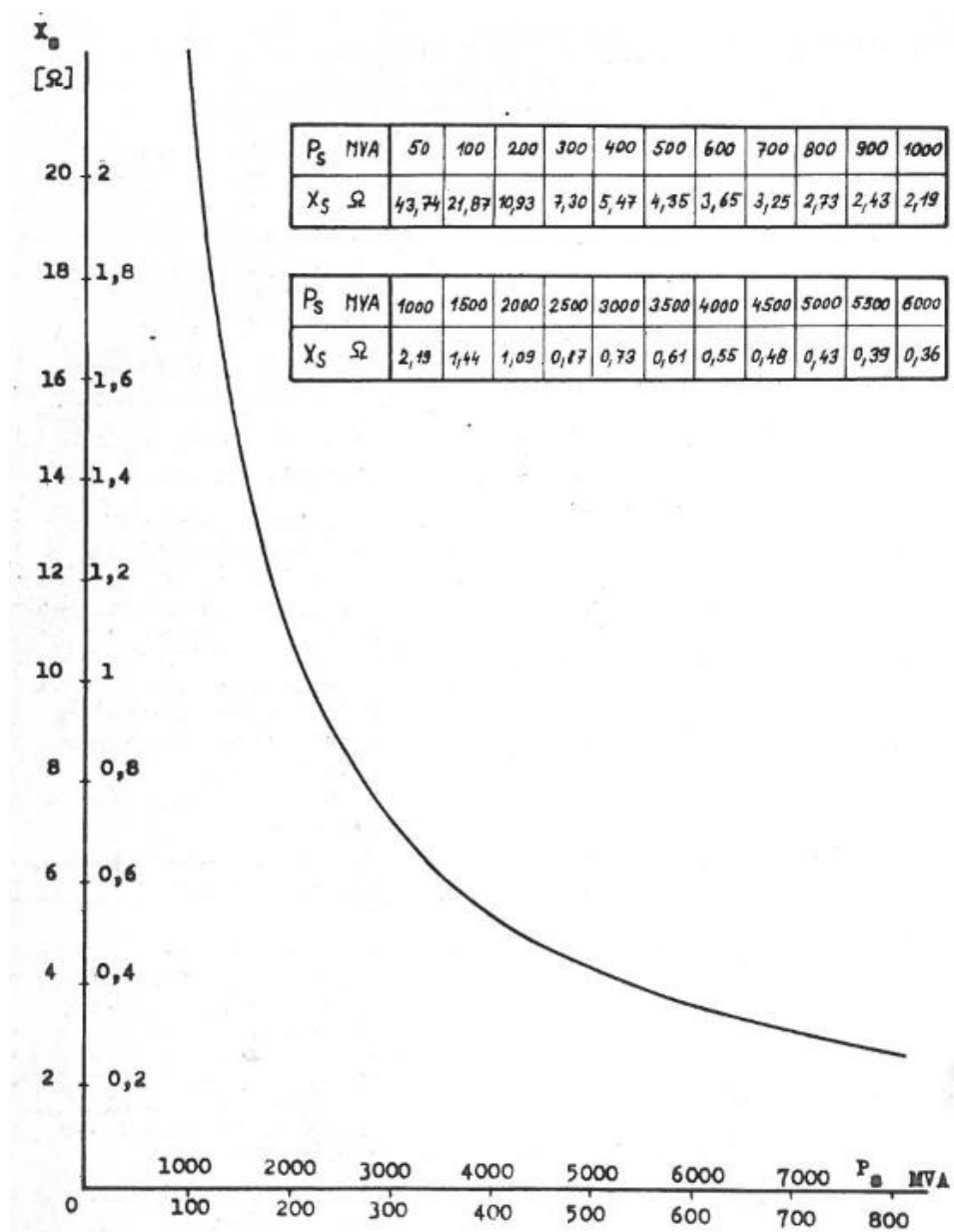
Hodnoty impedancí platí pro jednu stopu napájecího vedení (TV včetně zpětného vedení) pro průběžnou trat' i se stanicemi. Výjimku tvoří impedance  $z_2$ , která je spočtená pro dvě paralelně spojené stopy napájecího vedení.

Kde  $\otimes$  značí směr toku proudu do vodiče

$\odot$  ..... směr toku proudu z vodiče

## Příloha I

### Reaktance energetické soustavy



Obr. 1: Graf reaktance energetické soustavy z předpisu SR 34, zdroj [10]

Na Obr. 1 je zobrazen průběh reaktance energetické soustavy 110 kV v závislosti na vlastním zkratovém výkonu  $X_S = f(P_S)$ .

## Příloha J

### Výpočet zkratových impedancí v soustavě AC 25 kV

Tab. příloha J: Výpočty zkratových impedancí z předpisu SR 34, zdroj [10]

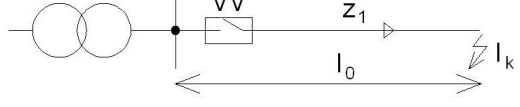
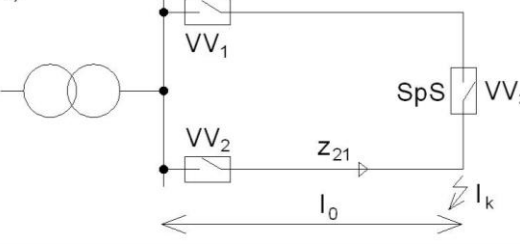
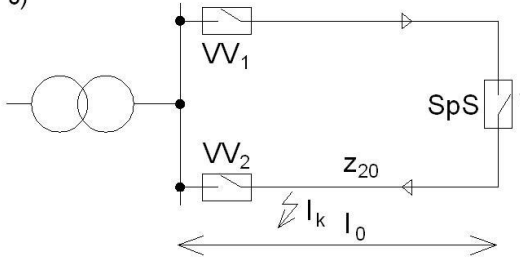
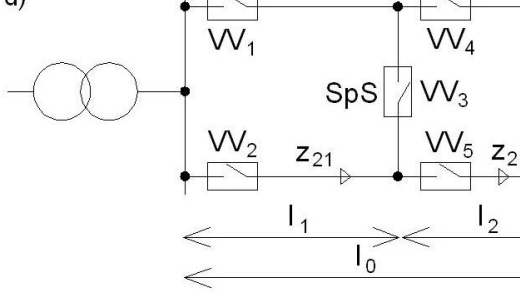
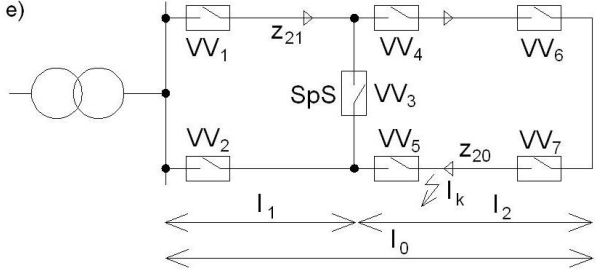
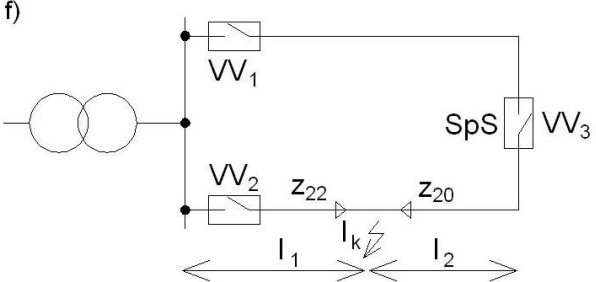
Schéma napájení	Impedance TV pro výpočet zkratového proudu	Použití vzorce
<p>a)</p> 	$z_1 \cdot l_0$	<p>Nastavení napáječového výkonového vypínače v případě jednokolejné trati se zkratem na konci úseku.</p>
<p>b)</p> 	$z_{21} \cdot l_0$	<p>Nastavení napáječových výkonových vypínačů v případě dvoukolejné trati s příčným propojením na konci úseku při zkratu na jednom z konců TV. Pozn. 1*)</p>
<p>c)</p> 	$z_{20} \cdot 2 \cdot l_0$	<p>Nastavení příčné propojujícího výkonového vypínače v SpS v případě dvoukolejné trati s příčným propojením na konci úseku a se zkratem na jednom ze začátků úseků TV. Pozn. 1*)</p>
<p>d)</p> 	$z_{21} \cdot l_0$ <p>Nastavení VV<sub>4</sub> a VV<sub>5</sub></p>	<p>Nastavení podélně propojujících výkonových vypínačů v SpS v případě dvoukolejné trati s příčným a podélným propojením uprostřed úseku se zkratem na jednom z konců TV. Pozn. 1*)</p>

Schéma napájení	Impedance TV pro výpočet zkratového proudu	Použití vzorce
<p>e)</p> 	$z_{21} \cdot l_1 + z_{20} \cdot l_2$ <p>Nastavení VV<sub>6</sub> a VV<sub>7</sub></p>	<p>Nastavení příčně propojujících výkonových vypínačů na konci úseku v případě dvoukolejné tratě s příčným a podélným propojením uprostřed úseku. Pozn. 1*) a 2*)</p>
<p>f)</p> 	$\frac{Z_{22} \cdot (Z_{22} + Z_{20})}{Z_{22} + Z_{22} + Z_{20}}$ <p>Kde</p> $Z_{22} = z_{22} \cdot l_1$ $Z_{20} = z_{20} \cdot l_2$	<p>Nastavení mžikové ochrany v TT v případě dvoukolejné trati s příčným propojením na konci úseku a zkratu na jednom TV v místě mezi TT a SpS. Pozn. 1*) a 3*)</p>

**Pozn. k tabulce:**

- 1\*) Proudové nastavení VV v TT je nutné počítat za předpokladu, že příčně propojující VV v SpS vypne dříve vzhledem k jeho nižšímu proudovému i časovému nastavení, přičemž je zkrat napájen z jedné stopy TV, což je méně příznivý případ z hlediska stanovení minimálních zkratových proudů.
- 2\*) Na konci úseku je příčné propojení přes přípojnice druhé vyřazené TT (výjimečně). Je nutné vykonat nové proudové nastavení ochran příčně propojujících VV na konci úseku pro případ zkratu na jedné koleji v SpS.
- 3\*) Pro zkrat ve vzdálenosti 20 % délky TV od TT je pro zjednodušení možné počítat dle předpokladu 1\*). Vzorec pro výpočet zkratové impedance bude následující:

$$z_{21} \cdot l_1 \tag{7}$$



## Příloha K

### Vzorce pro výpočet zkratových poměrů v soustavě AC 25 kV

Výpočet ustáleného zkratového proudu se provede podle rovnice (8) Příloha určuje komplexní impedanci trakčního vedení. Příloha zobrazuje závislost reaktance sítě 110 kV na zkratovém výkonu této sítě, z tabulky je možné odečíst hodnoty této reaktance pro výpočet. Příloha J uvádí příklady určení délky chráněných úseků pro výpočet zkratové impedance. Hodnota zkratové impedance TV i s kolejnici je daná v příloze H (viz Příloha H). Příloha I zobrazuje reaktanci napájecí soustavy 110 kV.

Rovnice (10) s rovnicí (11) slouží pro nastavení nadproudových časových ochran, mžikové ochrany se nastaví dle rovnice (10) s tím, že délka chráněného úseku touto ochranou je 20 % délky mezi TT a SpS.

$$I_k = \frac{U}{X_S + X_T + |z| \cdot l} \quad [\text{A}, \text{V}, \Omega, \Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}] \quad (8)$$

$$X_S = j \cdot \frac{3 \cdot U^2}{P_S} \quad [\Omega, \text{V}, \text{VA}] \quad (9)$$

$$I_{NAST} \leq \frac{I_k}{1,3} \quad [\text{A}, \text{A}] \quad (10)$$

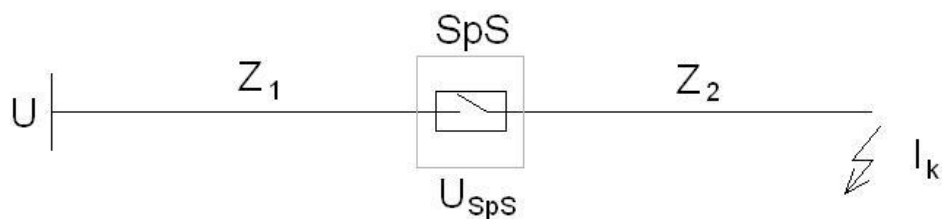
$$I_{NAST} \geq 1,2 \cdot I_p \quad [\text{A}, \text{A}] \quad (11)$$

- Kde  $I_k$  je velikost ustáleného zkratového proudu [A]  
U.....napětí TT [V] – uvažuje se 27 000 V  
 $X_S$ .....reaktance sítě 110 kV přepočtená na sekundární stranu transformátoru 110/27 kV [ $\Omega$ ]  
 $X_T$ .....reaktance trakčního transformátoru [ $\Omega$ ] – transformátor 12,5 a 13,3 MVA  
 $X_T = j8 \Omega$ , transformátor 8 MVA  $X_T = j10 \Omega$   
z .....měrná impedanci trakčního vedení [ $\Omega/\text{km}$ ]  
l.....délka chráněného úseku [m]  
 $I_{NAST}$  .....nastavený proud [A]  
 $I_p$ .....největší provozní proud [A]

### Vzorce pro výpočet zkratových poměrů v soustavě AC 25 kV

Následující schéma zobrazuje nastavení podpěťového relé  $V11_F$  v případě podélného propojení dvou napájecích stop TV, kde dojde ke vzniku zkratu v nejhorším možném místě

a to na konci úseku. V místě SpS podpěťové relé změří napětí  $U_{SpS}$ , které se v případě zkratu sníží na úroveň, při které zapůsobí relé  $V11_F$ . 1000 V ve vzorci (13) je bezpečnostní rezerva pro bezpečné rozeznání zkratu na konci úseku, při kterém ochrana zapůsobí na příslušný výkonový vypínač a odpojí úsek s impedancí  $Z_2$  od EE. SpS může odpojit pouze úsek  $Z_2$  od EE, na úsek s impedancí  $Z_1$  nemůže nijak působit. Poruchy v tomto úseku musí detekovat ochrany v TT a následně musí odpojit tento úsek od EE příslušným výkonovým vypínačem.



**Obr. 2:** Schéma pro výpočet napětí podpěťových ochran V11 v SpS

$$U_{SpS} = I_k \cdot Z_2 \text{ [V, A, } \Omega \text{]} \quad (12)$$

$$U_{NAST} = U_{SpS} + 1000 \text{ [V, V]} \quad (13)$$

Kde  $U_{SpS}$  je velikost napětí v místě SpS [V]

$Z_1$ .....impedance úseku ke SpS [ $\Omega$ ]

$Z_2$ .....impedance úseku k nejvzdálenějšímu místu zkratu za SpS [ $\Omega$ ]

$U_{NAST}$  nastavené napětí na podpěťových ochranách v SpS [V]

**Pozn.:** Výpočty a příklady nastavení podpěťových a nadproudových ochran v TT viz samostatná příloha X na CD.



## Příloha M

### Výpočet nastavení distanční ochrany D25

Distanční ochrana měří impedanci hlídaného obvodu a hlídá úhel této impedance pro bezpečné rozpoznání zkratu – při zkratu je úhel zkratové impedance větší než úhel při zatěžovací impedanci. Úhel provozní impedance se pohybuje mezi 15° a 30°, přičemž úhel zkratové impedance mezi 65° a 70°. Tyto rozsahy udává předpis SR 34. Distanční ochrana D 25 má kruhovou charakteristiku, jejíž poloměr a střed se nastaví v závislosti na citlivost ochrany do daného směru a vypočtených impedancí. Střed kružnice se může posouvat po přímce  $a$ , která svírá úhel s osou  $R$  80° v rozmezí 0 – 9,5  $\Omega$  – posunutím kružnice se zvyšuje citlivost ochrany. Příloha L zobrazuje nastavení kruhové impedanční charakteristiky ochrany D25 v závislosti na vypočtených hodnotách impedance.

$$Z_{min} = \frac{0,9 \cdot U}{I_{pmax}} [\Omega, V, A] \quad (14)$$

$$Z_{min2} = Z_{min} \cdot \frac{p_1}{p_2} [\Omega, \Omega, -, -] \quad (15)$$

$$Z_k = \frac{0,9 \cdot U}{I_{kmin}} [\Omega, \Omega, A] \quad (16)$$

$$Z_{k2} = Z_k \cdot \frac{p_1}{p_2} [\Omega, \Omega, -, -] \quad (17)$$

Kde 0,9 je koeficient zohledňující úbytky napětí na vedení při zkratu

$U$ .....napětí na TV [V] – dosazuje se 27 kV

$I_{pmax}$  .....maximální provozní proud [A]

$Z_{min}$ .....minimální impedance TV [ $\Omega$ ]

$Z_{min2}$ .....minimální impedance převedená na sekundární strany PT ochrany D 25 [ $\Omega$ ]

$p_1$  .....převod PTP – pro převod 600/5 A  $p_1 = 120$

$p_2$  .....převod PTN – pro převod 27/0,1 kV  $p_2 = 270$

$I_{kmin}$ .....minimální zkratový proud [A]

$Z_k$ .....zkratová impedance TV [ $\Omega$ ]

$Z_{k2}$ .....zkratová impedance převedená na sekundární strany PT ochrany D25 [ $\Omega$ ]

Pro impedance  $Z_2$  a  $Z_{k2}$  se předepisuje minimální rezerva 30 % (zkratová impedance se zvýší, provozní se sníží – rezervu lze tímto způsobem zvyšovat), pak bude platit:

$$Z_{k2}' = Z_{k2} \cdot 1,3 [\Omega, \Omega] \quad (18)$$

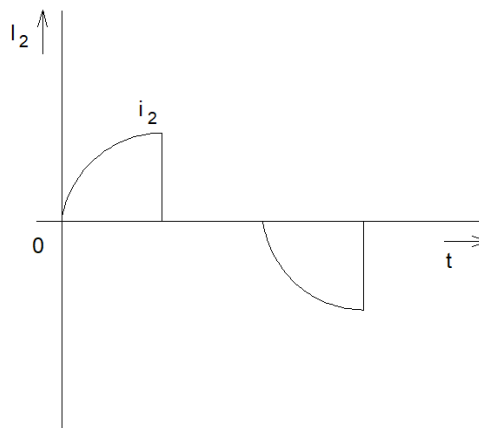
$$Z_{min2}' = Z_{min2} \cdot 0,7 [\Omega, \Omega] \quad (19)$$

Střed kružnice je pak průsečíkem přímky a s kolmicí propojovací úsečky impedancemi  $Z_{k2}'$  (v dané příloze označené  $Z_k'$ ) a  $Z_{min2}'$  (v dané příloze označené  $Z_p'$ ).

**Pozn.:** Výpočet a příklad nastavení kruhové charakteristiky distanční ochrany viz samostatná příloha X na CD.

## Příloha N

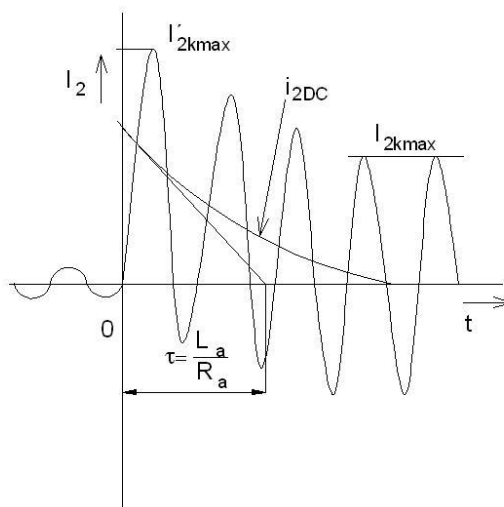
Následující obrázky představují proudy protékající primárním (Obr. 5) a sekundárním (Obr. 4) vinutím PTP. Na Obr. 4 je zakreslen negativní vliv saturace – zkreslení výstupního proudu, kdy dochází nejen ke zkreslení, ale také ke snížení (oříznutí) měřeného proudu. Ochrana pak nemusí bezpečně rozeznat poruchu. Více informací o PTP v kap. 2.2.2 Specifikace PTP.



**Obr. 4: Zkreslení při saturaci bez DC složky proudu, zdroj [50]**

Kde  $i_2$  je časový zkreslený výstupní proud PTP při vstupním souměrném proudu [A]

Na Obr. 4 je zobrazen průběh sekundárního proudu PTP ve stavu, kdy dochází k sycení jádra PTP (dochází k oříznutí sinusového průběhu proudu a tedy ke zkreslení přenášeného poruchového proudu) při ustáleném primárním proudu (tedy po přechodném ději).



**Obr. 5: Zkratový proud s DC složkou, zdroj [50]**

Kde  $I'_{2kmax}$  je maximální špičková hodnota přeneseného poruchového proudu [A]  
 $I_{2kmax}$  .....přenesený a ustálený zkratový proud [A]  
 $\tau$  .....časová konstanta chráněného objektu  
 $i_{2DC}$  .....DC složka zkratového průběhu [A]

$$i_{2DC} = I_{20} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \text{ [A, A, s, s]} \quad (20)$$

Téměř vždy se v poruchovém proudu objeví DC složka proudu, dosahuje však různých hodnot (nulovou hodnotu bude mít pouze tehdy, když zkrat vznikne přesně v amplitudě napájecího napětí). Vlivem této DC složky se jádro PTP předsycuje a dochází tím ke zkreslení amplitudy přenášeného proudu  $I_2$ , což může mít negativní vliv na ochranu – nerozezná poruchu. Největší hodnotu dosahuje DC složka v případě, kdy vznikne v bodě, kdy je napětí nulové.

**Pozn.:** Další informace o jisticích PTP viz kap. 2.2.2 Specifikace PTP.

## Příloha O

Tab. příloha O: Parametry jistícího PTP

Parametr	Ozn.	Zahrnuje (vzhledem k sekundárním svorkám PTP)	Popis
Vnější jmenovité břemeno	$Z_n$ [ $\Omega$ ]	<ul style="list-style-type: none"> <li>– impedanci vodičů</li> <li>– vstupní impedance všech připojených zařízení</li> </ul>	<p>Tímto břemenem je možné PTP zatížit v plném měřicím rozsahu bez překročení maximální dovolené chyby měření.</p> <p>Rozmezí břemena je 25 ÷ 100 % pro garantované přesnosti.</p>
		<b>Omezení</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– maximální napětí na jádře PTP je omezeno saturačním napětím <math>U_{Lim}</math></li> <li>– s rostoucí velikostí připojeného břemene roste velikost napětí na tomto břemenu a zároveň velikost napětí na jádře PTP = <b>nebezpečné provozní podmínky</b></li> <li>– pokud bud velikost břemena (napětí na břemenu) příliš velká, dojde ke zničení PTP = <b>sekundární obvod PTP nesmí být nikdy rozpojen, pokud jsou jeho primární svorky připojené k EE</b></li> </ul>
Vnitřní břemeno	$Z_i$ [ $\Omega$ ]	– vnitřní impedance sekundárního vinutí PTP	Pro správný výpočet celkového břemena je důležité <b>neopomenout</b> tento údaj z důvodu nasycení.
Celkové břemeno	$Z_C$ [ $\Omega$ ]	$Z_C = Z_i + Z_n$ [ $\Omega, \Omega, \Omega$ ]	Při opomenutí $Z_i$ by došlo k předčasnému nasycení jádra PTP a ochrana by tak na poruchový proud nemusela zareagovat.
Jmenovitá zátěž	$S_n$ [VA]	$S_n = Z_n \cdot I_{2n}^2$ [VA, $\Omega$ , A]	Jedná se o připojitelnou zátěž na sekundární svorky PTP – nezahrnuje výkon na vnitřní impedanci $Z_i$ (ztráty PTP).
Jmenovité nadproudové číslo	$n_n$ [-]	– číselný násobek jmenovitého primárního proudu při chybě sekundárního proudu 10 %	<p>Tato hodnota platí pouze v případě zatížení PTP jmenovitým břemenem.</p> <p>Udává přesnost měření při proudovém přetížení nebo při poruše (v nadproudové oblasti).</p>

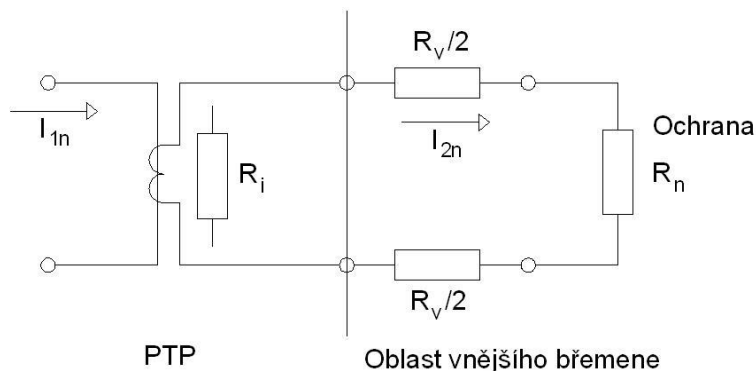


Parametr	Ozn.	Zahrnuje (vzhledem k sekundárním svorkám PTP)	Popis
Koleno nadproudové charakteristiky	P	<ul style="list-style-type: none"> <li>chyba měření 10 % označuje mez přenosu PTP</li> <li>za bodem P se jádro PTP sytí a přenášený proud je zkreslován</li> <li>tím ochrana nebude detekovat poruchový proud</li> </ul>	<p>Kde a je ideální nadproudová char. bez nasycení  b...skutečná nadproudová char. s nasycením  c...ideální nadproudová charakteristika s chybou 10 %</p>
Skutečná nadproudové číslo	$n_a [-]$	<ul style="list-style-type: none"> <li>číselný násobek jmenovitého primárního proudu při chybě sekundárního proudu 10 %</li> </ul>	<p>Tato hodnota je dosažena v případě, že na sekundárních svorkách PTP není připojeno jmenovité břemeno.</p> <p>Při připojení menší zátěže než jmenovité bude <math>n_a</math> větší než <math>n_n</math>.</p> <p>Vyšší nadproudové číslo dovoluje přenést na sekundární stranu PTP větší hodnoty zkratových proudů, aniž by došlo k nasycení jádra.</p> <p style="text-align: center;"><b>Omezení</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>nejmenovitá zátěž (břemeno) <b>nesmí být nikdy vyšší</b> než je jmenovité břemeno, jinak hrozí zničení PTP.</li> </ul>
Třída přesnosti	5P nebo 10P	<ul style="list-style-type: none"> <li>určuje maximální celkovou chybu měření amplitudy</li> </ul>	<p>Třídy přesnosti jsou určeny pro dané rozsahy zátěží (břemen), např. od 25 % do 100 % jmenovité zátěže (garantováno výrobcem).</p> <p>Bližší popis požadovaných tříd přesnosti viz níže.</p>

Další informace o jisticích PTP viz kap. 2.2.2 Specifikace PTP.

## Příloha P

V této části je uveden příklad výpočtu potřebných parametrů jisticího PTP. Předpokládejme PTP, na jehož sekundárním vinutí je zapojena ochrana připojená dvěma stejně dlouhými vodiči viz Obr. 6 (zdroj [28] str. 2-17). Postup výpočtu je uveden v tabulce níže. Pro výpočet se uvažují pouze činné odpory, pro výpočet potřebných parametrů to postačuje.



**Obr. 6: Schéma k výpočtu PTP**

Kde  $R_i$  je činný odpor sekundárního vinutí PTP [ $\Omega$ ]

$R_{V/2}$ .....činný odpor vodiče v jednom směru [ $\Omega$ ]

$R_n$ .....jmenovitý činný odpor vstupu ochrany [ $\Omega$ ]

**Tab. příloha P-1: Výpočet parametrů PTP dle metody AREVA**

Krok	Co se počítá (prvek)	Vzorec	Popis
1.	Odpor připojených kabelů (vodičů) Zn.: $R_V$ [ $\Omega$ ]	$R_V = 2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{S}$ [ $\Omega, \Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}, m, mm^2$ ]	Kde $\rho$ je měrný odpor vodičů [ $\Omega \cdot mm^2$ ] l.....délka vodičů [m] S....průřez vodičů [ $mm^2$ ]
2.	Odpor vstupu ochrany Zn.: $R_Z$ [ $\Omega$ ]	$R_Z = \frac{P_Z}{I_{2n}^2}$ [ $\Omega, VA, A$ ]	Kde $P_Z$ je spotřeba ochrany [VA] $I_{2n}$ ..jmenovitý sekundární proud [A] (u PTP je to 5 A) <b>Pozn.:</b> Spotřebu ochrany stanovuje výrobce
3.	Celkové vnější břemeno Zn.: $R_{VB}$ [ $\Omega$ ]	$R_{VB} = R_V + R_Z$ [ $\Omega, \Omega, \Omega$ ]	—

Krok	Co se počítá (prvek)	Vzorec	Popis
4.	Výkon odebíraný celkovým vnějším břemenem Zn.: $P_{VB}$ [VA]	$P_{VB} = R_{VB} \cdot I_{2n}^2$ [VA, $\Omega$ , A]	–
5.	Odečtení jmenovitých hodnot PTP (např. z katalogu výrobce)	–	Pro další výpočty je nutné znát tyto hodnoty: <ul style="list-style-type: none"> <li>– jmenovité proudy primární (<math>I_{1n}</math>) a sekundární (<math>I_{2n}</math>)</li> <li>– jmenovitý výkon jádra (<math>P_n</math>)</li> <li>– jmenovité nadproudové číslo (<math>n_n</math>)</li> <li>– vnitřní břemeno jádra (<math>R_i</math>)</li> </ul>
6.	Výpočet jmenovitého vnějšího břemena připojitelného na PTP Zn.: $R_n$ [ $\Omega$ ]	$R_n = \frac{P_n}{I_{2n}^2}$ [ $\Omega$ , VA, A]	Toto vnější břemeno představuje maximální zátěž připojitelnou na sekundární svorky PTP. Musí platit podmínka, že: $R_{VB} \leq R_n$
7.	Vnitřní ztráty sekundárního vinutí PTP Zn.: $P_i$ [VA]	$P_i = R_i \cdot I_{2n}^2$ [VA, $\Omega$ , A]	–
8.	Parametry sítě (na primární straně PTP), které je potřeba znát	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <math>I_{1kmax}</math> [A] – ustálený zkratový proud, popř. nárazový zkratový proud <math>I_{1kmax}'</math> [A]</li> <li>– časová konstanta sítě <math>T_1</math> [s] daná poměrem X/R sítě (obvykle sdělí distributor)</li> </ul>
9.	Přepočítání $I_{1kmax}$ na sekundární stranu PTP Zn.: $I_{2kmax}$ [A]	$I_{2kmax} = I_{1kmax} \cdot \frac{I_{2n}}{I_{1n}}$ [A, A, A, A]	–
10.	Faktor předdimenzování Zn.: $k$ [-]	Výrobce udává charakteristiku tohoto parametru v závislosti na časové konstantě sítě ( $T_1$ ) dle rovnice:	Pro výpočet lze vycházet také z maximální hodnoty parametru $k$ ( $k_{max}$ ) dle následujícího vzorce: $k_{max} = k \cdot x$

Krok	Co se počítá (prvek)	Vzorec	Popis
		$k(T_1) = 1 + \omega \cdot T_1$	kde x je hodnota od 0 do 1.
11.	Minimální nadproudové číslo (potřebné jmenovité nadproudové číslo) Zn.: $n_n$ [-]	$n_n \geq \frac{(R_{VB} + R_i)}{(R_{ni} + R_i)} \cdot k \cdot \frac{I_{2kmax}}{I_{2n}}$ [-, Ω, Ω, Ω, Ω, -, A, A] a zároveň $n_n \geq \frac{(P_{VB} + P_i)}{(P_n + P_i)} \cdot k \cdot \frac{I_{2kmax}}{I_{2n}}$ [-, VA, VA, VA, VA, -, A, A]	Minimální nadproudové číslo je kritérium, které musí být splněno. <b>Skutečné nadproudové číslo musí být větší nebo rovno.</b> Minimální nadproudové číslo lze spočítat jedním ze dvou vzorců dle parametrů PTP a připojeného vnějšího břemene. Podle tohoto nadproudového čísla si poté můžeme vybrat daný typ PTP.
12.	Výpočet skutečného nadproudového čísla Zn.: $n_a$ [-]	$n_a = \frac{(P_{VB} + P_i)}{(P_n + P_i)} \cdot n_n$ [-, VA, VA, VA, VA, -]	Přičemž musí platit podmínka že: $n_a \geq n_n$

Pro kontrolu správného výpočtu potřebného PTP jsou dále shrnuty podmínky, které je nutné splnit a slouží ke zpětné kontrole správnosti vypočtených parametrů.

**Tab. příloha P-2: Podmínky zpětné kontroly**

Podmínky pro zpětnou kontrolu	
<p><b>Podmínka A:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>skutečné nadproudové číslo <math>n_a</math> musí být dostačující, aby PTP dokázalo přenést maximální zkratový proud (<math>I_{k2max}</math>) bez zkreslení – při zkreslení by ochrana nezareagovala</li> <li>zkreslení by vzniklo špatnou volbou <math>n_a</math> (nízkým <math>n_a</math>), přičemž by došlo k nasycení jádra PTP a k oříznutí (značnému omezení) přenášeného proudu (jeho amplitudy)</li> </ul>	<p><b>Podmínka B:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>musí platit tato podmínka: <math display="block">R_{VB} \leq R_n</math></li> <li>skutečné připojené vnější břemeno na sekundárních svorkách PTP nesmí být nikdy větší než jmenovité vnější břemeno dané výrobcem</li> </ul>
<p><b>Podmínka C:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>s podmínkou B souvisí tato výkonová podmínka: <math display="block">P_{VB} \leq P_n</math></li> <li>skutečný připojený výkon na vnějším břemenu na sekundárních svorkách PTP nesmí být nikdy větší</li> </ul>	<p><b>Podmínka D:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>napětí na celkovém břemenu (mezi sekundárními svorkami PTP) musí být menší než je minimální saturační napětí <math>U_{Lim}</math> (dle ochrany SPAD 346 C musí být menší než stabilizační napětí <math>U_s</math>, zdroj [30] str. 19)</li> <li>vzorec pro výpočet napětí kolene</li> </ul>

<p>než jmenovitý výkon PTP připojitelný na jeho sekundární stranu daný výrobcem</p>	<p>mg. křivky dle metody AREVA</p> $U_{Lim (min)} \geq (R_{VB} + R_i) \cdot k \cdot I_{2kmax}$ <p>[V, Ω, Ω, -, A]</p> <p>– vzorec pro výpočet stabilizačního napětí <math>U_S</math> dle ochrany SPAD 346 C</p> $U_S = \frac{(R_{VB} + R_i) \cdot I_{1max}}{\frac{I_{1n}}{I_{2n}}}$ <p>[V, Ω, Ω, -, A, A, A]</p> $U_k = 2 \cdot U_S \text{ [V, V]}$ <p><b>Pozn.:</b> <math>U_k</math> je napěťové koleno mg. křivky, za kterým se již sytí mg. jádro PTP (ostatní parametry jsou vysvětleny výše).</p> <p><b>Musí platit tato podmínka:</b></p> $(R_n + R_i) \cdot n_n \cdot I_{2n} \geq (R_{VB} + R_i) \cdot k \cdot I_{2kmax}$ <p>[Ω, Ω, -, A, Ω, Ω, -, A]</p>
---	--

Další informace o jisticích PTP viz kap. 2.2.2 Specifikace PTP.

## Příloha Q

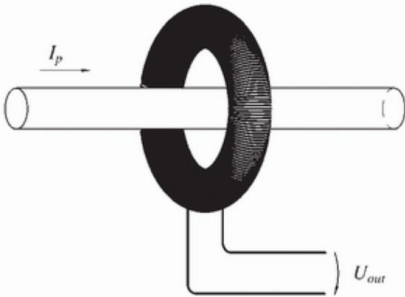
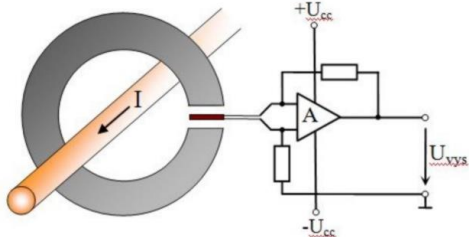
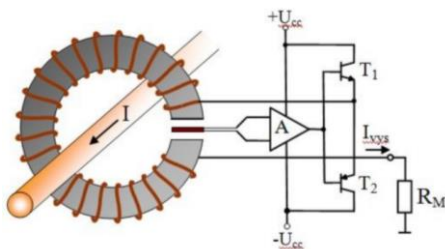
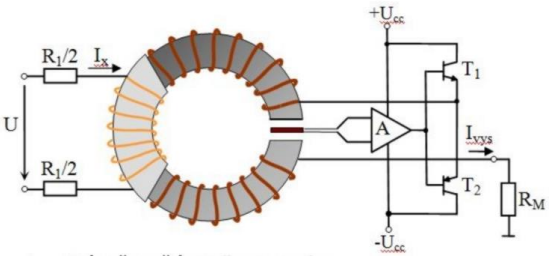
Tab. příloha Q: Parametry jistícího PTN

Parametr	Ozn.	Zahrnuje (vzhledem k sekundárním svorkám PTP)	Popis
Vnější jmenovité břemeno	$Y_n$ [S]	<ul style="list-style-type: none"> <li>– admitanci připojených kabelů</li> <li>– vstupní admitanci připojených zařízení</li> </ul>	Tímto břemenem je možné PTN zatížit v plném měřicím rozsahu bez překročení maximální dovolené chyby měření.
		<b>Omezení</b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– břemeno připojené na sekundární svorky PTN <b>musí být vždy nižší</b> než je jmenovité břemeno</li> <li>– v opačném případě dojde k růstu odebíraného proudu připojeným břemenem a může dojít k překročení meze zatížení až ke zkratování sekundárních svorek PTN <b>a následného zničení PTN</b></li> </ul>	
Jmenovitá zátěž	$S_n$ [VA]	$S_n = U_{2n}^2 \cdot Y_n$ [VA, V, S]	Jedná se o připojitelnou zátěž na sekundární svorky PTN – nezahrnuje výkon na vnitřní admitanci $Y_i$ (ztráty PTN).
Nadpěťové číslo	$n_p$ [-]	<ul style="list-style-type: none"> <li>– číselný násobek jmenovitého primárního napětí pro danou přesnost</li> </ul>	PTN pro toto nadpětí dosahuje předepsané přesnosti a oteplení. Čas, po který může PTN být vystaven tomuto podpětí může být omezený a je dán výrobcem. Může nabývat hodnot např. 1,5/30 s nebo 1,9/30 s viz zdroj [36]
Třída přesnosti	3P nebo 6P	<ul style="list-style-type: none"> <li>– určuje maximální velikost chyby napětí a fázového posuvu mezi primárním a sekundárním napětím</li> </ul>	Třídy přesnosti jsou určeny pro dané rozsahy zátěží (břemen), např. od 25 % do 100 % jmenovité zátěže (garantováno výrobcem). Bližší popis požadovaných tříd přesnosti viz níže.

Další informace o jistících PTN viz kap. 2.2.3 Specifikace PTN.

# Příloha S

Tab. příloha S: Typy používaných senzorů

Typy používaných senzorů	
Rogovského cívka	Hallova sonda
<p>a) Princip</p>  $u_{out} = M \cdot \frac{di_p}{dt} \text{ [V,H,A,s]}$ <p>Kde <math>I_p</math> (I) je měřený proud ve vodiči [A]  <math>U_{out}</math> ....snímané napětí vstupující do integrátoru [V]  <math>i_p</math> .....okamžitá hodnota měřeného proudu [A]  <math>u_{out}</math> ....okamžitá hodnota měřeného napětí [V]  M.....vzájemná indukčnost vodiče a Rogovského cívky [H]  <math>I_{vys}</math>.....proud kompenzačním vinutím [A]  A.....zesilovač [-]  <math>U_{vys}</math> ....napětí úměrné proudu [V]</p>	<p>a) Princip</p> <p>a. dělí se na snímače proudu s otevřenou smyčkou,</p>  <p>b. snímače proudu s uzavřenou smyčkou a</p>  <p>c. snímače napětí s uzavřenou smyčkou</p>  <p><b>Obecně pro Hallovu sondu platí:</b></p> $U_H = B \cdot I \cdot k \text{ [V,T,A, -]}$ <p>Kde <math>U_H</math> je napětí Hallovy sondy [V]  B.....indukce magnetického obvodu [T]  I.....DC proud procházející Hallovu sondu [A]  k.....konstanta respektující typ polovodičového materiálu a</p>
<p><math>\pm U_{CC}</math> ....napájecí napětí zesilovače Hallovy sondy [V]  <math>R_M</math>.....měřící odpor [<math>\Omega</math>]  <math>T_X</math>.....tranzistory pro ovládání velikosti proudu kompenzačním vinutím  <math>R_1</math>.....primární odpor [<math>\Omega</math>]</p>	

	<p style="text-align: center;">tloušťku destičky [-]</p> <p><b>Pro Hallovy sondy s kompenzačním vinutím pro měření proudu:</b></p> $I_{vys} = \frac{I}{N} [A, A, z]$ <p>Kde <math>I_{vys}</math> je proud kompenzačním vinutím [A]  <math>I</math>.....měřený proud primárního vodiče [A]  <math>N</math>.....počet závitů kompenzačního vinutí [z]</p> <p><b>Pro Hallovy sondy s kompenzačním vinutím pro měření napětí:</b></p> $I_{vys} = \frac{N_k}{N_1} \cdot \frac{U}{R_1} [A, z, z, V, \Omega]$ <p>Kde <math>U</math> je měřené napětí [V]  <math>R_1</math>.....primární odpor [<math>\Omega</math>]  <math>N_1</math>.....počet závitů primárního vinutí [z]  <math>N_k</math>.....počet závitů kompenzačního vinutí [z]</p>
<p><b>b) Popis principu</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- snímá magnetické pole vytvořené průchodem proudu vodičem</li> <li>- pro reprodukci měřeného AC proudu je nutná integrace indukovaného napětí čidla (využití integrátoru)</li> <li>- princip vzduchové cívky (neprojevuje se hystereze ani nasycení)</li> </ul>	<p><b>b) Popis principu</b></p> <p><b>a. Obecně pro Hallovu sondu</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- využívá Hallova jevu, kdy proud primárního vodiče vytváří mg. pole</li> <li>- mg. pole vodiče působí na mg. obvod, ve kterém se vytváří mg. indukce</li> <li>- tato indukce pak působí na polovodič (Hallovu destičku), na níž se dle odpovídajícího primárního proudu vytváří odpovídající Hallovo napětí</li> </ul> <p><b>b. Pro Hallovy sondy s kompenzačním vinutím</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- základem je snímač s otevřenou smyčkou</li> <li>- na mg. obvodu je dále navinuta kompenzační cívka, která spolu s vyhodnocovacími obvody (<math>A</math>, <math>T_1</math> a <math>T_2</math>) vyrovnává mg. pole měřeného proudu</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ve chvíli vyrovnání prochází kompenzační cívkou proud úměrný proudu primárnímu</li> <li>– tento proud je vyhodnocován na měřícím odporu <math>R_M</math></li> </ul> <p><b>c. Pro Hallovy sondy pro měření napětí</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– využití snímače s uzavřenou smyčkou</li> <li>– měření primárního napětí je převedeno pomocí <math>R_1</math> na proud <math>I_x</math></li> <li>– výstupem je opět proud kompenzačního vinutí (jako v předchozím případě)</li> </ul>
<p><b>c) Rozsah</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– pouze pro měření AC proudů!</li> <li>– AC proud – od mA po MA</li> <li>– frekvence – od Hz po MHz</li> </ul>	<p><b>c) Rozsah</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– měří DC i AC proudy</li> <li>– snímače s otevřenou smyčkou se použijí pro měření s menšími požadavky na přesnost a dynamiku měření</li> <li>– snímače s uzavřenou smyčkou jsou vhodné pro přesné měření</li> <li>– rozsahy v závislosti na typu</li> <li>– proud – od 0 A do 15 kA</li> <li>– frekvence – od 0 Hz do 800 kHz</li> </ul>
<p><b>d) Zdroje</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– [22], [23] a [44]</li> </ul>	<p><b>d) Zdroje</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– [24], [25], [26] a [41]</li> </ul>

Další informace o senzorech viz kap. 2.2.5 Senzory.